

**ESKİŞEHİR  
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ**

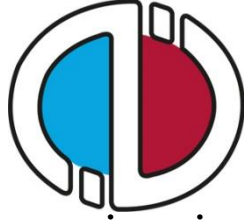
**Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**BİNA VE KÖPRÜ TİPİ YAPILARDA PASİF YAPISAL  
KONTROL SİSTEMLERİN SEZGİSEL ALGORİTMALAR  
İLE OPTİMİZASYONU**

**Ali Erdem ÇERÇEVİK  
Doktora**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Özgür AVŞAR**

**BİLECİK, 2019  
Ref. No: 10312422**



**ESKİŞEHİR  
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ**

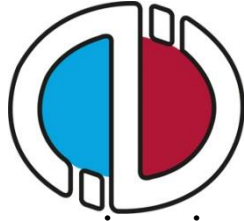
**Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**BİNA VE KÖPRÜ TİPİ YAPILARDA PASİF YAPISAL  
KONTROL SİSTEMLERİN SEZGİSEL ALGORİTMALAR  
İLE OPTİMİZASYONU**

**Ali Erdem ÇERÇEVİK  
Doktora**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Özgür AVŞAR**

**BİLECİK, 2019**



**ESKİŞEHİR**  
**ANADOLU UNIVERSITY**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI**  
**ÜNİVERSİTESİ**  
**BİLECİK**  
**SEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences**  
**Department of Civil Engineering**

**OPTIMUM DESIGN OF PASSIVE CONTROL SYSTEMS  
IN BUILDING AND BRIDGE STRUCTURES USING  
METAHEURISTIC SEARCH ALGORITHMS**

**Ali Erdem ÇERÇEVİK**  
**Doctoral Thesis**

**Thesis Advisor**  
**Assoc. Prof. Dr. Özgür AVŞAR**

**BİLECİK, 2019**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA**  
**JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 13/11/2019 tarih 69/12 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28/11/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ali Erdem ÇERÇEVİK'in "Bina ve köprü tipi yapılarda pasif yapısal kontrol sistemlerin sezgisel algoritmalar ile optimizasyonu" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA tezi olarak oy birliği/ ~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

**ÜYE**

**(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Özgür AVŞAR**

**ÜYE**

**(JÜRİ BAŞKANI) : Prof. Dr. Oğuzhan HASANÇEBİ**

**ÜYE : Doç. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR**

**ÜYE : Doç. Dr. Saeid KAZEMZADEH AZAD**

**ÜYE : Dr. Öğr. Üy. Abdullah DİLSİZ**

**ONAY**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun .../.../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

**İMZA/ MÜHÜR**

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araŐtırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aŐamalarında yardımlarını esirgemeyen, teŐvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danıŐman hocam Doç. Dr. Özgür AVŞAR'a, tez izleme komitelerinde engin bilgi birikiminden yararlandığım kıymetli hocam Prof. Dr. Oğuzhan HASANÇEBİ ve Doç. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR'e, ayrıca her daim kıymetli tecrübelerinden faydalandığım ve akademisyen olma yolunda daima kendime örnek aldığım saygı değer hocam Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU'ya en içten teŐekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi, manevi hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen, beni her zaman yüreklendiren aileme, bu süreç boyunca yaŐadıđım her zorlu durumda bana destek olan, benimle birlikte üzülen, sevinen, her anımda yanımda olan ve anlayıŐ gösteren sevgili eŐim Dr. Nihan KAZAK ÇERÇEVİK'e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

## **BEYANNAME**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

**27/12/2019**



**Ali Erdem ÇERÇEVİK**

# BİNA VE KÖPRÜ TİPİ YAPILARDA PASİF YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİN SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE OPTİMİZASYONU

## ÖZET

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için son dönemde pasif kontrol sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle pasif kontrol sistemleri ile sismik performansı artırılan yapılar amaçları sebebiyle hassas cihazlar içeriyorsa, depremin oluşturduğu titreşimlerden ayrıca korunmalıdır. Servis hizmetlerinde bir aksama oluşmaması gereken binaların ve köprülerin pasif kontrol sistemlerinin tasarımları oldukça hassas yapılmalıdır. Çalışma kapsamında bu hassas analizleri yapmak için doğadan esinlenilmiş 5 farklı sezgisel algoritma kullanılmıştır. Öncelikle sismik izolasyonlu binalar ve köprülerdeki optimum sismik izolasyon parametrelerin bulunması için, karga arama algoritması (CSA), balina algoritması (WOA) ve gri kurt algoritması (GWO) kullanılmıştır. Bu kapsamda, sismik izolasyonlu bir kayma çerçevesi modeli ve köprü ayağı modeli ele alınmıştır. Amaç, izolatör deplasman limitlerinin aşılmadan en düşük tepe/üstyapı ivmesini veren izolasyon sisteminin belirlenmesidir. Çalışmanın sonraki bölümünde viskoz sönümlü duvarlarının optimum yerleşimi için sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Viskoz sönüm duvarlarının doğru yapı açıklıklarına yerleşimindeki hassasiyet yapı sismik performansını doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple viskoz sönüm duvarlarını yapıda en uygun pozisyonlara yerleştirerek en az sayıda viskoz sönüm duvarı kullanmak için yaras algoritması (BA) ve yusufçuk algoritmasından (DA) yararlanılmıştır. Viskoz sönüm duvarı optimizasyonunda kat ivmeleri ve görel kat ötelemeleri limit olarak belirlenmiştir. Optimizasyon işlemleri için Matlab programı, yapısal analiz için ise SAP2000 ve Etabs programları kullanılmıştır. İki programın ortak çalışması için açık uygulama programlama arayüzünden (OAPI) yararlanılmıştır. Yapısal analizler zaman tanım alanında yakın ve uzak saha etkilere sahip gerçek deprem kayıtları kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle yapılmıştır. Sezgisel algoritmalar kullanarak önerilen yöntemlerle optimum sismik izolasyon parametreleri ve minimum viskoz sönüm duvarı için optimum pozisyonlar belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Optimizasyon; Sezgisel Algoritmalar; Sismik İzolasyon; Viskoz Sönüm Duvarları; OAPI.

## **OPTIMUM DESIGN OF PASSIVE CONTROL SYSTEMS IN BUILDING AND BRIDGE STRUCTURES USING METAHEURISTIC SEARCH ALGORITHMS**

### **ABSTRACT**

Passive control systems are widely used for earthquake resistant structure design. Passive control systems, not only to improve the seismic performance of structural systems but also to protect the vibration-sensitive equipment. The design of passive control systems in buildings and bridges should be made elaborately to avoid any interruption in their service. In this study, 5 different nature-inspired metaheuristic algorithms were used to perform such sensitive design for passive control systems. Firstly, crow search algorithm (CSA), whale algorithm (WOA) and grey wolf algorithm (GWO) were employed to find the optimum isolation parameters of seismic isolated building and bridge substructure. In this context, the analytical model of a seismic isolated shear frame model and bridge substructure were developed. The aim is to obtain isolation system parameters that result the minimum roof / superstructure acceleration without exceeding the predefined isolator displacement and isolation damping limits. Metaheuristic algorithms were used for the optimal positions of viscous wall dampers in the next section. The number of viscous wall dampers, as well as their positions in the building, spans directly affects its seismic performance. Bat algorithm (BA) and dragonfly algorithm (DA) were adopted to achieve the minimum number of viscous wall dampers by placing the viscous wall dampers in the most suitable positions of the building. Floor accelerations and inter-story drift ratios were used as limits for the optimization of viscous wall dampers. The Matlab program was used for optimization operations together with the SAP2000 or Etabs program for structural analysis. The open application-programming interface (OAPI) was employed for the two programs to work together. Time history analyses were conducted using recorded near- and far-fault earthquake ground motions by linear and nonlinear methods. Optimum seismic isolation parameters and optimum positions for minimum number of viscous wall dampers were determined by using metaheuristic search algorithms.

**Key Words:** Optimization; Metaheuristic Algorithms; Seismic Isolation; Viscous Wall Dampers; OAPI

## İÇİNDEKİLER

Sayfa No

<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>.....</b>
<b>BEYANNAME.....</b>	<b>.....</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>II</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>III</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>XII</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>XV</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Amacı.....	5
1.2. Çalışmanın Kapsamı ve Organizasyonu .....	7
1.3. Sismik İzolasyon .....	8
1.3.1. Sismik İzolasyon Tarihçesi .....	12
1.3.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler.....	13
1.4. Geleneksel Sismik İzolasyon Tasarımı.....	19
1.4.1. Sismik İzolasyon Literatür Özeti .....	21
1.5. Viskoz Sönüm Duvarları (VSD).....	23
1.5.1. Viskoz Sönüm Duvarları Literatür Özeti .....	25
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ.....</b>	<b>27</b>
<b>3. MATERYAL VE METOTLAR.....</b>	<b>32</b>
3.1. Kayma Çerçevesi Modeli.....	32
3.2. Köprü Ayağı Modeli .....	34
3.3. 15 Katlı Yapı Modeli .....	37
3.4. Karga Arama Optimizasyon Algoritması (Crow Search Algorithm, CSA) .....	39
3.4.1. CSA Matematiksel Modeli .....	40
3.5. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (Grey Wolf Optimizer, GWO).....	43
3.5.1. Matematiksel Model .....	45
3.5.2. Avlanma.....	47
3.6. Balina Optimizasyon Algoritması (Whale Optimization, WOA) .....	50

3.6.1. Balıkların Etrafını Sarma .....	51
3.6.2. Hava Kabarcığı Yöntemi İle Balıklara Yaklaşma .....	51
3.6.3. Balıkları Arama (Keşif) .....	52
3.7. Yarasa Optimizasyon Algoritması (Bat Algorithm, BA) .....	53
3.7.1. Yarasa Algoritmasının Matematiksel Modeli .....	54
3.8. Yusufçuk Optimizasyon Algoritması (Dragonfly Algorithm, DA) .....	57
3.8.1. Yusufçuk Algoritmasının Matematiksel Modeli .....	59
3.9. Matlab Programı .....	61
3.10. SAP2000 ve Etabs Sonlu Eleman Analiz ve Boyutlama Programları .....	62
3.11. Açık Uygulama Programlama Ara yüzü (OAPI) .....	62
3.12. Kullanılan Yer İvme Kayıtları .....	63
3.12.1. Sismik İzolasyon Sistemlerinin Optimizasyonu için Kullanılan İvme Kayıtları .....	64
3.12.2. Viskoz Sönüm Duvarlarının Optimizasyonu için Kullanılan İvme Kayıtları .....	67
3.13. Sismik İzolasyon Sistemlerinin Doğrusal Hesaba Göre Optimizasyonu için Önerilen Yöntem .....	71
3.14. Doğrusal Olmayan İzolasyon Sistemlerinin Optimizasyonu için Önerilen Yöntem .....	74
3.15. Viskoz Kuvvet Duvarı Optimizasyonu için Önerilen Yöntem .....	78
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>86</b>
4.1. Doğrusal Hesaba Göre Sonuçlar .....	87
4.1.1. Kayma Çerçevesi Modeli Sonuçları .....	88
4.1.2. Köprü Ayağı Modeli Sonuçları .....	101
4.2. Doğrusal Olmayan Hesaba Göre Sonuçlar .....	116
4.2.1. Köprü Ayağı Modeli .....	117
4.3. Köprü Modeli için Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Hesaba göre Bulunan Optimizasyon Sonuçlarının Karşılaştırması .....	132
4.4. Sismik İzolasyon Parametrelerinin Optimizasyonu için Algoritmalar Arası Performans Karşılaştırması .....	136
4.5. 15 Katlı Yapı Modelinde Optimum Viskoz Sönüm Duvarı Yerleşiminin Bulunması .....	137

4.5.1. Yarasa Algoritması (BA) ile Optimum Viskoz Sönüm Duvarı Yerleşiminin Bulunması .....	139
4.5.2. Yusufçuk Algoritması (DA) ile Optimum Viskoz Sönüm Duvarı Yerleşiminin Bulunması .....	144
4.6. Viskoz Sönüm Duvarı Yerleşim ve Sayı Optimizasyonunda Yarasa (BA) ve Yusufçuk (DA) Algoritmaları Performans Karşılaştırması .....	150
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>156</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>161</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

<b>Şekil 1.1.</b>	Yapısal enerji sönümü yapısal kontrol sistemleri (Aldemir ve Aydın, 2005). .....	3
<b>Şekil 1.2.</b>	Deprem sırasında normal yapı davranışı (Kurashiki, 2019). .....	9
<b>Şekil 1.3.</b>	Deprem sırasında sismik izolasyonlu yapı davranışı (Kurashiki, 2019). ..	10
<b>Şekil 1.4.</b>	(a) Periyot artışı sonucu deplasman tepki spektrumu (b) İvme spektrumu değişimi.....	11
<b>Şekil 1.5.</b>	Yuvarlak kütüklerle deprem izolasyonu (Naderzadeh, 2009). .....	12
<b>Şekil 1.6.</b>	1870 yılında tasarlanan sismik koruyucu düzenek (Makris, 2019). .....	13
<b>Şekil 1.7.</b>	Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (Kalpakidis ve Constantinou, 2009)... ..	14
<b>Şekil 1.8.</b>	Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün yatay deplasmanı (Kalpakidis ve Constantinou, 2009).....	15
<b>Şekil 1.9.</b>	Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün histeretik eğrisi (Kalpakidis ve Constantinou, 2009).....	15
<b>Şekil 1.10.</b>	Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün doğrusal hesabı için kullanılan kuvvet deplasman eğrisi. ....	16
<b>Şekil 1.11.</b>	Çift doğrulu kuvvet-deplasman ilişkisi gösteren tipik bir izolatör (Arguc, Avsar ve Ozdemir, 2017).....	18
<b>Şekil 1.12.</b>	Klasik izolatör tasarımında işlem basamaklarını gösteren algoritma (Wang vd., 2010). .....	20
<b>Şekil 1.13.</b>	Viskoz sönümleyici duvar kesiti.....	24
<b>Şekil 1.14.</b>	Viskoz sönümleyici duvar yerleşimi.....	24
<b>Şekil 1.15.</b>	Bir hastane yapısında viskoz sönümleyici duvar uygulaması (Dynamic Isolation Systems, 2019).....	25
<b>Şekil 3.1.</b>	Sayısal analizlerde kullanılan kayma çerçevesi modeli.....	33
<b>Şekil 3.2.</b>	Kayma çerçevesi SAP2000 modeli.....	34
<b>Şekil 3.3.</b>	Köprünün 3 boyutlu görünümü.....	35
<b>Şekil 3.4.</b>	Köprü geometrisi. ....	35
<b>Şekil 3.5.</b>	Köprü modeli ve izolatör yerleşimi. ....	36
<b>Şekil 3.6.</b>	Köprü orta ayağı SAP2000 modeli.....	37
<b>Şekil 3.7.</b>	Modelin planı ve dikey kesiti.....	38

<b>Şekil 3.8.</b>	15 Katlı yapının Etabs'ta oluşturulmuş 3 boyutlu analitik modeli. ....	39
<b>Şekil 3.9.</b>	CSA'da kargaların Durum 1'e göre konum değiştirme şeması a) ( $uu < 1$ ) için ve b) ( $uu > 1$ ) için. Karga ( $i$ ) noktalı çizgi üzerinde her noktaya gidebilir (Askarzadeh, 2016). ....	41
<b>Şekil 3.10.</b>	Karga arama algoritması sözde kodu (Askarzadeh, 2016). ....	43
<b>Şekil 3.11.</b>	Gri kurt sürünün aşağıdan yukarı doğru artan liderlik hiyerarşisi. ....	44
<b>Şekil 3.12.</b>	Gri kurtların avlana davranışları: (A) av peşinde koşmak, yaklaşmak ve izlemek (B – D) takip etmek, taciz etmek ve çevrelemek (E) durağan durum ve saldırı (Mirjalili vd., 2014). ....	45
<b>Şekil 3.13.</b>	Alfa, beta, delta ve omega kurtlarının ava yaklaşmasının grafiksel gösterimi (Faris vd., 2018). ....	46
<b>Şekil 3.14.</b>	2D (a) ve 3D (b) uzayında pozisyon vektörleri ve muhtemel bir sonraki pozisyonları. ....	47
<b>Şekil 3.15.</b>	GWO'da sürü bireylerinin pozisyonlarının güncellemesi (Mirjalili vd., 2014). ....	48
<b>Şekil 3.16.</b>	Gri kurt algoritmasının sözde kodu (Mirjalili vd., 2014). ....	49
<b>Şekil 3.17.</b>	Kambur balinaların hava kabarcığı yöntemi avlarına yaklaşımları (Mirjalili and Lewis 2016). ....	50
<b>Şekil 3.18.</b>	Balina optimizasyon algoritmasının sözde kodu (Mirjalili ve Lewis, 2016). ....	53
<b>Şekil 3.19.</b>	Yarasa optimizasyon algoritmasının sözde kodu (Yang 2010). ....	57
<b>Şekil 3.20.</b>	Yusufçuk sürüsünün statik ve dinamik davranışları (Mirjalili 2016). ....	58
<b>Şekil 3.21.</b>	Yusufçuk sürüsünün 5 temel hareket davranışı (Mirjalili 2016). ....	58
<b>Şekil 3.22.</b>	Yusufçuk algoritmasının sözde kodu (Mirjalili 2016). ....	61
<b>Şekil 3.23.</b>	Sismik izolasyon sistemlerinin optimizasyonunda kullanılan deprem kayıtlarına ait %5 sönümlü ivme spektrumları (PEER 2019). ....	65
<b>Şekil 3.24.</b>	Sismik izolasyon sistemlerinin optimizasyonunda kullanılan deprem kayıtlarına ait %5 sönümlü deplasman spektrumları (PEER 2019). ....	65
<b>Şekil 3.25.</b>	Farklı izolasyon periyotlarına göre ortalama deplasman spektrumlarının (SD) sönüm oranına göre değişimi. ....	66
<b>Şekil 3.26.</b>	Farklı izolasyon periyotlarına göre ortalama ivme spektrumlarının (SA) sönüm oranına göre değişimi. ....	66

<b>Şekil 3.27.</b>	Viskoz sönüm duvarı yerleşim optimizasyonunda kullanılan örnek yapı konumu (AFAD, 2019).....	68
<b>Şekil 3.28.</b>	Viskoz sönüm duvarı yerleşimi optimizasyonunda kullanılan ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının %5 sönüm için spektral ivme grafikleri.....	70
<b>Şekil 3.29.</b>	Viskoz sönüm duvarı yerleşimi optimizasyonunda kullanılan ölçeklendirilmiş spektral ivme grafiği ve DD1 deprem yer hareketi düzeyi için tasarım spektrumu.....	70
<b>Şekil 3.30.</b>	Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesabı için önerilen yöntemin algoritması. ....	74
<b>Şekil 3.31.</b>	Sismik izolasyon sistemlerinin parametrelerinin doğrusal olmayan hesabı için önerilen optimizasyon yönteminin algoritması.....	77
<b>Şekil 3.32.</b>	Viskoz sönüm duvarın yapıya şematik olarak yerleşimi. ....	78
<b>Şekil 3.33.</b>	Viskoz sönüm duvarın analitik modelinin şematik gösterimi. ....	80
<b>Şekil 3.34.</b>	Viskoz sönümleme duvarı yerleşiminin şematik gösterimi. ....	80
<b>Şekil 3.35.</b>	Kaliforniya Üniversitesi'nde deneyi yapılan viskoz sönümleme duvarının kuvvet-deplasman grafiği (Dynamic Isolation Systems, 2019).....	80
<b>Şekil 3.36.</b>	Binanın bir yüzündeki tüm açıklıklarına yerleştirilmiş viskoz sönümleme duvarlarının Etabs modeli.....	82
<b>Şekil 3.37.</b>	Örnek modelin iki dış yüzünün tüm açıklıklarına yerleştirilmiş viskoz sönümleme duvarlarının Etabs modeli ve deprem etkime doğrultusu.....	83
<b>Şekil 3.38.</b>	Viskoz sönüm duvarı optimizasyonu için önerilen yöntemin algoritması.	83
<b>Şekil 4.1.</b>	CSA, WOA ve GWO'nun kayma çerçevesi için yaklaşım eğrileri.....	91
<b>Şekil 4.2.</b>	Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan PRA/PGA değerlerinin HS ile karşılaştırması.....	97
<b>Şekil 4.3.</b>	Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan sönüm oranı değerlerinin HS ile karşılaştırması. ....	98
<b>Şekil 4.4.</b>	Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan izolasyon deplasman değerlerinin HS ile karşılaştırması. ....	100
<b>Şekil 4.5.</b>	Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan periyot değerlerinin HS ile karşılaştırması.....	100

<b>Şekil 4.6.</b>	Köprü ayağı için 15 farklı duruma ve 3 farklı algoritmaya göre yaklaşım eğrileri.....	105
<b>Şekil 4.7.</b>	Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan PSA değerlerinin farklı durumlara göre karşılaştırması.....	112
<b>Şekil 4.8.</b>	Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan sönüm oranı değerlerinin farklı durumlara göre karşılaştırması.....	113
<b>Şekil 4.9.</b>	Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan izolasyon deplasman değerlerinin farklı durumlara göre karşılaştırması. ....	114
<b>Şekil 4.10.</b>	Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan periyot değerlerin farklı durumlara göre karşılaştırması.....	115
<b>Şekil 4.11.</b>	Köprü ayağı için 12 farklı duruma ve 3 farklı algoritmaya göre yaklaşım eğrileri.....	120
<b>Şekil 4.12.</b>	Köprü ayağı için durumlara göre optimum izolasyon parametreleri ile bulunan PSA sonuçları.....	127
<b>Şekil 4.13.</b>	Köprü ayağı için durumlara göre optimum izolasyon parametreleri ile bulunan sönüm oranı sonuçları.....	128
<b>Şekil 4.14.</b>	Köprü ayağı için durumlara göre optimum izolasyon parametreleri ile bulunan izolasyon deplasman sonuçları. ....	129
<b>Şekil 4.15.</b>	Köprü ayağı için durumlara göre optimum izolasyon parametreleri ile bulunan efektif periyot sonuçları. ....	130
<b>Şekil 4.16.</b>	CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için PSA sonuç karşılaştırmaları. ....	133
<b>Şekil 4.17.</b>	CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için sönüm oranı sonuç karşılaştırmaları. ....	134
<b>Şekil 4.18.</b>	CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için izolatör deplasmanı sonuç karşılaştırmaları.....	135
<b>Şekil 4.19.</b>	CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için periyot sonuç karşılaştırmaları.....	136
<b>Şekil 4.20.</b>	Viskoz sönüm duvarı olmadan 11 ivme kaydının yapıda oluşturduğu göreceli kat öteleme oranları. ....	138
<b>Şekil 4.21.</b>	Yarasa optimizasyon algoritması (BA) ile viskoz sönüm duvarı optimizasyonu yaklaşım eğrisi.....	139

- Şekil 4.22.** Yarasa algoritması (BA) ile minimum adette bulunan viskoz sönüm uvarlarının yapı üzerindeki optimum yerleşim açıklıkları..... 140
- Şekil 4.23.** Yarasa algoritması (BA) kullanılarak farklı VSD yerleşim durumları için oluşturulan yapı kombinasyonlarında en büyük görelî kat öteleme oranları. 141
- Şekil 4.24.** Yarasa algoritması (BA) kullanılarak farklı VSD yerleşim durumları için oluşturulan yapı kombinasyonlarında en büyük kat ivme değerleri. .... 142
- Şekil 4.25.** Yarasa algoritması (BA) kullanarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük görelî kat öteleme oranları ve ortalamaları. .... 143
- Şekil 4.26.** Yarasa algoritması kullanarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük kat ivmeleri ve ortalaması..... 144
- Şekil 4.27.** Yusufçuk (DA) algoritması ile viskoz sönüm duvarı optimizasyonu yaklaşım eğrisi. .... 145
- Şekil 4.28.** Yusufçuk algoritması (DA) ile minimum adette bulunan viskoz sönüm duvarlarının yapı üzerindeki optimum yerleşimi..... 146
- Şekil 4.29.** Yusufçuk algoritması (DA) kullanılarak farklı VSD yerleşim durumları için oluşturulan yapı kombinasyonlarında en büyük görelî kat öteleme oranları. 147
- Şekil 4.30.** Yusufçuk algoritması kullanılarak optimum yerleşim açıklıklarına yerleştirilmiş VSD'lerin, VSD yerleştirilmeden ve olası tüm açıklıklara VSD yerleştirilerek oluşturulan yapı kombinasyonlarında en büyük kat ivme değerleri. .... 148
- Şekil 4.31.** Yusufçuk algoritması kullanarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük görelî kat öteleme oranları ve ortalamaları. .... 149
- Şekil 4.32.** Yusufçuk algoritması kullanarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük kat ivmelerinin ortalamaları..... 150
- Şekil 4.33.** Yarasa (BA) ve yusufçuk (DA) algoritmalarının belirlediği optimum viskoz sönüm duvarı yerleşim açıklıkları karşılaştırması. .... 151

- Şekil 4.34.** Yarasa (BA) ve yusufçuk (DA) algoritmalarının optimizasyon sürecinde yaklaşım eğrileri karşılaştırması. .... 152
- Şekil 4.35.** Optimum yerleşime göre yarasa (BA) ve yusufçuk (DA) algoritmalarının görelî kat öteleme oranları karşılaştırması. .... 154
- Şekil 4.36.** Optimum yerleşime göre BA ve DA'nın görelî kat ivmeleri karşılaştırması. .... 155

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Çizelge 1.1.</b> Sönümleyici Tipleri (Caner ve Shaban, 2019; Yıldırım vd., 2019) .....	4
<b>Çizelge 1.2.</b> Çalışma kapsamında yapılan analizler ve özellikleri .....	7
<b>Çizelge 3.1.</b> Yapı özellikleri .....	37
<b>Çizelge 3.2.</b> Sismik izolasyon sistemlerinin optimizasyonunda kullanılan deprem kayıtlarına ait özellikler (PEER 2019). .....	64
<b>Çizelge 3.3.</b> Viskoz sönüm duvarı yerleşimi optimizasyonunda kullanılan deprem kayıtlarına ait özellikler ve kullanılan ölçek katsayıları (PEER 2019). ..	69
<b>Çizelge 4.1.</b> Çalışma kapsamında yapılan analizler, optimizasyon parametreleri ve limitler .....	86
<b>Çizelge 4.2.</b> Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesabı için kullanılan limitler. ....	89
<b>Çizelge 4.3.</b> Kayma çerçevesi için CSA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları. ....	92
<b>Çizelge 4.4.</b> Kayma çerçevesi için CSA ile bulunan optimum deplasman, sönüm oranı ve PRA/PGA değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları.....	93
<b>Çizelge 4.5.</b> WOA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları. ....	94
<b>Çizelge 4.6.</b> Kayma çerçevesi için WOA ile bulunan optimum deplasman, sönüm oranı ve PRA/PGA değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları.....	94
<b>Çizelge 4.7.</b> Kayma çerçevesi için GWO ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları. ....	95
<b>Çizelge 4.8.</b> GWO ile bulunan optimum deplasman, sönüm oranı ve PRA/PGA değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları. ....	96
<b>Çizelge 4.9.</b> Kayma çerçevesi için 9 farklı durum için optimum sonuçları veren tarihi ivme kayıtları.....	101
<b>Çizelge 4.10.</b> Köprü ayağı için sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesabı için kullanılan limitler. ....	102
<b>Çizelge 4.11.</b> Köprü ayağı için CSA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri.....	106

<b>Çizelge 4.12.</b> Köprü ayağı için CSA ile bulunmuş optimum rijitlik ve sönüm katsayıları kullanılarak hesaplanmış izolasyon deplasmanı, sönüm oranı ve PSA değerleri.....	107
<b>Çizelge 4.13.</b> Köprü ayağı için WOA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri.....	108
<b>Çizelge 4.14.</b> Köprü ayağı için WOA ile bulunan optimum deplasman, sönüm oranı ve PSA değerleri.....	109
<b>Çizelge 4.15.</b> Köprü ayağı için GWO ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri.....	110
<b>Çizelge 4.16.</b> Köprü ayağı için GWO ile bulunan optimum deplasman, sönüm oranı ve PSA değerleri.....	111
<b>Çizelge 4.17.</b> Köprü ayağı için 15 farklı durum için optimum sonuçları veren deprem ivme kayıtları.....	116
<b>Çizelge 4.18.</b> Köprü ayağı için sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal olmayan hesabı için kullanılan limitler.....	118
<b>Çizelge 4.19.</b> Köprü ayağı için CSA ile bulunan akma öncesi rijitlik, akma dayanımı, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ve PSA değerleri.....	121
<b>Çizelge 4.20.</b> Köprü ayağı için CSA ile bulunmuş optimum $k_e$ , $F_y$ ve $R$ değerlerini kullanılarak hesaplanmış $Q/W$ ve $k_d$ değerleri.....	122
<b>Çizelge 4.21.</b> Köprü ayağı için WOA ile bulunan akma öncesi rijitlik, akma dayanımı, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ve PSA değerleri.....	123
<b>Çizelge 4.22.</b> Köprü ayağı için WOA ile bulunmuş optimum $k_e$ , $F_y$ ve $R$ değerlerini kullanılarak hesaplanmış $Q/W$ ve $k_e$ değerleri.....	124
<b>Çizelge 4.23.</b> Köprü ayağı için GWO ile bulunan akma öncesi rijitlik, akma dayanımı, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ve PSA değerleri.....	125
<b>Çizelge 4.24.</b> Köprü ayağı için GWO ile bulunmuş optimum $k_e$ , $F_y$ ve $R$ değerlerini kullanılarak hesaplanmış $Q/W$ ve $k_e$ değerleri.....	126
<b>Çizelge 4.25.</b> Köprü ayağı modelinde 12 farklı durum için optimum sonuçları veren deprem ivme kayıtları.....	131
<b>Çizelge 4.26.</b> Algoritmalar arası sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonu için en iyi sonuçları veren durum adetleri ve yüzdeleri.....	137

<b>Çizelge 4.27.</b> Yerleşim durumlarına göre viskoz sönüm duvarlarının yapıda oluşturduğu en büyük tepkiler. ....	153
---	-----

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$F$	: Yatay Kuvvet
$U$	: İzolatör Yatay Deplasmanı
$T_0$	: Eşdeğer İzolasyon Periyodu
$M_s$	: Yapı Toplam Kütlesi
$\xi_0$	: İzolasyon Sisteminin Viskoz Sönüm Oranı
$c_0$	: İzolasyon Sistemindeki Viskoz Sönüm Katsayısı
$k_0$	: İzolasyon Sisteminin Rijitliği
$Q$	: İzolatör Karakteristik Dayanımı
$k_d$	: Akma Sonrası Rijitlik
$k_e$	: Akma Öncesi Rijitlik
$R$	: Akma Sonrası Rijitliğin Akma Öncesi Rijitliğe Oranı ( $k_d/k_e$ )
$F_y$	: İzolatörün Akma Kuvvet Değeri
$U_y$	: İzolatörün Akma Deplasmanı
$G_l$	: Kurşunun Kayma Modülü
$A_l$	: Kurşunun Kesit Alanını
$G_r$	: Kauçuğun Kayma Modülü
$A_r$	: Kauçuğun Kesit Alanı
$h_r$	: Kauçuk Yüksekliği
$k_{eff}$	: Efektif Rijitlik
$W$	: Ağırlık
$T_{eff}$	: Efektif İzolasyon Periyodu
$\beta_{eff}$	: Eşdeğer Sönüm Oranı
$k$	: Yay Sabiti
$V$	: Katlar Arası Görelî Hız Farkı
$g$	: Yer Çekimi İvmesi
$cm$	: Santimetre
$sn$	: Saniye
$km$	: Kilometre
$M_w$	: Moment Büyüklüğü

$d_0$	: Hesaplanan Yatay İzolasyon Deplasmanı
$d_{\text{limit}}$	: Yatay İzolasyon Deplasman Limiti
$f_{\text{penaltı}}$	: Penaltı Fonksiyonu
$f$	: Amaç Fonksiyonu
$\kappa_1$	: Penaltı Fonksiyonu Katsayısı
$\kappa_2$	: Penaltı Fonksiyonu Üstel Katsayısı
$f_0$	: Penaltı Fonksiyonu Eklenmiş Amaç Fonksiyonu
$\xi_{\text{alt limit}}$	: Sönüm Oranı Alt Limiti
$\xi_{\text{üst limit}}$	: Sönüm Oranı Üst Limiti
kN	: Kilonewton
$a_{\text{max}}$	: En Büyük İvme
$a_{\text{limit}}$	: En Büyük İvme Limiti
$s_{\text{max}}$	: En Büyük Katlar Arası Görelî Öteleme
$s_{\text{limit}}$	: En Büyük Katlar Arası Görelî Öteleme Limiti
AP	: Farkındalık Olasılığı
fl	: Uçuş Uzaklığı
$A_i$	: Ses Şiddeti
$r_i$	: Sinyal Yayılım Oranı

### **Kısaltmalar**

VSD	: Viskoz Sönüm Duvarı
CSA	: Karga Arama Optimizasyon Algoritması
GWO	: Gri Kurt Optimizasyon Algoritması
WOA	: Balina Optimizasyon Algoritması
BA	: Yarasa Optimizasyon Algoritması
DA	: Yusufçuk Optimizasyon Algoritması
SD	: Spektral Deplasman
SA	: Spektral İvme
OAPI	: Açık Uygulama Arayüzü
API	: Uygulama Programlama Arayüzü
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

PEER	: Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi
PGA	: Pik Yer İvmesi
PGV	: Pik Yer Hızı
PGD	: Pik Yer Değiştirme
PRA	: Pik Çatı Katı İvmesi
PSA	: Pik Üst Yapı İvmesi
Mag.	: Deprem Büyüklüğü
Rjb	: Faya Uzaklık

## 1. GİRİŞ

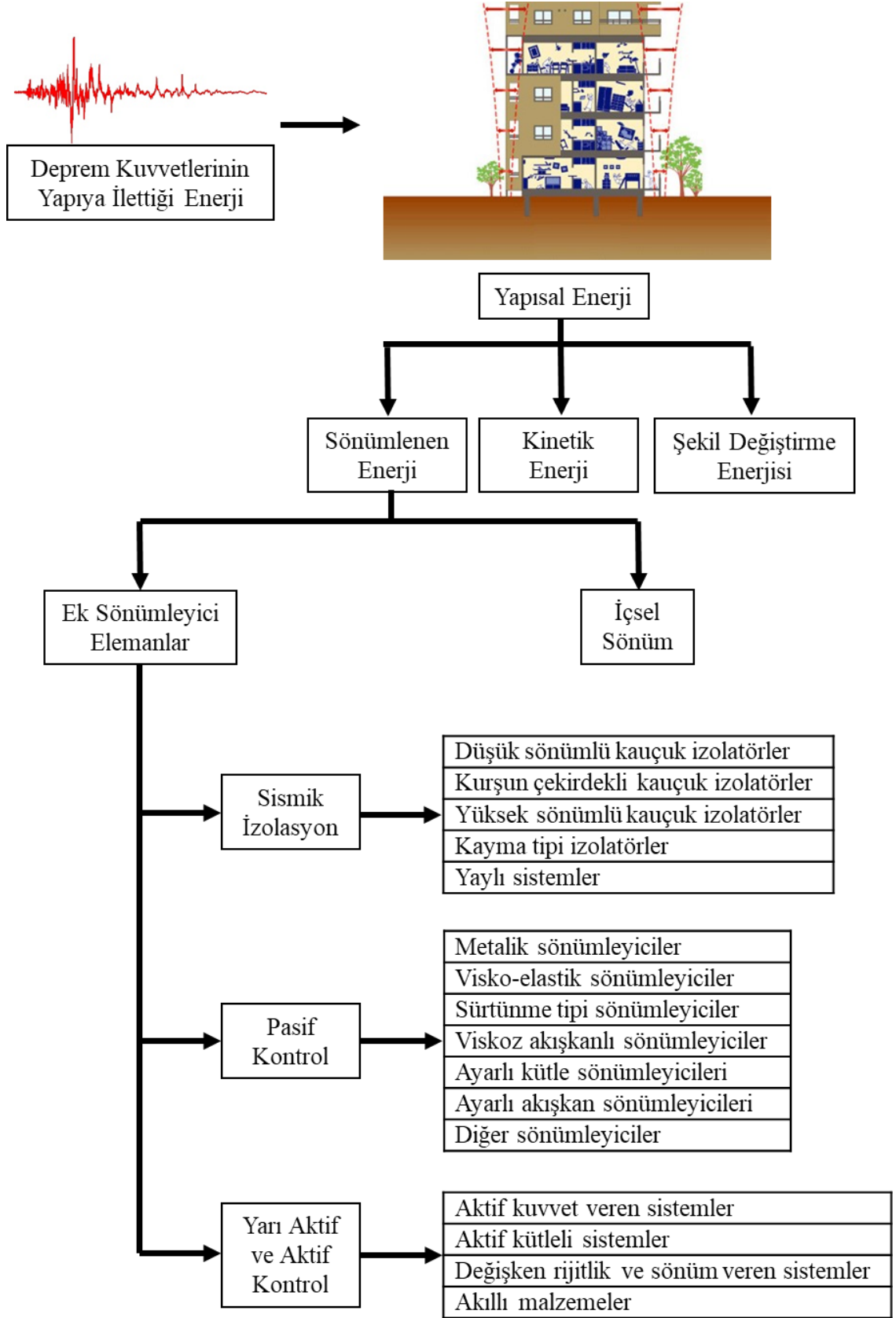
Her yıl dünya çapında oluşan şiddetli deprem etkileri altında kalan yapılar, zarar görerek can ve mal kaybına neden olmaktadır. Büyük depremlerden sonra can kayıplarının çoğuna depremler değil, depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerine göre tasarlanmamış yapılar sebep olmaktadır. Yapı mühendisleri, yapının topyekûn çökmesini veya yapısal ve yapısal olmayan elemanların zarar görmesini önlemek için depreme dayanıklı yapıların tasarlanmasından sorumludur. Bu sorumlulukla yapı mühendisleri, deprem yer hareketi nedeniyle yapıda oluşacak tüm etkileri dikkate alarak tasarımını gerçekleştirmesi gerekmektedir.

Deprem mühendisliği, yapıların sismik analizi, tasarım ve değerlendirmesi ile ilgilenen multidisipliner bir daldır. Deprem mühendisliği alanı, sismik etkilere maruz kalan yapılar için farklı yapısal performans kriterleri oluşturmak üzere gelişmektedir. Son zamanlarda bu kriterler çoğunlukla ekonomik ölçütlere dayanmaktadır. Küresel dünyamızda ekonomi, her türlü yatırımın temel parametresidir. Yapıların sismik performans seviyesi belirlenirken yatırımcının işlevsel amaçları göz önüne alınmakta ve yapısal tasarım buna göre yapılmaktadır.

Yapıların sismik performans seviyelerini açıklamak için yapı mekaniğinin bazı temel ilkeleri göz önüne alınmalıdır. Yapı mekaniğinde şekil değiştirmeye karşı kuvvet tanımına göre, yükler yapı tarafından direnç göstermesi gereken kuvvetleri temsil ederken şekil değiştirme yapıdaki hasarın bir göstergesidir. Bu yaklaşımla, yapısal elemanların elastik kuvvet aralığında kalacağı bir yer değiştirmeye karşı elemanların yüklere karşı koymak için yeterli kapasiteye sahip olmaları oldukça güvenlidir. Ancak, bu yaklaşım mühendislik açısından ekonomik değildir. Bu nedenle tasarımcı tarafından yapıya gelen kuvvetlerin doğru dağıtıldığı bir tasarım gereklidir. Bu tasarımın temeli de tasarlanan yapısal elemanlarda süneklik şartının sağlanması ile bazı kalıcı deformasyonlara izin verilerek, elastik davranışın ötesindeki kapasitenin kullanılmasına dayanır. Bu şekilde yapısal sistem içinde kuvvet dağıtım mekanizmaları oluşturmak can kaybı veya topyekûn çökme olmadan bir miktar hasarı kabul ederek tasarlamak yani yapıda kontrollü hasara izin vermek genelde uygulanan bir felsefedir. Dünya genelinde yürürlükte olan yapı tasarım yönetmelikleri de bu felsefeyi göz önüne alarak hazırlanmaktadır. Kontrollü hasar yaklaşımında, sistemin esnekliği sağlanmalıdır. Süneklik, bir yapısal elemanın elastik olmayan bölgede yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan deforme olabilirlilik

olarak tanımlanabilir. Elastik olmayan tasarım yaklaşımında hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanlarda kontrollü hasarlar kabul edildiğinden, izin verilen hasarın oluşma olasılığı da dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Sonuçlar ve hasar olasılığı değerlendirildikten sonra, tasarım kuvveti seviyelerine karar verilir ve yapı buna göre tasarlanır. Hasarın sonuçlarını göz önünde bulundurmak ve hesaplara dahil etmek performansa dayalı deprem mühendisliği olarak adlandırılabilir. Mühendislik açısından yapısal tasarım esas olarak bu yaklaşıma dayanmaktadır.



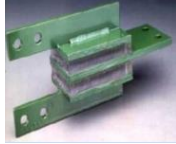

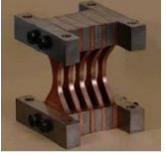

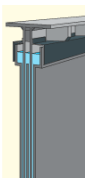

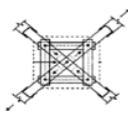
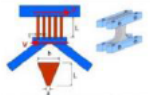
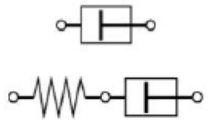
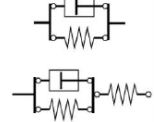
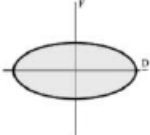
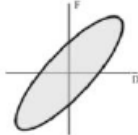
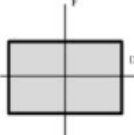
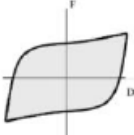
Performansa dayalı deprem mühendisliğinin temel konusu depremin yapıya ilettiği yüksek enerjinin yapı bünyesinde uygun bir şekilde dağıtılarak sönmelenmesinin sağlanmasıdır. Deprem etkileri altındaki yapı, depremin yapı üzerinde oluşturduğu enerjiyi kinetik enerji, şekil değiştirme enerjisi ve sönmleme enerjisi olarak boşaltır. Yapı üzerinde kinetik enerji ve sönmlenen enerji yeterli olmazsa yapı gereğinden fazla şekil değiştirme yaparak deprem enerjisini boşaltmayı talep eder ve sonuçta yapı hasar durumuna geçer. Bu hasarı önlemenin ya da kontrol edebilmenin yolu da yapıya ek sönmleyiciler yerleştirerek şekil değiştirmeyi kontrol altına almaktır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Yapısal enerji sönümü yapısal kontrol sistemleri (Aldemir ve Aydın, 2005).

Şekil 1.1’de sunulduğu gibi deprem enerjisi yapı içinde farklı mekanizmalarla sönümlenir. Günümüzde ek sönümleyici elemanlar genellikle kritik yapılarda daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu elemanların, deprem sonrası kullanımına aralıksız devam edilmesi gereken yapılarda ve kültür mirası açısından önemi olan tarihi yapılarda kullanılması, önde gelen yapı koruma yöntemlerinden bir tanesidir. Ek sönümleyici elemanlar, teknolojinin gelişimi ile özellikle yüksek binalarda sadece depreme karşı değil rüzgâr gibi yapıyı sürekli yanal salınımına sokarak yapı kullanıcılarının konforunu bozan etkilere karşı da koruyacak şekilde tasarlanmaya ve uygulanmaya başlamıştır. Çizelge 1.1’de sönümleyici tipleri ve özellikleri sunulmuştur.

**Çizelge 1.1.** Sönümleyici Tipleri (Caner ve Shaban, 2019; Yıldırım vd., 2019)

	Hıza Bağlı Sönümleyiciler		Yerdeğiştirmeye Bağlı Sönümleyiciler		
	Viskoz	Viskoelastik	Sürtünme	Akma	
<b>Örnek</b>	 Viskoz Sıvılı Sönümleyici	 Viskoz Sönüm Duvarı	 Viskoelastik Elastomer Sönümleyici	 Dönme-Sürtünme Sönümleyici	 Metal Akma Sönümleyici
<b>Genel Yapı</b>					
<b>Model</b>					
<b>F-D İlişkisi</b>					

Bu çalışmanın konusu kapsamında sismik izolasyon sistemlerinden kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyiciler ve pasif kontrol sistemlerinden viskoz akışkanlı sönümleyiciler üzerinde durulmuştur.

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Depremi yıkıcı etkilerinden korunması için önceki bölümde açıklandığı gibi yapılarda sismik izolasyon elemanların kullanılması en iyi yöntemlerden biridir. Doğru tasarlanan ve uygulanan sismik izolasyon elemanları, yapıların depremden hasar görmeden ve kesintisiz bir şekilde görevlerini sürdürmesini sağlar. Ancak depremden korunacak yapı için en uygun sismik izolasyon sisteminin tasarımı yapılması şarttır. Bu çalışmanın ilk kısmının amacı yapılar için en uygun sismik izolasyon sisteminin tasarımının yapılmasıdır. Bu tasarım için de önerilen yöntem sezgisel optimizasyon algoritmalarının kullanılmasıdır.

Klasik sismik izolasyon tasarımı, yapı tepkilerine göre deneme yanılma felsefesine dayanan iteratif bir metottur. Bu metoda göre, baştan belirlenen izolatör tepkileri ile yapı tepkilerinin birbirleri ile tutarlı olması için fazlaca tekrarlı analizler yapılması gerekmektedir. Yapılacak tekrarlı analizler sonucunda, yapıyı deprem etkilerinden koruyabilecek izolatör parametrelerinin belirlenmesi tasarımcının tecrübesine bağlıdır. Ancak özellikle hastane, veri merkezleri, demiryolu vb. yapılarda deneme yanılma felsefesine dayanan bu tasarım yeterli olmaz. Örneğin sismik izolasyonlu olsa bile bir hastanede bir ameliyat sırasında olan bir depremin oluşturacağı sarsıntı hayati sonuçlar doğurabilir ya da saatte 250km/s hızla giden bir tren, köprü üstünde deprem sarsıntısı etkisine girerse bir felaket yaşanabilir. Bir veri merkezindeki hassas cihazlar, depremin yapıda oluşturacağı ivme ile hasar görerek ciddi kayıplara neden olabilir. Bu sebeple sismik izolasyon tasarımı, yapıyı sadece olası yapısal hasarlardan korumakla kalmamalı, çok kesin hesaplarla yapı üzerinde en düşük ivmeyi oluşturarak deprem etkilerini en düşük seviyeye indirmelidir.

Yapılarda en düşük ivmeyi oluşturacak sismik izolasyon tasarımı için izolasyon sönümü ve yapı deplasmanı gibi değişkenler göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca farklı deprem etkileri, yakın-uzak fay etkileri bu hassas tasarımın kesinliği için değerlendirilmelidir. Ancak bu kadar değişkenli ve yapı tepkisini doğrudan etkileyen izolasyon tasarımı probleminin hassas çözümünü yapmak kolay değildir. Bu sebeple bu çalışmada oldukça güçlü problem çözme kabiliyetleri olan sezgisel optimizasyon algoritmalarının kullanılması araştırılmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında, sismik izolasyonlu yapıların tasarımı için iki farklı yapı tipi ele alınmıştır. Bu yapı tipleri 2 boyutlu, 4 katlı bir kayma çerçevesi modeli ve bir

köprü ayağı modelidir. Bu iki modelin de farklı deplasman ve sönüm oranı limitlerinde en düşük ivmeyi sağlayan sismik izolasyon parametrelerinin belirlenmesi çalışmanın ilk amacıdır. Çözümler 6 adet gerçek ivme kaydı kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri zaman tanım alanında yapılmıştır. Bu sayede gerçeğe en yakın modelleme ve yapı tepkilerinin elde edilmesi sağlanmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında ise viskoz sönümlü kuvvet duvarlarının yapı içindeki konumlarının belirlenmesi için sezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Viskoz sönümleyici duvarlar yapıdaki iki kat arasına yerleştirilen, yapıya ek sönüm kazandıran elemanlardır. Bu elemanların maliyetlerinin yüksek olması ve fazla kullanılması ile yapı tepkilerini olumsuz etkilemesi sebebiyle yapıda belirli açıklıklara yerleştirilmesi gereklidir. Ancak hangi açıklıklara yerleştireceğini belirlemek önemli mühendislik problemlerinden biridir. Bu çalışma için de 3 boyutlu 15 katlı bir yapı ele alınmıştır. Özellikle ele alınan örnek yapıda olduğu gibi viskoz sönüm duvarlarının yerleştirileceği oldukça fazla açıklık bulunduğundan ek sönümleyici elemanların yerleşim yerlerini deneme-yanılma yöntemi ile bulmak zor bir iştir. Ayrıca bu çalışmada belirlenen görelî kat ötelemeleri ve yapı ivme limitleri altında maliyet olarak yüksek değerde olan bu elemanların en az sayıdaki yerleşimini bulmak daha da zor bir tasarımdır. Bu zor tasarım için de güçlü çözüm kapasitesine sahip sezgisel optimizasyon algoritmalarından yararlanılarak yapılması çalışmanın ikinci amacıdır. Örnek olarak ele alınan 15 katlı yapı modeline 11 farklı gerçek ivme kaydı uygulanarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmış, belirlenen limitler içinde yapıda bulunabilecek en az sayıdaki viskoz sönüm duvarı adedi ve yerleşim açıklıkları ele alınan optimizasyon yöntemleriyle belirlenmiştir.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, çalışmaya amaç olan konularla ilgili yapılmış literatür çalışmaları açıklanmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde, bu tez çalışmasının amaç edindiği konularla ilgili bir eksiklik olduğu görülmektedir. Ayrıca bu çalışmada, yeni ve daha etkili sezgisel optimizasyon algoritmaları ilk defa pasif kontrol sistemlerinin parametre, yerleşim ve sayı optimizasyonunda kullanılmış, analizler optimizasyon sürecine dahil edilen ve otomatik tekrarlı analiz yapılabilecek hale getirilmiş yapısal analiz programları kullanılarak yapılmıştır. Bu programların optimizasyon sürecinde kullanılması ile daha doğru ve kolay çözümler üretilebilmiştir.

## 1.2. Çalışmanın Kapsamı ve Organizasyonu

Önceki bölümde açıklandığı gibi çalışmanın amacı doğrultusunda üç farklı model ele alınmıştır. Bu modellerin çözümünde 5 farklı sezgisel optimizasyon algoritması kullanılarak çözüm yapılmıştır. Çözümler farklı limitler kullanılarak yapının tepkileri bir takım mühendislik talep parametreleri kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamı Çizelge 1.2’de verilmiştir.

**Çizelge 1.2.** Çalışma kapsamında yapılan analizler ve özellikleri

Model	Amaç	Çözüm Yöntemi	Farklı Limit Sayısı	Yer İvme Kaydı Sayısı	Sezgisel Algoritma Türü
4 Katlı Kayma Çerçevesi		Doğrusal	9	6	Karga Arama Algoritması (CSA)
					Balina Algoritması (WOA)
					Gri Kurt Algoritması (GWO)
Gerçek Köprü Ayağı	Optimum sismik izolasyon parametrelerinin belirlenmesi	Doğrusal	15	6	Karga Arama Algoritması (CSA)
					Balina Algoritması (WOA)
					Gri Kurt Algoritması (GWO)
		Doğrusal Olmayan	12	6	Karga Arama Algoritması (CSA)
					Balina Algoritması (WOA)
					Gri Kurt Algoritması (GWO)
15 Katlı Yapı	En az sayıda viskoz sönüm duvarı yerleşimi	Doğrusal Olmayan	1	11	Yarasa Algoritması (BA)
			1	11	Yusufoçuk Algoritması (DA)

Çizelge 1.2’de görüleceği gibi karga arama algoritması, balina algoritması, gri kurt algoritması köprü ayağı ve 4 katlı kayma çerçevesi modellerinde optimum sismik izolasyon parametrelerinin bulunması için kullanılmıştır. Yarasa ve yusufoçuk algoritmalarından ise 15 katlı yapı modelinde en az sayıda viskoz sönüm duvarı yerleşimini belirlemek için yararlanılmıştır.

Çalışma organizasyonu, Çizelge 1.2’de sunulduğu gibi analizlerin yapılmasında kullanılan modeller, algoritmalar, deprem kayıtları, önerilen yöntemler, bulgular ve sonuçların tartışılması bölümlerinden oluşmaktadır:

1. Giriş: Depremin yapılara etkileri, yapıların depremden korunması, çalışma amacı, çalışma kapsamı ve organizasyonu açıklanmıştır. Sismik izolasyon felsefesi, tarihi, formülasyonu ve yapılmış çalışmalar sunulmuştur. Viskoz sönüm duvarlarının genel hatları ve literatürü verilmiştir.
2. Literatür Özeti: Sismik izolasyon, viskoz sönüm duvarları ile ilgili yapılmış optimizasyon çalışmaları özetlenmiştir.
3. Materyal ve Metot: Kullanılan üç farklı modelin, 5 farklı sezgisel optimizasyon algoritmasının, yer ivme hareketi kayıtlarının ve kullanılan programların özellikleri ortaya konulmuştur. Sismik izolasyon ve viskoz sönüm duvarlarının optimum sonuçlarını belirlemek için önerilen yöntemler açıklanmıştır.
4. Bulgular ve Tartışma: Analizlerin sayısal sonuçları, önceki çalışmalar ile karşılaştırmalar ve değerlendirmeler sunulmuştur.
5. Sonuçlar: Çalışmanın genel sonuçları verilmiştir.
6. Kaynaklar: Çalışmada kullanılan kaynakların listesi hazırlanmıştır.

### 1.3. Sismik İzolasyon

Özel hedeflerle tasarlanan bazı yapı türlerinde yukarıda açıklanan ‘kontrollü hasar’ yaklaşımı doğru bir yaklaşım olmamaktadır. Tasarlanan özel yapı için değerlendirilen hasar seviyesi, yapının işlevsel durumunu kaybetmemesi ya da hiç duraksamadan kullanıma devam edilmesi gibi talepler sonucu oldukça düşük seviyede olması gerekebilir. Günümüzde bu durum için kullanılan en etkin ve yaygın yöntem sismik izolasyon yöntemidir. Kavramsal olarak sismik izolasyon, üstyapının yüksek frekanslı salınımını zeminde deprem kuvvetlerinin oluşturduğu salınımdan ayırarak azaltır. Pasif sismik kontrol sistemlerinden biri olan sismik izolasyon, basit bir yaklaşımla yapı periyodunu artırarak yapıya etki eden deprem kuvvetlerini azaltır ve yapının sönüm kapasitesini artırır. İlave sönümlenme çoğu pasif kontrol sisteminin doğal bir özelliğidir.

Ayrıca pasif kontrol sistemlerinin dışında yapıya gelen deprem etkilerini yapıya farklı yöntemlerle dağıtarak yapıları koruyan aktif kontrol sistemleri de vardır. Sonuçta aktif ya da pasif kontrol sistemlerinin temel amacı yapıda depremin oluşturduğu ivmeleri azaltmak, göreceli kat ötelemelerini azaltarak yapının depremden en düşük seviyede etkilenmesini sağlamaktır.

Tabanı ankastre bir şekilde klasik yöntemle tasarlanmış bir yapıda deprem titreşimleri doğrudan yapı elemanlarını ve yapı içindeki insanları ve muhteviyatını etkiler (Şekil 1.2). Deprem kuvvetlerinin yapıyı doğrudan etkilemesi sonucu yapıda deprem şiddetine bağlı olarak çeşitli hasarlar meydana gelir. Öncelikle bu hasarlar temelden yapıya aktarılan deprem enerjisinin yapıda plastik deformasyon meydana getirmesi ile oluşur. Ayrıca yapı elemanlarının içindeki sürtünmeler, mikro çatlakların açılıp kapanması ve yapısal olmayan elemanların sürünmesi gibi içsel sönüm ile deprem enerjisi üst yapıya dağıtılır. Bu etkileşimler nedeniyle deprem enerjisi üst yapıda hasar bırakarak dağılır. Eğer hasar boyutu ileri seviyeye ulaşırsa yapı stabilitesini kaybederek yerel ya da topyekûn göçme meydana gelebilir.

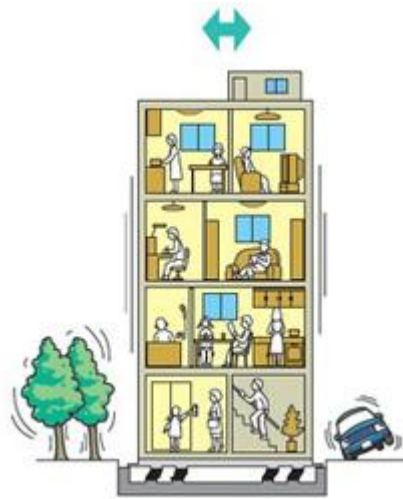


**Şekil 1.2.** Deprem sırasında normal yapı davranışı (Kurashiki, 2019).

Büyük deprem enerjisinin üst yapı elemanları tarafından tüketilmesi iki önemli probleme neden olmaktadır. Biri yüksek kat deplasmanları ve diğeri ise yüksek kat ivmeleridir. Tasarımcılar bu iki parametreyi aynı anda sınırlandırmalıdır. Kat deplasmanlarının azaltılması, depremin kolonlar ve dolgu duvarları gibi ardışık iki kat arasındaki yapısal ve yapısal olmayan bileşenler üzerindeki etkilerini en aza indirmek için

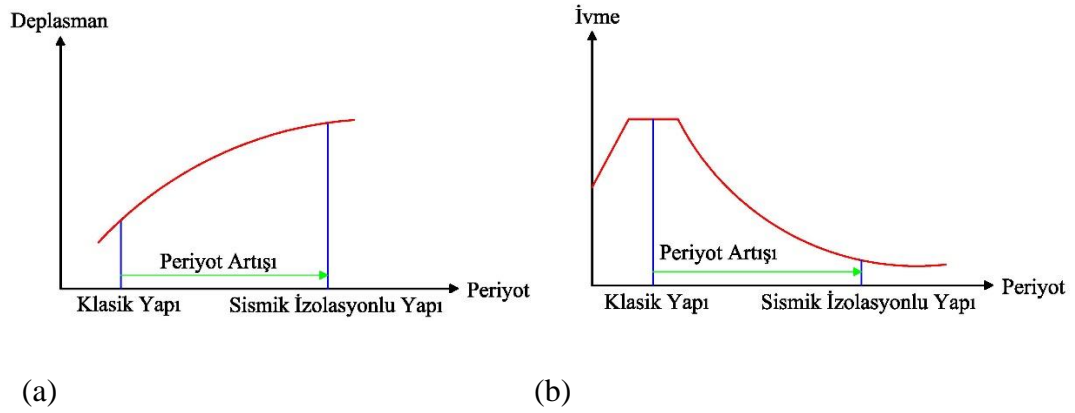
gereklidir. Bunun yanı sıra, hassas ekipmanları istenmeyen titreşimlerden korumak için kat ivmesini kontrol etmek önemlidir.

Sismik izolasyon yöntemi hem katlar arası deplasmanları hem de kat ivmelerini sınırlamak için en iyi yoldur. Binaların sismik izolasyonu, birçok ülkede halihazırda uygulanan yenilikçi bir sismik koruma yöntemidir. Bu yöntemde, dikkate alınan bina deprem yer hareketinin yatay bileşenlerinden üst yapı ile temeli arasına sismik izolasyon elemanları yerleştirilerek ayrıştırılır. Bu sayede deprem esnasında yapısal ve yapısal olmayan elemanlar şiddetli deprem etkilerinden izole edilirler (Şekil 1.3).



**Şekil 1.3.** Deprem sırasında sismik izolasyonlu yapı davranışı (Kurashiki, 2019).

Üst yapı ile temel arasına yerleştirilen sismik izolasyon elemanları düşeyde oldukça rijit, yatayda ise esnek bir yapıya sahiptirler. Bu sayede yapı deprem sırasında düşeyde izolasyonsuz bir yapı gibi davranırken yatayda izolasyon kat seviyesinde rahatça yer değiştirir. Bu yer değişimi yapı doğal titreşim periyodunu ve yapı deplasmanını artırır (Şekil 1.4 (a)). Doğal titreşim periyodundaki bu artış Şekil 1.4 (b)'de görüldüğü üzere yapıya etki edecek ivme değerlerinin önemli oranda azalmasını sağlamaktadır.



**Şekil 1.4.** (a) Periyot artışı sonucu deplasman tepki spektrumu (b) İvme spektrumu değişimi

Sismik izolasyon uygulaması yukarıda açıklandığı gibi yapıyı deprem etkilerinden korumaktadır. Sismik izolasyonun kullanım amaçları şu dört maddede özetlenebilir:

- Yapı güvenliğini ve deprem sonrası kullanılabilirliğini artırmak
- Tasarıma esas yanal eşdeğer deprem kuvvetlerini azaltmak
- Mevcut yapılara uygulanarak deprem performansının iyileştirilmesi
- Tarihi binalara uygulanarak kültürel mirası korumak

Görüldüğü üzere sismik izolasyon yeni tasarlanan ya da mevcut yapılara uygulanabilmektedir. Ancak sismik izolasyon sistemlerinin uygulanabilirliği sınırsız değildir. Özellikle yüksek katlı yapılar için yapı yüksekliği nedeniyle büyük devrilme momentleri oluşmakta ve izolatörler yüksek eksenel kuvvetlere maruz kalmaktadır. İzolatörler üzerindeki yüksek eksenel kuvvetler de çekmede yırtılma ve basıda stabilite kaybına neden olmaktadır. Ayrıca üst yapı kütlelerinin artışı ile yapının yatay deplasmanı giderek artar. Ancak sismik izolasyonlu bir yapı da olsa gereğinden fazla yatay deplasman yapan yapı ilk konumuna geri dönemeyebilir. Deprem kuvvetleri altındaki bu şekildeki yüksek bir yapıda izolasyon rijitliğini artırmak yeterli çözüm olmaz.

Açıklanan sebeplerle sismik izolasyon uygulamasının yeterli olmadığı durumlarda yapıda farklı güvenlik önlemleri almak gerekir. Bu önlemlerden bir tanesi de sonraki bölümde bahsedilecek olan viskoz sönüm duvarları kullanımınıdır.

### 1.3.1. Sismik İzolasyon Tarihçesi

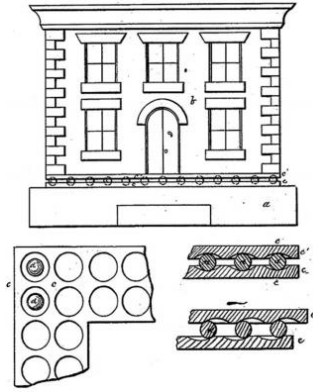
Sismik izolasyon sistemleri tasarım sürecinde uzmanlık gerektiren, yenilikçi bir depreme dayanıklı tasarım felsefesidir. Ancak depremler, insanların ihtiyaçlarını karşılamak için yaptıkları yapıları, tarih boyunca etkileyerek hasarlara neden olmuştur. Bu sebeple tarih boyunca insanlar, depremin yıkıcı etkilerinden korunmak için dönemlerindeki teknik imkânlarla uygun olarak bazı önlemler almışlardır.

Milattan önce 407 yılında Yunanistan'da inşa edilen Erechtheion Tapınağı'nın deprem etkilerinden korunmak amacı ile yerleştirilmiş olduğu düşünülen ufalanmış taş parçaları vardır. Bu taş parçalarının deprem kuvvetlerini emerek yapıya etkisinin azaltıldığı ve üzerlerine yerleştirilen düz yüzeyli kayalara hareket kabiliyeti kazandırdığı görülmüştür. Sismik izolasyon tekniğinin ana fikri bu felsefeye dayanmaktadır. Benzer sismik koruyucu yöntemler Yunanistan'daki Parthenon ve Efes'teki Artemis Tapınaklarında bulunmaktadır. Bu yapılar yapılarının üzerinden yüzyıllar geçmesine rağmen hala ayakta olan yapılardır. Başlarda insanlar için önemli yapılara uygulanan sismik koruyucular sonrasında konut tipi yapılar için de kullanılmıştır. Bu koruyucuların bir tipi de altına ahşap yuvarlak kütükler konularak yapının bir bütün olarak hareketini sağlayan ilkel tekniklerdir (Naderzadeh, 2009) (Şekil 1.5).



**Şekil 1.5.** Yuvarlak kütüklerle deprem izolasyonu (Naderzadeh, 2009).

Jules Touaillon tarafından 1870'de ortaya konulan düşüncede ise yapı ile zemin arasına yuvarlak bilye tipi elemanlar konularak yapının zeminden ayrılması sağlanmıştır (Makris, 2019). Şekil 1.6'da görüldüğü gibi küçük yuvalar içindeki bilyelerin deprem sırasında hareketi ile zeminden gelen deprem kuvvetlerinin yapıya iletimi sınırlandırılmıştır. Ayrıca bilyelerin yuvalar içindeki hareketi yapıya sönüm kazandırmaktadır.



**Şekil 1.6.** 1870 yılında tasarlanan sismik koruyucu düzenek (Makris, 2019).

İlk sismik izolasyon sistemlerinde genellikle ilkel malzemeler kullanılırken, yıllar içinde tasarım ve malzeme üretimindeki gelişimle birlikte günümüzde ileri teknoloji ile üretilmiş sismik izolasyon sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler arasında kauçuk izolatörler, sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler, kayma tipi izolatörler ve yaylı tip izolatör en çok kullanılan izolatörlerdir.

Kauçuk 1970'li yıllarda sismik izolasyon sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Sismik izolasyon sistemlerinde kullanılan malzeme öncelikle yüksek sönüm kapasitesine sahip olması gerektiğinden kauçuk tercih edilmiştir. Kauçuk malzeme yüksek sönüm kapasitesine sahip olsa da sönüm kapasitesini artırmak amacı ile kauçuk malzemenin ortasına kurşun çekirdek eklenmiştir.

### 1.3.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler

Dr. William Robinson tarafından keşfedilen kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, yapının titreşim periyodunu artırmakta ve deprem esnasında yapı ivmesini azaltmaktadır. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, başta Yeni Zelanda olmak üzere Japonya, Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde de köprü ve bina tipi yapıları deprem etkilerinden korumak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999).

Sismik izolasyon olarak kullanılan en makul ve en ucuz çözüm olan bu izolatör tipi yapıya elastik geri çağırıcı kuvvet sağlamaktadır. İzolatörün ortasına yerleştirilen uygun boyuttaki kurşun çekirdek gerekli miktarda sönüm sağlayabilmektedir (Robinson, 1982).

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler katmanlardan oluşmaktadır. Ana hatlarıyla yatayda esnekliği sağlayan kauçuk katmanlar ve düşeyde stabiliteyi sağlayan çelik katmanlar ile en az bir adet kurşun çekirdek bulunmaktadır (Şekil 1.7).



**Şekil 1.7.** Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (Kalpakidis ve Constantinou, 2009).

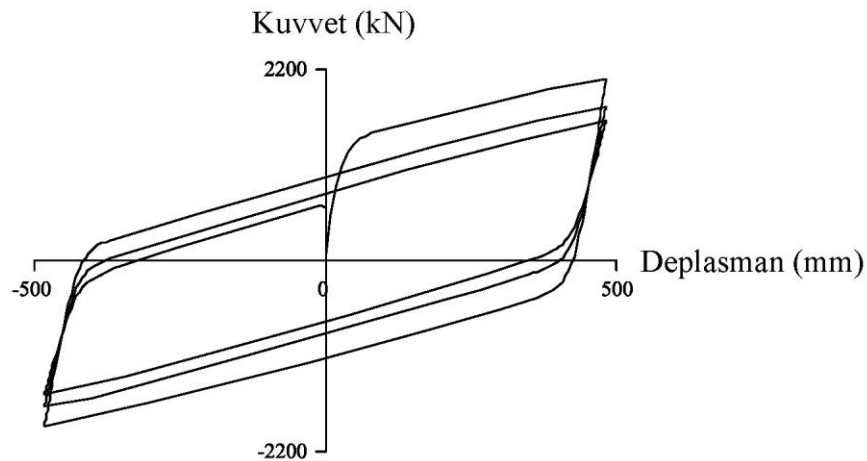
Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler düşeyde yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptirler. Yatayda ise kauçuk ve kurşun çekirdek, deprem etkileri ile üst yapıda oluşan yatay hareket talebini karşılamak için deplasman yaparlar (Şekil 1.8). Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin yatayda hareketi ne kadar fazla olursa sönüm o kadar fazla olmaktadır. Ancak izolatörün mekanik özellikleri, stabilitesi ve üst yapının mimari bileşenlerini korumak için bu deplasmanın belirli bir seviyede sınırlanması şarttır. Ayrıca sistemin yüksek sönüm yapması genel anlamda yapının güvenliği açısından olumlu olarak görülse de izolatörün tasarlanandan fazla sönüme sahip olması yapıda ivme artışına neden olabilmektedir (Kelly, 1999; Providakis, 2008). Bu çalışmanın temelini de deplasman limitleri içinde kalınarak en düşük ivme için doğru sönüm oranının belirlenmesi oluşturmaktadır.



**Şekil 1.8.** Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün yatay deplasmanı (Kalpakidis ve Constantinou, 2009).

### **1.3.2.1. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün mekanik özellikleri**

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlere sahip bir yapının deplasmanları, ivmeleri, kesme kuvvetleri ve diğer yapısal taleplerin maksimum değerleri, tasarımda seçilen izolatörlerin mekanik özelliklerine bağlıdır. Deprem kuvvetleri altındaki sismik izolasyonlu bir yapı, izolasyon katında üst yapıdaki katlara göre yüksek yatay deplasmanlar yaparak deprem kuvvetlerini sönmüler. Sönümlenen enerji, izolatör içindeki kauçuk ile kurşun levhalar arasında ısı enerjisi olarak ortaya çıkar. Şekil 1.9'da kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün histeretik eğrisi verilmiştir.



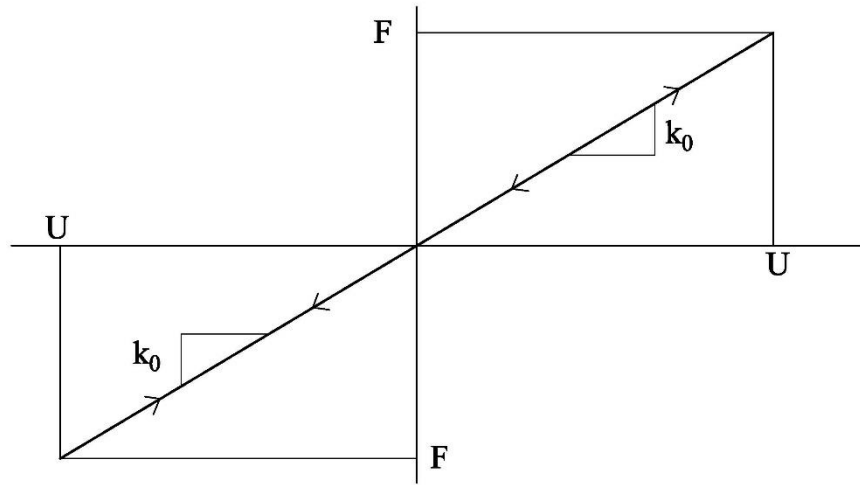
**Şekil 1.9.** Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün histeretik eğrisi (Kalpakidis ve Constantinou, 2009).

Şekil 1.9’da görülen kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün histeretik eğrisi, izolatörün deprem anında enerji sönmölemek için yaptığı tersinir tekrarlanır hareketleri göstermektedir. Bu tersinir tekrarlanır hareketler sırasında izolatör rijitliği ve dayanımı oluşan ısı nedeniyle bir miktar azalmaktadır. Ancak izolatör görevini yapmaya devam etmektedir.

Çalışmanın izleyen iki başlığında, sismik izolasyon sistemlerin doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ve teorik esasları üzerinde durulacaktır.

### **1.3.2.2. Sismik İzolasyon Sistemlerinin Doğrusal Hesap Parametreleri**

Şekil 1.9’da görülen kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün histeretik eğrisini modelleyerek tasarım aşamalarına sokmak zorlu bir işlem olduğundan, bu eğriyi kuvvet-deplasman açısından sabit bir oranla değiştirdiği kabul edilerek tasarım yapılabilir. Bu izolatör modeline göre yatay kuvvet miktarı ( $F$ ) arttıkça izolatör yatay deplasmanı ( $U$ ) artmakta, azaldığında ise aynı oranla azalmaktadır. İzolatörün akma kuvvetleri göz önüne alınmaz ve rijitliğinde herhangi bir kayıp olmaz. Şekil 1.10’da sismik izolasyon sistemlerinin doğrusal hesabı için kullanılan kuvvet-deplasman eğrisi görölmektedir.



**Şekil 1.10.** Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün doğrusal hesabı için kullanılan kuvvet deplasman eğrisi.

Şekil 1.10’da göröldüğü doğrusal hesap için kullanılan en önemli parametrelerden bir tanesi izolasyon sisteminin rijitliği ( $k_0$ ) parametresidir. Bu parametreye bağlı olarak izolasyon periyodu ve sönmö oranı da izolatör tasarımında önemli değişkenlerdendir.

Eşdeğer izolasyon periyodu ( $T_0$ ), üst yapının da rijit davrandığı varsayımıyla (Chopra, 2001),

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{M_s}{k_0}} \quad (1.1)$$

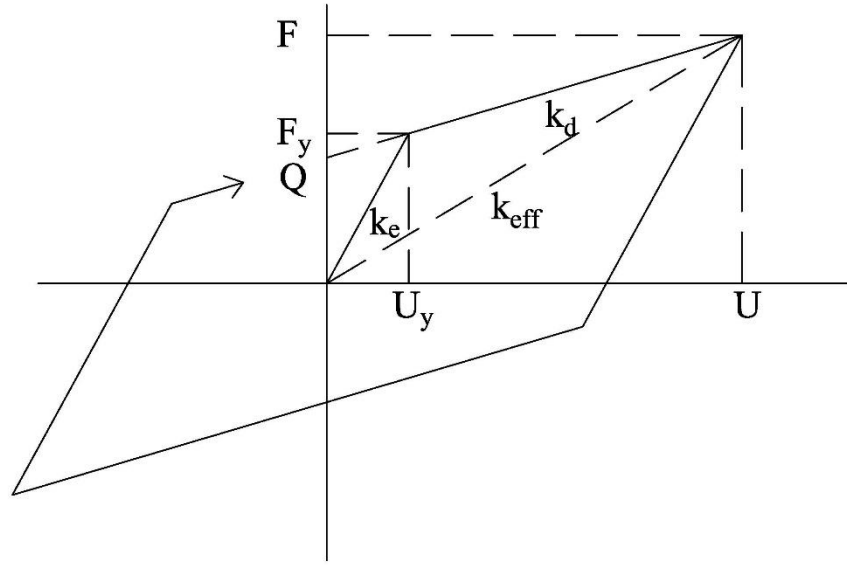
eşitliği ile belirlenir. Burada,  $M_s$  yapı toplam kütesini gösterir. İzolasyon sisteminin viskoz sönüm oranı ( $\xi_0$ ) ise,

$$\xi_0 = \frac{c_0 \cdot T_0}{4 \cdot \pi \cdot M_s} \quad (1.2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada,  $c_0$  izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısıdır.

### **1.3.2.3. Sismik İzolasyon Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Hesap Parametreleri**

Doğrusal hesap yöntemlerinde izolatörün akma davranışı modellenmediğinden ve gerçek davranışa daha yakın bir modelleme yapmak amacı ile Şekil 1.9'a daha çok benzeyen Şekil 1.11'deki model kullanılabilir. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde sismik izolatörlerin modellenmesi için kullanılan çift doğrulu kuvvet-deplasman eğrileri, tersinir tekrarlanır hareketler altında dayanım kaybı göstermezler (Şekil 1.11). İzolatör akma deplasmanı ve dayanımı belirlidir. Akma öncesi rijitlik ve akma sonrası ritijlik değerleri farklıdır. Grafikte gösterilen  $Q$ , izolatör karakteristik dayanımını;  $k_d$ , akma sonrası rijitliği;  $k_e$ , elastik rijitliği temsil etmektedir.  $F_y$  ve  $U_y$  ise sırasıyla izolatörün akma kuvvet değerini ve akma deplasmanını göstermektedir.



**Şekil 1.11.** Çift doğrusal kuvvet-deplasman ilişkisi gösteren tipik bir izolatör (Arguc, Avsar ve Ozdemir, 2017).

İzolatörün elastik rijitliği ( $k_e$ ) kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde hem kurşunun hem de kauçuğun akma öncesindeki rijitliklerinin toplamına eşittir ( $k_e = k_l + k_d$ ).

$$k_l = \frac{G_l \cdot A_l}{h_r} \quad (1.3)$$

$$k_d = \frac{G_r \cdot A_r}{h_r} \quad (1.4)$$

Eşitlikte yer alan  $G_l$  ve  $A_l$  sırasıyla kurşunun kayma modülü ve kesit alanını,  $G_r$  ve  $A_r$  ise kauçuğun kayma modülü ve kesit alanını temsil etmektedir.  $h_r$  ise toplam kauçuk yüksekliğidir. İzolatörün akma deplasmanı ( $U_y$ ), akma dayanımı ( $F_y$ ) efektif rijitlik ( $k_{eff}$ ) ve izolasyon periyodu ( $T_0$ ) Eşitlik (1.5) - (1.8)'da verilmiştir.

$$U_y = \frac{F_y}{k_e} = \frac{F_y}{k_l + k_d} \quad (1.5)$$

$$F_y = Q + k_d \cdot U_y \quad (1.6)$$

$$k_{eff} = \frac{Q}{U} + k_d \quad (1.7)$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_d \cdot g}} \quad (1.8)$$

İzolasyon efektif sistem sönümü ( $\beta_{eff}$ ) ve efektif izolasyon periyodu ( $T_{eff}$ ) Eşitlik (1.9) ve (1.10)'da sunulmuştur.

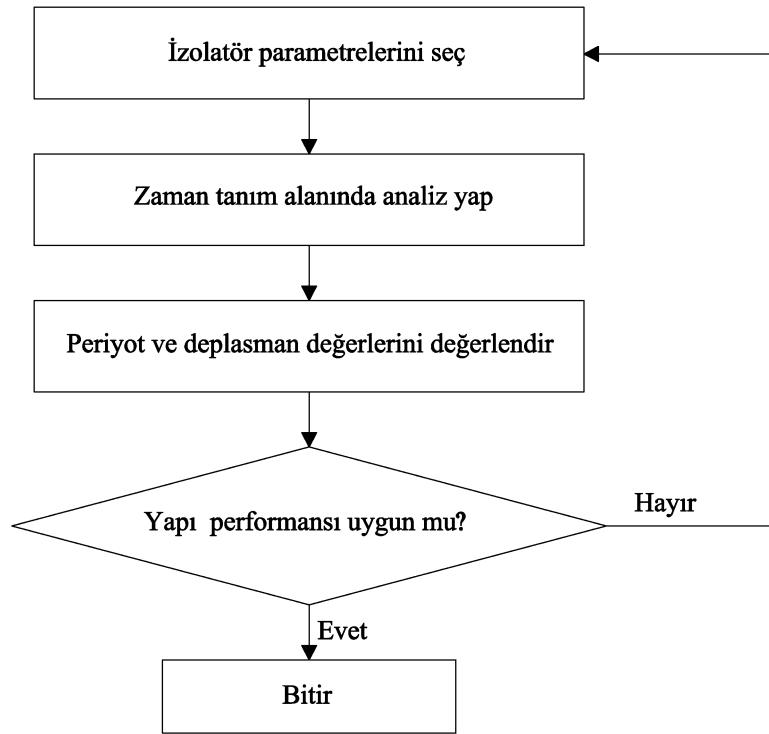
$$\beta_{eff} = \frac{4 \cdot Q \cdot (U - U_y)}{2\pi \cdot k_{eff} \cdot U^2} \quad (1.9)$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{eff} \cdot g}} \quad (1.10)$$

#### 1.4. Geleneksel Sismik İzolasyon Tasarımı

Sismik izolasyon tasarımı öncelikle yapı türü ve özellikleri göz önüne alınarak yapılır. Günümüzde sismik izolasyon genellikle yapı ya da köprü yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özelliklerine göre yapının kütesine ve rijitlik özelliklerine göre izolasyon uygulanan yapının tepkileri doğru değerlendirilmelidir.

Geleneksel izolatör tasarımı, izolatör parametrelerinin başlangıç değerlerinin tahmin edilmesi ile başlar. Başlangıçta belirlenen parametrelere göre analiz yapılarak yapının tepkileri değerlendirilir. İstenilen yapı tepkileri yapı için uygun değerler değilse farklı parametreler ile işlem tekrarlanır. Şekil 1.12'de klasik izolatör tasarımı algoritması verilmiştir. Ancak uygulayıcı sismik izolasyon tasarımında yeteri kadar tecrübeli değilse doğru parametreleri belirlemesi oldukça zorlu ve tekrar gerektiren bir işlemdir.



**Şekil 1.12.** Klasik izolator tasarımımda işlem basamaklarını gösteren algoritma (Wang vd., 2010).

Genelde izolator tasarımımda doğrusal hesap yerine doğrusal olmayan hesap kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan sismik izolasyon sistemlerinin tasarımı, hem maksimum izolator deplasmanı hem de izolatorler tarafından karşılanan kesme kuvvetinin belirlenmesine dayanan iteratif bir metottur. Bu çözüm yönteminde öncelikli olarak izolatorün  $Q/W$  değerine ve izolasyon periyoduna ihtiyaç duyulmaktadır. Burada tarif edilen  $Q/W$  değeri, izolatorün üzerine gelen aksenal yükü temsil ederken; izolasyon periyodu ise akma sonrası rijitliğin ( $k_c$ ) hesaplanmasında kullanılır. Bu iki değişkene ek olarak izolatorde ait çift eğrili doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi için kullanılan akma deplasman değeri ise iteratif çözümde başlangıç değeri olarak kabul edilmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler için tipik akma deplasman değeri 25 mm (Ozdemir ve Constantinou, 2010) ya da 10 mm (Ryan ve Chopra, 2004) olarak tanımlandığından bu çalışımda da iki tip akma deplasman değeri seçilmiştir. Daha sonra tahmini olarak belirlenen bir tasarım deplasmanı ile gerekli hesaplamalara başlanır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen izolator deplasmanı başlangıçta kabul edilen tasarım deplasmanından farklıysa elde edilen değer ile döngü yeniden başlatılır. Bu işlem hesaplanan ve başlangıçta kabul edilen değerler birbirlerine daha önceden tanımlanan bir

hata payı içinde kalacak şekilde yakın olana kadar devam ettirilir. Bu yaklaşımın adı eşdeğer kuvvet yöntemidir (Ozdemir ve Constantinou, 2010).

İzolasyon tasarımı deneyimli bir tasarımcı tarafından yapılsa bile, izolatörün kapasitesinin tamamının kullanılacağı bir tasarım yapılması iteratif yöntemdeki şans faktörüne bağlıdır. Bu çalışmada sezgisel algoritmalar yardımıyla izolatörlerin kapasitesinin de tam olarak kullanılmasını sağlayan bir yöntem önerilmiştir.

#### **1.4.1. Sismik İzolasyon Literatür Özeti**

Sismik izolasyon sistemlerinin ortaya çıkışı ve deprem etkilerine karşı avantajlarının görülmesiyle birlikte bir çok yapı tipinde sismik izolasyon kullanımı giderek artmıştır. Kullanımının artmasıyla birlikte sismik izolasyon, araştırmacıların ilgisini çekerek pek çok çalışmada kapsamlı olarak araştırılmıştır.

Yapılan çalışmalarda sismik izolasyonlu yapılarda deprem etkilerinin oluşturacağı yapısal ve yapısal olmayan hasarlar ciddi oranda azaldığı görülmüştür (Kelly, 1993; Mayes ve Naeim, 2001; Goda vd., 2010; Arguç vd., 2017; Banazadeh vd., 2017). Bu çalışmalarda yapılarda sismik izolasyonun sadece yapı güvenliği açısından değil kurulum ve servis ömürleri boyunca oluşturacakları maliyet hesapları yapılarak avantajları ortaya konulmuştur.

Sismik izolasyon parametrelerinin yapı tepkilerine göre belirlenmesi için bir çok araştırmacı tarafından parametrik araştırmalar yapılmıştır (Fragiacomo vd., 2003; Alhan ve Gavin, 2004; Jangid, 2007; Kilar ve Koren, 2009; Nath vd., 2013; Sabu vd., 2014). Bu parametrik çalışmalar arasında, izolasyon sönümleme etkileri ve zemin katmanlarının yapısal performans etkileri araştırılmıştır. Farklı durumlar için yapılan bu modellemeler, sismik izolasyonlu yapıların davranışını gerçeğe en yakın şekilde modellemeye yönelik çalışmalardır.

Literatürde sismik izolasyon sistemlerinin genel avantajları ortaya konulması sonrasında spesifik durumlar için de araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan bir tanesi sismik izolasyonlu yapıların yakın saha kaynaklı deprem hareketleri altındaki davranışlarıdır. Bu çalışmalar yakın saha depremlere maruz kalan yapıların izolasyon katında oldukça fazla deplasman yaptığını ve kullanılan izolasyon sistemlerinin stabilite problemleri ortaya çıkabileceğini göstermiştir (Jangid ve Kelly, 2001; Wesolowsky ve

Wilson, 2003; Dicleli, 2006; Providakis, 2009; Sharbatdar vd., 2011; Alhan ve Öncü-Davas, 2016).

Hwang ve Chiou, kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler için eşdeğer doğrusal bir hesap yöntemi önermişlerdir. Ele aldıkları köprü tipi bir yapı için 20 farklı deprem hareketini kullanarak analizler yapmışlardır. Kullandıkları modelde sismik izolasyondan kaynaklı periyot artışlarını izolator rijitliği ve sönüm oranı açısından değerlendirmişlerdir. Önerdikleri yöntemin pratikte kullanımının uygunluğunu sonuçları ile ortaya koymuşlardır (Hwang ve Chiou, 1996).

Kelly, yaptığı çalışmada sismik izolasyonun yapı üzerinde oluşturduğu sönüm etkisini araştırmıştır. Özellikle yakın saha yer hareketlerinin izolator üzerinde oluşturduğu yüksek deplasman etkisinin engellenmesi için artırılan sönüm etkisinin yapı üzerinde oluşturduğu görelî kat öteleme etkisi ve kat ivmelerinin artışlarını incelemiştir. İzolasyon deplasmanının azaltıp sönümün artırılması ile yapıda ivmenin artması ya da yüksek deplasman sonucu ortaya çıkabilecek stabilite problemlerinden hangisinin tercihi edileceği bir ikilem oluşturmaktadır. Kelly bu ikilemden içinde bir denge olması gerektiğini ortaya koymuştur (Kelly, 1999).

Jangid, köprü yapılarında kurşun çekirdekli izolatorlerin kullanımının yapı üzerindeki tepkilerini araştırmıştır. Çalışmada sismik izolasyonlu ve sismik izolasyonsuz köprülerin deprem etkilerine verdikleri tepkiler karşılaştırılmıştır. Köprü yapılarında sismik izolasyon tasarımı için önemli parametrelerin köprü ayaklarının rijitliği, izolatorün rijitliği ve akma dayanımı olduğu çalışma kapsamında sunulmuştur. Ayrıca yapı üzerine çift yönlü ve tekrarlı yüklerin köprüler için dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir (Jangid, 2004).

Hameed vd., yaptıkları çalışmada kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerin kullanıldığı bir köprüde izolator davranışını deprem şiddet ölçütleri bazında incelemiştir. Çalışmada, 5 farklı eksenel yük seviyesine (Q/W) karşılık; 6 farklı izolasyon periyodu (T) kullanarak 30 farklı izolasyon sisteminin analizini yapmışlardır. Çalışma sonucunda seçilen deprem kayıtlarına göre daha küçük maksimum izolator deplasmanı (MID) ve maksimum izolator kuvveti (MIF) değerlerine sahip izolatorlü köprünün sismik performans açısından daha iyi durumda olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmanın sonucunda Q/W oranı arttıkça MID'in azaldığı MIF'in arttığını gözlemlemişlerdir (Hameed vd., 2008).

Bu çalışmanın temel amacı da sönüm ve deplasmanı limitleyerek izolatörün kapasitesinin tamamını kullanarak ivmelerin en düşük seviyede bulunabildiği izolasyon parametrelerini belirlemek için sezgisel algoritmaları kullanmaktır.

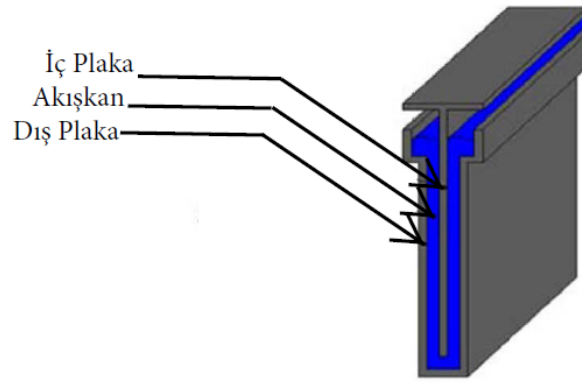
### 1.5. Viskoz Sönüm Duvarları (VSD)

Yapıların deprem kuvvetlerine karşı hasarın minimize edilmesi için sismik izolasyon sistemlerinin dışında farklı bir yöntem de viskoz akışkanlı sönümleyicilerdir. Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin genel felsefesi, viskoz akışkanın belirli kanallardan geçmesi veya çevresindeki kılıf ile sürtünmesi sonucu ortaya çıkan sönüm etkisini yapının geneline yayarak yapının sönüm kapasitesinin artırılmasıdır. Sönüm oranının artışı ile de yapı deplasmanı ve ivmesi azalarak yapısal ve yapısal olmayan elemanlarının güvenliğinin sağlanması amaçlanmıştır.

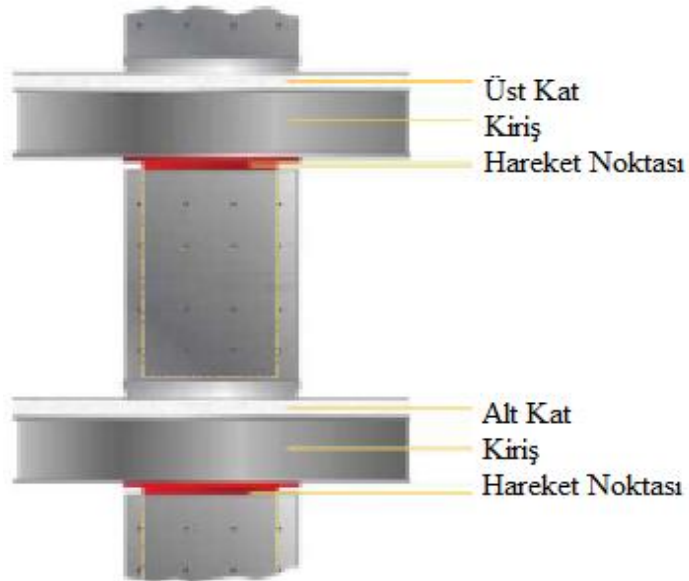
Viskoz akışkanlı sönümleyiciler esas olarak uygulamada 3 çeşittir. Birinci uygulamada viskoz akışkan, içinde pistonun hareket ettiği bir silindir içine doldurulmuştur. Pistonun yüksek viskoziteli akışkan içerisinde hareketi neticesinde mekanik enerji ısı enerjisine dönüşür. Bu sisteme en güzel örnek olan performansı çeşitli mühendislik alanlarında denenmiş viskoz akışkanlı sönümleyicilerdir. Viskoz akışkanlı sönümleyicinin en önemli üstünlüğü altı serbestlik dereceli sönümlene yapabilmesidir (Aldemir ve Aydın, 2005). Diğer uygulamada ise viskoz akışkanın yerel deformasyonu yerine akışkan belirli kanallardan geçmeye zorlanarak istenen enerji sönümü gerçekleşir. Üçüncü uygulamada viskoz akışkan içi boş çelik bir duvar içine doldurulduktan sonra akışkan içine batırılan bir metal levha alt ve üst döşemeye rijit bir şekilde bağlanır. Deprem sırasında katlar arası görelî deplasmanlar sebebiyle levhanın viskoz ortamdaki hareketi deprem kuvvetlerinin oluşturduğu sismik enerjiyi sönümler. Bu çalışmanın konusu da bu 3 çeşit viskoz akışkan sönümleyiciden viskoz akışkan içi boş çelik bir duvar içine doldurulan viskoz sönümlene duvarlarıdır.

Viskoz sönüm duvarları, yaklaşık 30 yıl önce yapıların deprem kuvvetlerinden korunması amacı ile Japonya'da kullanılmaya başlamıştır. Arima vd.'nin temel ilkelerini ortaya koydukları sistemin amacı, yerleştirildikleri kata fazladan sönüm katarak yapının sönüm kapasitesini artırmaktır (Arima vd., 1988). Katlar arasına yerleştirilen sönüm kapasitesi yüksek elemanlar, yapısal bileşenlerin hasar bölgesine kadar şekil değiştirmesini engellemektedir. Viskoz sönüm duvarları mevcut bir yapının güçlendirilmesi için uygulanabileceği gibi yeni yapılan yapılar için de tasarlanabilir.

Viskoz sönümleyici duvarlar, akışkan ile dolu iki sertleştirilmiş çelik plaka arasındaki bir veya daha fazla plakadan oluşmaktadır (Şekil 1.13). Sistem iki kiriş arasında bir kolon gibi düşey olarak yerleştirilir (Şekil 1.14). Sertleştirilmiş dış plakalar alt kirişe sabitlenirken, akışkan içindeki plaka üst kirişe sabitlenir. Yapı dış yüklerden kaynaklı hareket talebinde bulunduğu anda akışkan sıvı ve plakalar enerji sönümleyerek harekete engel olurlar.



**Şekil 1.13.** Viskoz sönümleyici duvar kesiti



**Şekil 1.14.** Viskoz sönümleyici duvar yerleşimi

Sağladıkları avantajlarla viskoz sönümleyici duvarlar, yapılarda son dönemde daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Kaliforniya'daki bir hastane yapısında 153 tane viskoz sönümleyici duvar kullanılmıştır (Şekil 1.15).



**Şekil 1.15.** Bir hastane yapısında viskoz sönümleyici duvar uygulaması (Dilsiz vd., 2018; Dynamic Isolation Systems, 2019).

### 1.5.1. Viskoz Sönüm Duvarları Literatür Özeti

Arima vd., yapılarda viskoz sönüm duvarlarının kurulumunu ve özelliklerini inceleyen ilk araştırmacılarıdır. 5 katlı bir yapı modeline viskoz sönüm duvarları yerleştirilerek analizler yapmışlardır. Viskoz sönüm duvarlarının histeretik eğrilerini sunarak yapı üzerindeki tepkileri incelemişlerdir. Göreli kat ötelemeleri ve deplasman gibi yapı tepkilerinde avantajları viskoz sönüm duvarlı ve duvarsız modellerde karşılaştırarak ortaya koymuşlardır (Arima vd., 1988).

Lu vd., viskoz sönüm duvarlı 3 boyutlu ve 3 katlı deneysel modelini oluşturarak sarsma tablası üzerinde test etmişlerdir. Viskoz sönüm duvarlı ve duvarsız modelin deneysel çalışmasından sonra SAP2000 ve Canny99 sonlu elemanlar programlarını kullanarak analizlerini tamamlamışlardır. Deneysel bulgular ile sonlu elemanlar program sonuçlarının birbiri ile örtüştüğünü göstermişlerdir. Viskoz sönümlü modelin sönüm oranının %20 arttığını ve deplasmanın %30 ila %60 arasında azaldığını belirlemişlerdir (Lu vd., 2008).

Hejazi vd., viskoz sönüm duvarları için analitik bir model geliştirmişlerdir. Daha önce yapılmış deneysel 3 boyutlu betonarme yapının sonuçları hazırladıkları analitik model ile karşılaştırarak önerdikleri yöntemin doğruluğunu ortaya koymuşlardır. 3 farklı

yer ivme kaydı kullanarak zaman tanım alanında analizler yapmışlar, yapı tepkilerini ve elemanların üzerine gelen kuvvetleri incelemişlerdir. Viskoz sönüm duvarlı ve viskoz sönüm duvarsız yapıların davranışlarını karşılaştırmışlar, viskoz sönüm duvarın yapı üzerindeki avantajlarını ortaya koymuşlardır (Hejazi vd., 2016).

Zhou vd., viskoz sönüm duvarları için yeni bir analitik model önermişlerdir. Farklı yük koşullarına göre yapılan performans analizlerine göre yapı tepkilerini ölçmüşlerdir. Doğrusal olmayan bu tepkilere göre zamana bağlı rijitlik ve sönüm parametreleri göz önüne alarak Maxwell modeli geliştirmişlerdir. 3 katlı 3 boyutlu  $\frac{1}{4}$  ölçekli bir model hazırlayarak deneysel çalışmalar yapmışlar, önerdikleri yöntemle yapısal tepkileri karşılaştırmışlardır. Viskoz sönüm duvarların doğal titreşimi büyük ölçüde azaltarak deplasman ve ivme değerlerinde azalma olduğunu ortaya koymuşlardır. Önerdikleri yöntemi OpenSees yazılımına uyarlayarak deneysel sonuçlarla buldukları yapı tepkilerinin birbirlerine uygunluğunu göstermişlerdir (Zhou vd., 2018).

Hidayaty vd., 3 katlı ve 3 boyutlu çelik çerçeveye viskoz sönüm duvarı yerleştirilerek analizler yapmışlardır. 3 farklı deprem verisinin kombinasyonu ile yapılan yapısal analizler sonucunda yapı periyodu azalırken açılal frekans artmıştır. Modele 2 yönlü viskoz sönüm duvarı yerleştirildiğinde yatay deplasman %51 azalırken tek yönlü viskoz sönüm duvarı yerleşiminde %24 yatay deplasmanın azaldığı belirlenmiştir (Hidayaty vd., 2018).

Dilsiz vd., yaptıkları çalışmada viskoz sönüm duvarlı yüksek binaların performans analizlerini yapmışlardır. 30 katlı bir yapıyı Etabs programında modelleyerek yapı kirişleri arasına viskoz sönüm duvarı yerleştirmişlerdir. 7 adet deprem ivme kaydı kullanarak zaman tanım alanında analizler yapmışlardır. Yapının viskoz sönüm duvarlı ve viskoz sönüm duvarsız modellerinin periyotlarını ve görelil kat ötelemelerini karşılaştırmışlardır. Viskoz sönüm duvarlarının yapının kat deplasmanlarını %18-20 kadar azalttığını, çatı katı görelil ötelemesinin %20 daha az olduğunu belirlemişlerdir. Viskoz sönüm duvarlı yapının tasarımında görelil kat ötelemelerinin % 1.5'e kadar düştüğünü hesaplamışlardır (Dilsiz vd., 2018).

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde çalışma ile ilgili sezgisel optimizasyon kullanılan literatürün özeti sunulmuştur. Öncelikle yapı mühendisliğinde sezgisel optimizasyon algoritmalarının kullanıldığı çalışmalar, kafes elemanların boyutlandırılması ile başlamıştır. İlk çalışmalarda genellikle genetik algoritma kullanılmış, 2 ve 3 boyutlu kafes tipi yapıların dayanım, deplasman gibi kısıtlara göre boyutlandırılması ve topoloji optimizasyonları yapılmıştır (Rajeev ve Krishnamoorthy, 1992, 1997; Bendsøe vd., 1994; Wu ve Chow, 1995; Erbatır vd., 2000;). Sonrasında betonarme elemanların tasarımı için sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Bu çalışmalar arasında maliyet minimizasyonu, boyutlandırma ve donatı optimizasyonu gibi amaç fonksiyonları üzerinde durulmuştur (Coello vd., 1997; Rajeev ve Krishnamoorthy, 1998; Koumoussis ve Arsenis, 1998; Camp vd., 2003; Lu ve Guo, 2011).

Sezgisel algoritmaların yapı mühendisliğinde kullanılması zamanla gelişerek deprem etkilerinin göz önüne alındığı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, yapı elemanlarının boyutlandırılmasında yapı sismik performansının göz önüne alındığı çalışmalardır (Ohsaki vd., 2007; Kaveh vd., 2010; Ghasemi ve Farshchin, 2011; Lu ve Guo, 2011). Farklı tipte sezgisel optimizasyon algoritmaların kullanıldığı bu çalışmalarda betonarme ve çelik yapıların performans bazlı tasarımları optimum şekilde yapılmıştır.

Yapılan çalışmalarda genetik algoritma, benzetimli tavlama, parçaçık sürü algoritması, guguk kuşu algoritması, yarasa algoritması, çiçek tozu algoritması ve ateş böceği algoritmaları inşaat mühendisliği problemlerinin çözümünde kullanılan algoritmalar arasındadır (Bekdaş vd., 2018).

Yapıların sismik performanslarının göz önüne alındığı optimizasyon çalışmalarına ek sönümleyicilerin eklendiği araştırmalar yapılmıştır. Bu ek sönümleyiciler arasında aktif ve yarı aktif sistemlerin optimizasyonunun yapıldığı çalışmalar (Huang vd., 2007; Pourzeynali vd., 2007; Pourzeynali ve Salimi, 2015; Ohsaki vd., 2016; Bekdaş ve Nigdeli, 2017; Katebi vd., 2019) ve pasif sistemlerin optimizasyonunun yapıldığı çalışmalar (Sonmez vd., 2013; Miguel vd., 2015; Ontiveros-Pérez vd., 2017) bulunmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için aktif ve pasif sistemlerin haricinde çalışmanın konusu olan sismik izolasyonlu sistemler de bulunmaktadır.

Amiri vd., yaptıkları çalışmada deprem izolatörlerinde oluşan yük ve deplasmanı asgari seviyeye indirmek için, sismik izolasyon sistemini tanımlayan parametrelerden karakteristik mukavemetin ( $Q/W$ ) optimizasyonunu yapmışlardır. Bu amaçla, öncelikle deprem izolatörlerinin optimum deplasman ve kuvvet değerlerini etkileyen parametreleri belirlemişler, köprü alt yapı rijitliği, sönüm oranı, en büyük yer ivmesi ve bu ivmenin en büyük yer hızına oranı, izolatörün elastik ve elastik ötesi rijitlikleri göz önüne alınmıştır. Parametreler belirlendikten sonra, 15 adet deprem kaydı kullanarak 5000'den fazla doğrusal olmayan zaman-tanım analizi yapılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar, boyutsuzluk analizleri ve doğrusal olmayan regresyon analiz yöntemleri kullanılarak, deprem frekans özelliklerine, en büyük yer ivmesine ve köprünün dinamik özelliklerine bağlı olarak, izolatör parametrelerinden karakteristik mukavemeti veren bir formül geliştirilmiştir (Amiri vd., 2007).

Pourzeynali ve Zarif yaptıkları çalışmada sismik izolatörlü 10 katlı yüksek bir yapıyı örnek olarak seçmişlerdir. Optimizasyon için genetik algoritma kullanmışlar, sismik izolatörün etkilerini yapının her katında irdelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda yapı tepe yer değiştirmesinde %64 azalma belirlemişler, ayrıca “bağımsız kat” diye tanımladıkları katların birbirinden bağımsız çalışarak yapının üst katlarında bir kütle gibi davranışını modelleyerek tepe deplasman değerini %82 azaltmayı başarmışlardır (Pourzeynali ve Zarif, 2008).

Zou yaptığı çalışmada 9 katlı bir yapı modelini ele almıştır. Yapıdaki kolonlar, kirişler ve sismik izolatörler için maliyetleri belirlemiştir. Sonrasında toplam maliyetlerin oluşturduğu bir amaç fonksiyonu hazırlamıştır. Bu amaç fonksiyonunu uygunluk kriteri metodu (optimality criterion) ile optimum sonucu bulmaya çalışmıştır. Bunu yaparken 3 farklı durum analizi yaparak birbirleri ile karşılaştırma yapmıştır (Zou, 2008).

Wang vd., dört açıklıklı köprü yapısındaki izolasyon sistemini mikro genetik algoritma ile optimize etmişlerdir. 8 adet izolatör tipinin mekanik özelliklerini ve fiyatlarını tanımlamışlardır. İzolatör tipini ve sayısını maliyet minimizasyonu yaparak belirlemişlerdir. Modele 2 adet deprem verisi tanımlayarak, zaman tanım alanında, lineer olmayan analiz ile çözüm yapmışlardır. Limit olarak izolatör deplasmanını kullanmışlardır. Sonuçlarda izolatör tipinin aynı olduğu, izolatör sayısının aynı olduğu ve izolatör tipinin ve sayısının aynı olmadığı 4 farklı durum tanımlayarak çözümlerini sunmuşlardır (Wang vd., 2010).

Charmpis vd., yaptıkları çalışmada çok katlı yapıları genetik algoritmalar ile optimize etmişlerdir. Çalışmada sınır koşulu olarak izolatör maliyeti, taban deplasmanı ve katlar arası deplasman kullanılmış, kat ivmeleri asgari seviyeye indirmek için yapısal parametreler optimize edilmiştir. Kullanılan sismik izolatör lineer olarak çözülmüştür. Yapı modeli için 6 katlı 4 tip belirlenmiştir. Bunlar izolatörsüz, her katta izolatörlü tabandan izolatörlü, sadece temel, 2. ve 5. katlarda izolatörlü yapı tipleridir. Ayrıca yapının taban deplasmanını kısıtlayıcı etkenler olması durumunda da çözüm yapmışlardır. Yaptıkları optimizasyon işlemi sonucunda yapıda maksimum ivmenin azaldığını belirlemişlerdir (Charmpis vd., 2012).

Cruciat vd., genetik algoritma kullanarak sismik izolatör optimizasyonu yapmışlardır. 10 katlı bir yapı ele alan çalışmada, yapı SAP2000'de modellenmişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak sadece deplasmanı hedeflemişlerdir. İzolatör boyutlarını limit olarak belirlemişlerdir. Buldukları izolasyon sonuçlarını, klasik izolasyon tasarımı ve izolasyonsuz yapı ile karşılaştırmışlardır. Optimizasyon sonucunda, belirledikleri optimum izolasyon tasarımının klasik izolasyon tasarımına göre %40 daha düşük deplasman değeri verdiğini ortaya koymuşlardır (Cruciat vd., 2013).

Fallah ve Zamiri, genetik algoritmayı kullanarak 10 katlı bir yapının sismik izolatör tasarımını yapmışlardır. 7 deprem verisi üzerinden her katın yatay yer değiştirmelerini ve ivmelerini yaptıkları tasarımla %45 oranında azaltmışlardır. İzolatörün sürtünme katsayısını, izolatör üzerindeki kütleyi ve sönüm oranını optimize etmişlerdir (Fallah ve Zamiri, 2013).

Niğdeli vd., armoni algoritmasını kullanarak sismik izolasyon sistemlerini optimize etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada gerçek deprem verilerini yakın ve uzak saha depremler olarak sınıflandırmışlardır. Çözdükleri örnek sismik izolatör kullanılan 4 katlı bir yapıdır. Yapı tipini, deprem verilerini, deplasman ve sönüm oranı limitlerini belirledikleri yapıda, izolasyon sistem parametrelerini optimize etmişlerdir. Çalışmayı doğrusal bir sistem üzerinden yapmışlardır. Optimizasyon sonucunda buldukları verileri sismik izolatörsüz bir yapı ile karşılaştırmışlar armoni algoritmasının çözüm için uygun olduğunu belirlemişlerdir (Niğdeli vd., 2014).

Quaranta vd., diferansiyel gelişim ve parçaçık sürüsü algoritmasını kullanarak sismik izolasyon tasarımı yapmışlardır. Sismik izolatörün histeretik eğrisini Bouc-Wen modelini kullanarak oluşturmuşlardır. Ayrıca deneysel bir çalışma yaparak önerdikleri

yöntemin optimum sonuçlarının izolatör tepkileri ile karşılaştırarak birbirleri ile örtüşen sonuçlar bulmuşlardır (Quaranta vd., 2014).

Barakat vd., yaptıkları çalışmada faya yakın 5 katlı bir yapıdaki sönüm katsayısını ve yapının doğal titreşim periyodunu optimize etmişlerdir. Algoritma için genetik algoritma kullanmışlardır. Sınırlayıcı olarak yapının yatay deplasmanını ve izolatörün deplasmanını kullanmışlardır (Barakat vd., 2015).

Amer Hassan, genetik algoritma kullanarak üst yapısı 12 katlı 3 boyutlu bir yapının sismik izolasyon parametrelerini optimize etmiştir. Optimizasyon parametreleri yapı periyodu ve sönüm oranıdır. Yapının çatı katı ivmesini amaç fonksiyonu olarak belirlemiş, yapıyı Etabs programında modellemiştir. Çalışmada yapının zemini sert, orta ve yumuşak olmak üzere 3 farklı tipte çözümlenmeleri yapılmıştır. Çözümlerde yüksek sönüm oranı, yüksek rijitlik ya da sert zeminde yapının ivmesinin yükseldiğini belirlemiştir (Hassan, 2017).

Takahashi vd., bir sismik izolatörün titreşim tepkilerini kullanarak sismik izolatör parametrelerini optimize etmişlerdir. Önerdikleri yöntemde genetik algoritma kullanmışlar, yüksek katlı bir yapı modeli ele almışlardır. Minimum ivme ve hızı amaç fonksiyonu olarak kullanmışlardır (Takahashi vd., 2017).

Mojolic vd., yaptıkları çalışmada sismik izolasyonlu geniş açıklıklı bir spor merkezinin bir aksını tasarlamışlardır. Algoritma için genetik algoritma kullanmışlar, optimizasyon kodunu Matlab'da hazırlamışlardır. SAP2000 ile ortak çalışan bir program oluşturmuşlardır. Optimizasyonu periyotlar üzerinden yapmışlardır. Hedeflenen periyot değeri amaç olarak belirlenmiştir. Periyotlara göre elemanların eğilme momentlerini karşılaştırmışlar, periyodu artan yapının eğilme moment değerinin azaldığını belirlemişlerdir (Mojolic vd., 2017).

Rizzian vd., sismik izolatörlü bir yapıyı genetik algoritma kullanarak optimize etmeye çalışmışlardır. Yapı ve izolatör parametrelerini değişken olarak tanımlayıp yapının en üst noktasındaki ivme ve deplasmanı en aza indirecek şekilde bir problem tasarlamışlardır. Hazırladıkları bir Microsoft Excel dosyası ile SAP2000 verilerini değiştirmişler, optimizasyon işlemini FRONTIER programında yapmışlardır. Konveksiyonel yapıları ve izolatörlü yapıları maliyet deplasman kriterleri üzerinden kıyaslamışlardır (Rizzian vd., 2017).

Moeindarbari ve Taghikhany yaptıkları çalışmada sismik izolasyonlu 3 katlı bir yapıyı tavlama benzetimi algoritmasını kullanarak maliyet minimizasyonu yapmışlardır. Önerdikleri yeni yöntemde Monte-Carlo simülasyonunu ve yapay sinir ağlarını kullanmışlar, hassas analizlerle izolasyon parametrelerinin yapı tepkileri açısından önemini ortaya koymuşlardır (Moeindarbari ve Taghikhany, 2018).

Fazli ve Pakbaz, sismik izolasyonlu bir köprü kolonunu performansa dayalı çözümünü yapmışlardır. Maliyetin minimize edildiği çalışmada izolatör fiyatları, kullanılacak beton ve donatı çeliği fiyatlarının yanı sıra köprü kolonu için en uygun performans koşullarını sağlayan yapı özelliklerini göz önüne almışlardır. Yaptıkları çalışma ile %40 oranında daha düşük maliyetli yapı tasarlamışlardır (Fazli ve Pakbaz, 2018).

Xie vd., sismik izolatörlü köprülerin onarımı için genetik algoritmaları kullanan bir çalışma yapmışlardır. Belirledikleri performansları karşılayan sismik izolasyonlu köprüleri zaman-tanım analizleri ile izolatörlerin karakteristik özelliklerini belirlemişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak onarım maliyetini belirlemişlerdir (Xie ve Zhang, 2018).

Shoaei vd. yaptıkları çalışmada kurşun çekirdekli sismik izolatörler için iki çözüm yöntemi önermişlerdir. Önerdikleri yöntemde yapı periyodu, kütlesi ve rijitliğini göz önüne alarak bir formülasyon önerisi ortaya koymuşlardır. Bu formül için iki çözüm yöntemi önermişlerdir. İlk çözüm yöntemi hedeflenen deplasman ve dayanımı düşürmeye dayanmaktadır. İkinci yöntemde ise rijitlik ve akma dayanımını kullanarak hazırladıkları regresyon denklemleri hazırlamışlar, bu denklemlerin çözümünde genetik algoritma kullanmışlardır (Shoaei vd., 2018).

Xu vd. 33 katlı bir bina için üç sürtünme yüzeyli sarkaç izolatörlerin parametrelerini genetik algoritma ile optimize etmişlerdir. 7 farklı yer ivme hareketini kullanarak yapısal analizler yapmışlardır. Ayrıca izolatörsüz ve tek yüzeyli sarkaç izolatörlü modeller ile analizleri tekrarlayarak yapı tepkilerini karşılaştırmışlardır. Sonuçta belirledikleri optimum üç sürtünme yüzeyli sarkaç izolatör parametreleri taban kesme kuvvetleri, kat ivmeleri ve kat deplasmanları açısından daha uygun sonuçlar vermiştir (Xu vd., 2019).

### 3. MATERYAL VE METOTLAR

Çalışma kapsamında pasif kontrol sistemleri ile tasarlanan örnek yapı modeli olarak 3 farklı yapı modeli ele alınmıştır. İlk model bir kayma çerçevesi modelidir. Bu modelin tercih edilme nedeni uygulaması fazlaca yapılan ve kolay kontrol edilebilen bir model olmasıdır. Bu model ile 2 boyutlu çok katlı bir yapıda sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonu amaçlanmıştır. 2 boyutlu analiz yapılma nedeni ise işlem süresinin göz önüne alınmasıdır. Ayrıca önerilen yöntemin bina tipi bir yapıya uygunluğu ve performans bazlı tasarımdaki yeterliliği ortaya konulmak istenmiştir.

İkinci örnek model ise köprü ayağı modelidir. Köprüler, kenar ve orta ayaklar üzerinde duran yüksek kütleli yapılardır. Köprüler gerek demiryolu için gerekse karayolu için öncelikle deprem esnasında hasar görmeyerek can güvenliği için tehlike oluşturmamalıdır ve ulaşım ağının güvenliği için işlevselliklerini korumalıdırlar. Deprem sırasında can güvenliği açısından zarar görmeyen köprüler, deprem sonrasında da ilkyardım ve kurtarma ekiplerinin kullanması için işlevselliklerini korumalıdırlar. Bu gerekliliklerle köprü tipi yapılara sismik izolasyon uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Köprü tipi yapılarda yaygın kullanılmaları sebebi ile bir köprü ayağı modeli oluşturularak sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bina tipi yapıda olduğu gibi köprü ayağı modeli de işlem süresi göz önüne alınarak bir köprünün orta ayağı 2 boyutlu olarak modellenmiştir.

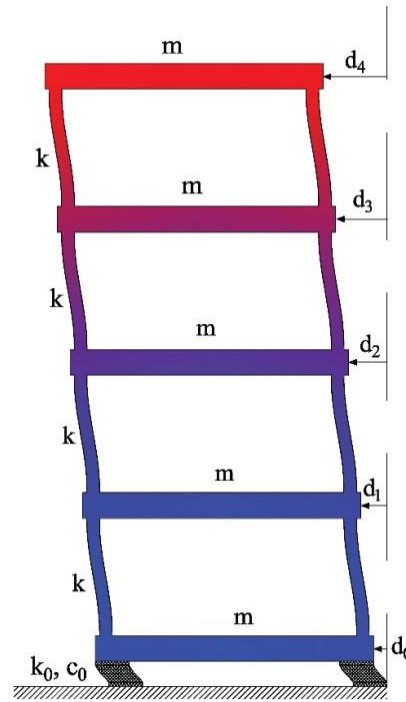
Üçüncü örnek model ise yüksek katlı bir bina modelidir. Bu modelde ise viskoz sönüm duvarı tasarımı optimizasyonu yapılmıştır. Yüksek katlı bu tip yapılarda güvenli tasarım yapmak için viskoz sönüm duvarı tasarımı yapmak giderek yaygınlaşan bir uygulamadır. Viskoz sönüm duvarları yapıya ek sönüm kapasitesi kazandırarak görelî kat ötelemelerini azaltmaktadırlar. Ancak maliyetli bir uygulama olması sebebi ile yapıda uygun açıklıklara yerleştirilerek efektif kullanılmaları gerekmektedir. Bu çalışmada da viskoz sönüm duvarları 3 boyutlu bir yapı modelinde efektif yerleşimle en az sayıda kullanılması amacı ile optimizasyon işlemi yapılmıştır.

#### 3.1. Kayma Çerçevesi Modeli

Örnek olarak seçilen kayma çerçevesi modeli daha önce bir sismik izolasyon optimizasyonu çalışmasına örnek olmuş bir modeldir (Niğdeli vd., 2014). Armoni arama algoritması ile Niğdeli vd. (2014) tarafından optimum izolasyon parametreleri bulunan

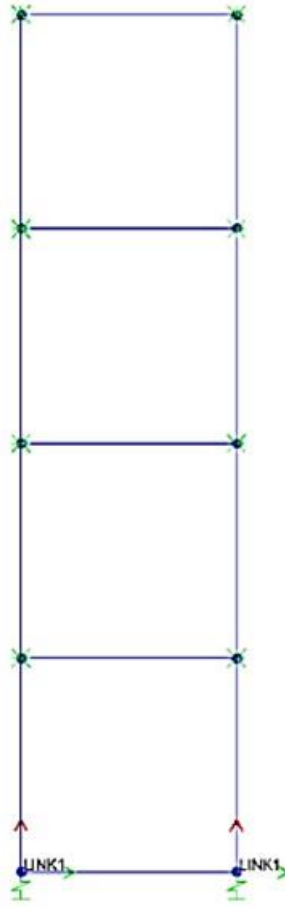
bu örnek yapı, yapılan bu çalışmada da birebir kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılacaktır.

Kayma çerçeveleri, belirli bir periyoda ve rijitlik dağılımına sahip olan yapıları temsil etmek üzere her kat seviyesinin sonsuz rijit olarak tanımlandığı prototip iki boyutlu yapı modelleridir. Buna göre, yapı sadece kat seviyesinde yatay öteleme serbestlik derecelerine sahiptir. Bu çalışma kapsamında kullanılacak kayma çerçevesi 4 katlı bir yapı modelidir. Sayısal analizlerde kullanılacak olan kayma çerçevesi Şekil 3.1’de verilmiştir.



**Şekil 3.1.** Sayısal analizlerde kullanılan kayma çerçevesi modeli.

Örnek kayma çerçevesi öncelikle SAP2000 programında hazırlanmıştır (Şekil 3.2). Kullanılacak modelde her katın nominal kütleleri aynıdır ve 1 ton olacak şekilde kat düğüm noktalarına eşit olarak tanımlanmıştır. Her kat seviyesindeki düğüm noktalarına sadece yatay yer değiştirme serbestlik derecesi tanımlanarak her kattaki düğüm noktası aynı yatay yer değiştirme yapacak şekilde sınırlandırılmıştır. Aynı olan kat rijitlikleri ise çerçevenin taban ankastre birinci mod periyodu  $T=0.4s$  olacak şekilde belirlenmiştir. 2 boyutlu olarak tanımlanan modelin taban düğüm noktalarındaki mesnetler kaldırılarak elastik yay elemanları ile optimizasyonu yapılacak izolatör parametreleri tanımlanmıştır.



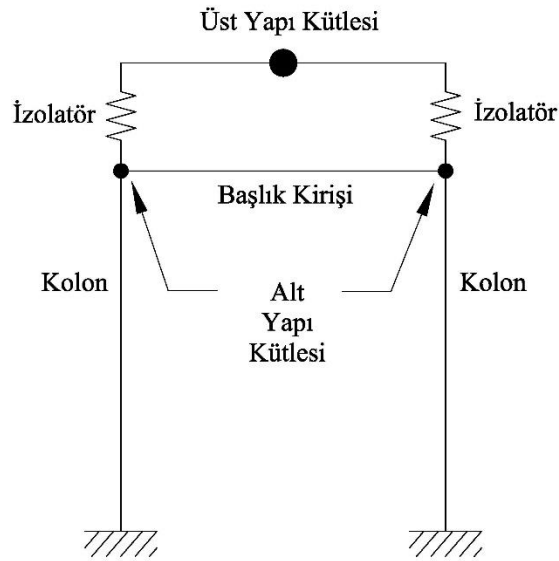
Şekil 3.2. Kayma çerçevesi SAP2000 modeli.

### 3.2. Köprü Ayağı Modeli

Çalışmanın bu kısmında, literatürde kullanılan bir köprü yapısı ele alınmıştır (Şekil 3.3). İki kenar ve iki orta ayaktan oluşan üç açıklıklı örnek yapı birçok izolatör çalışmasına konu olmuş bir modeldir (Kalpakidis ve Constantinou, 2009; Ozdemir vd., 2011).

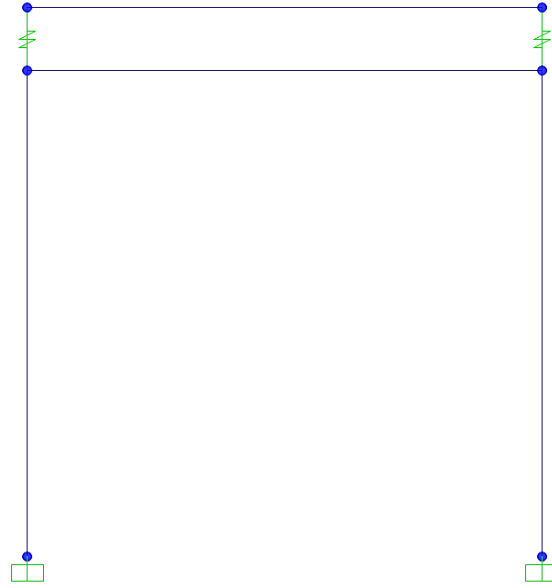


analitik modeli Şekil 3.5'teki gibi oluşturulmuştur. Üst yapı rijit bir kütle olarak tanımlanarak model iki boyuta indirgenmiştir. Analitik modelde temel ankastre olarak kabul edilmiştir. Her bir izolatöre 4650 kN'luk bir düşey yük gelmektedir. İzolatörler üzerine tanımlanan kütle, düşey yükle uyumlu olacak şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 3.5. Köprü modeli ve izolatör yerleşimi.

Köprü ayağı modeli SAP2000 programında hazırlanmıştır (Şekil 3.6). Köprü üst yapısından gelen kütle, eleman geometrileri ve eleman boyutları tanımlanmıştır. SAP2000 programında izolatör tanımlamak için kullanılan bağlantı tipi olan link elemanlar izolatörlerin modellenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Köprü orta ayağı SAP2000 modeli.

### 3.3. 15 Katlı Yapı Modeli

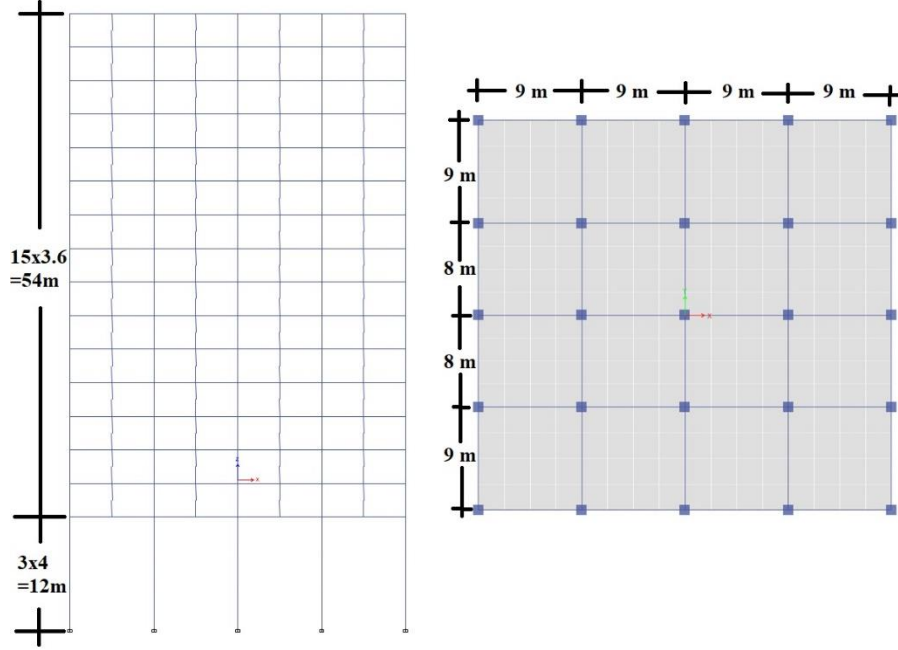
Viskoz sönüm duvarı pozisyon ve sayı optimizasyonu için örnek model olarak 15 katlı bir model seçilmiştir. Model, daha önceki bir literatür çalışmasında viskoz kuvvet duvarlı şekilde çalışılmıştır (Dilsiz vd., 2018). 3 boyutlu olarak modellenen yapı 15 katı normal kat ve zemin altında 4 bodrum kattan oluşmaktadır. Bodrum katlar, normal katlara göre daha geniş bir oturma alanına sahiptir. Kullanılan beton 50 MPa ve çelik 420 MPa karakteristik dayanıma sahiptir. Yapı özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yapı özellikleri.

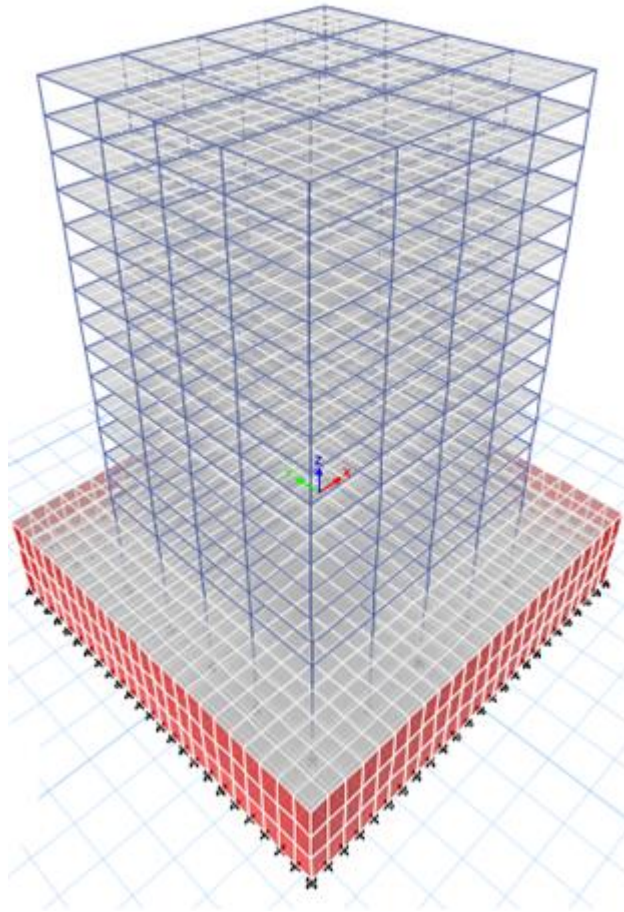
Katlar	Temel	S1-S3	S4-S15
Kat Yükseklikleri (m)	4.0	3.6	3.6
Kolonlar (m)	1.0*1.0	0.9*0.9	0.8*0.8
Kirişler (m)	0.8*0.6		
Döşeme Kalınlıkları (m)	0.35	0.21	0.21
Zati Yük (kN/m <sup>2</sup> )	2.0	3.5	
Hareketli Yük (kN/m <sup>2</sup> )	5.0	2.0	

Yapı özellikleri Çizelge 3.1’de verilen örnek model, Etabs programında modellenmiştir. Döşeme ve perde elemanlar 2 boyutlu kabuk eleman olarak tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan modal zaman tanım alanı analizleri yapılmıştır. Bu analiz türüne göre doğrusal olmayan davranış sadece NLLINK olarak tanımlanan viskoz

sönüm duvarları için tanımlanmıştır. Diğer tüm elemanlar doğrusal elastik malzeme özelliği gösteren malzemeler olarak modellenmiştir. Yapının planı ve 3 boyutlu ETABS modeli Şekil 3.7 ve 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Modelin planı ve dikey kesiti.



**Şekil 3.8.** 15 Katlı yapının Etabs'ta oluşturulmuş 3 boyutlu analitik modeli.

### 3.4. Karga Arama Optimizasyon Algoritması (Crow Search Algorithm, CSA)

Karga arama algoritması (Crow Search Algorithm (CSA)), optimizasyon problemlerini çözmek için 2016 yılında Askarzadeh tarafından geliştirilen etkin bir yarı-sezgisel algoritmadır (Askarzadeh, 2016). CSA, kargaların doğadaki akıllı davranışlarından esinlenilmiş, popülasyon tabanlı bir algoritmadır. Kargalar daha iyi besin kaynakları elde etmek için birbirlerini takip ederler. Diğer kuşlardan daha üstün olabilmek için farklı mevsimlerde de yiyebilecekleri besinleri saklarlar. Güçlü bir hafızaya sahip oldukları için yiyecek sakladıkları yerleri kolayca bulurlar. Farklı yerlere gizlenmiş yiyecek kaynağını bulma işlemi kolay bir iş değildir. Kargalar, yiyecek sakladıkları çevrede başka karga fark ederlerse o çevrenin başka bir yerine giderek diğer kargaları kandırmaya çalışırlar. Kargaların bu davranışı, matematiksel model olarak tasarlandığında kargalar arayıcıları, çevre arama uzayını, karganın her pozisyonu bir çözüm, besinin kalitesi amaç fonksiyonunu ve en iyi sonuç da global en iyi sonucu ifade

etmektedir. CSA, kargaların bu davranışlarından esinlenerek optimizasyon problemlerinin en iyi çözümünü bulmaya çalışmaktadır. CSA'nın aşamaları şunlardır:

- Kargalar sürü halinde yaşarlar.
- Kargalar yiyeceklerini sakladıkları yerleri hatırlayabilirler.
- Kargalar, diğer kargaların yiyeceklerini çalmak için birbirlerini takip ederler.
- Kargalar yiyeceklerinin çalınmasına karşı önlem alırlar.

### 3.4.1. CSA Matematiksel Modeli

Bir grup kargadan oluşan  $d$  boyutlu bir ortam olduğu varsayılmaktadır.  $N$  karga sayısını ifade eder. Ortamdaki her bir  $(i)$  kargasının her iterasyondaki  $(t)$  pozisyonu eşitlik 3.1 ve 3.2 kullanılarak bir vektör olarak belirlenir.  $(t_{max})$  en fazla iterasyon sayısını göstermektedir.

$$\vec{X}_i(t) \text{ burada } i = 1, 2, \dots, N \quad (3.1)$$

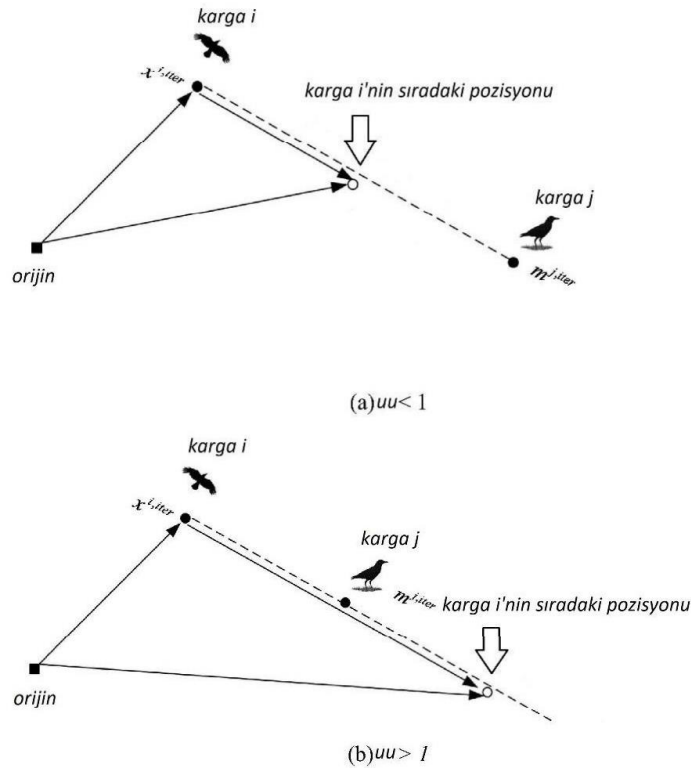
$$t = 1, 2, \dots, t_{max} \quad (3.2)$$

Her  $(t)$  iterasyonunda  $(i)$  karganın en iyi saklama yeri  $\vec{X}_i(t)$  ile ifade edilir. Bu değer  $(i)$  kargasının o iterasyona kadarki en iyi saklama yerini gösterir. Örneğin  $(t)$  iterasyonunda karga  $(j)$  kendisinin saklama yeri olan  $\vec{M}_j(t)$ 'e gitmek istiyor. Bu iterasyonda karga  $(i)$ , karga  $(j)$ 'yi takip etmek istiyor. Bu durumda iki ihtimal ortaya çıkar:

Durum 1: Karga  $(j)$ , karga  $(i)$ 'nin kendisini takip ettiğini bilmiyor. Bu durumda karga  $(i)$ , karga  $(j)$ 'nin saklama yerine yaklaşır ve karga  $(i)$ 'nin yeni pozisyonu eşitlik 3.3'deki gibi olur.

$$\vec{X}_i(t+1) = \vec{X}_i(t) + r_i \times uu_i(t) \times (\vec{M}_j(t) - \vec{X}_i(t)) \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'te  $(r_i)$  0-1 arasında rastgele bir sayısı,  $uu_i(t)$  ise karga  $(i)$ 'nin  $(t)$  iterasyondaki uçuş uzaklığını ifade eder.



**Şekil 3.9.** CSA'da kargaların Durum 1'e göre konum değiştirme şeması a) ( $uu < 1$ ) için ve b) ( $uu > 1$ ) için. Karga ( $i$ ) noktalı çizgi üzerinde her noktaya gidebilir (Askarzadeh, 2016).

Şekil 3.9'da karga takip davranışının konum değiştirme şeması sunulmuştur. Bu şemada karganın arama yeteneğine ( $uu$ )'nun etkisi görülebilir. ( $uu$ )'nun küçük değerleri lokal arama ile, büyük değerleri ise global arama ile sonuçlanmaktadır. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi ( $uu$ )'nun 1'den küçük seçilmesi halinde karga ( $i$ ),  $\vec{X}_i(t)$  ile  $\vec{M}_j(t)$  arasında hareket edebilir. ( $uu$ )'nun 1'den büyük seçilmesi halinde ise karga ( $i$ ),  $\vec{M}_j(t)$ 'i aşabilen kesik çizgili alanda hareket edebilir.

Durum 2: Karga ( $j$ ), karga ( $i$ )'nin kendisini takip ettiğini biliyor. Bu yüzden yiyeceğinin karga ( $i$ ) tarafından çalınmaması için onu aldatmaya çalışıyor ve arama uzayında farklı bir pozisyona gidiyor.

Genel olarak durum 1 ve 2 şu şekilde gösterilebilir (Askarzadeh, 2016):

$$\vec{X}_i(t+1) = \begin{cases} \vec{X}_i(t) + r_i \cdot uu_i(t) \cdot (\vec{M}_j(t) - \vec{X}_i(t)) & \text{eğer } r_j \geq AP_i(t) \\ \text{rastgele bir pozisyon} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.4)$$

$(r_j)$ , 0-1 aralığında rastgele bir değeri ve  $AP_i(t)$  ise karga  $(j)$ 'nin  $(t)$  iterasyonundaki farkındalık olasılığını ifade etmektedir.

Farkındalık olasılığı karga arama algoritmasının yoğunlaştırma ve çeşitlendirme özellikleri ile ilgilidir.  $(AP)$  değerinin düşük alınması CSA'nın mevcut iyi çözümün bulunduğu lokal bölgeye yoğunlaşmasını sağlar.  $(AP)$  değerinin yüksek alınması ise bu ihtimali azaltır ve CSA iyi çözümü global seviyede arar.

CSA'nın uygulama adımları şunlardır (Askarzadeh, 2016):

**1. Adım: Problemi başlatma ve probleme uygun parametreleri belirleme.**

Optimizasyon problemi, karar değişkenleri ve kısıtların belirlenmesi. Problemin tipine uygun olan maksimum iterasyon sayısı ( $t_{max}$ ), karga sayısı ( $N$ ), farkındalık olasılığı  $(AP)$  ve uçuş uzaklığı  $(uu)$  değerlerinin belirlenmesi.

**2. Adım: Kargaların pozisyonları ve hafızalarının başlangıç pozisyonlarının belirlenmesi.**

$(N)$  adet karga  $(d)$  boyutlu bir arama uzayında rastgele pozisyonlara yerleştirilir.  $(d)$  karar değişkenlerini simgeler ve her bir pozisyon uygun bir çözümü ifade eder. İşlemin başlangıcında kargaların tecrübelerinin olmadığı varsayılır ve besinleri başlangıç noktasına sakladıkları kabul edilir.

**3. Uygunluk fonksiyonu değerlendirilmesi.**

Her karganın pozisyonun kalitesi, uygunluk fonksiyonundaki sonuca göre belirlenir.

**4. Kargaların yeni pozisyonlarının oluşturulması.**

Her karga takip etmek için rastgele bir karga seçer. Örneğin karga  $(i)$ , karga  $(j)$ 'yi rastgele seçer ve karga  $(i)$ 'nin sakladığı yiyecekleri  $(m^j)$ , bulmak için takip eder. Karganın yeni konumu Eşitlik 3.3 ile belirlenir.

Karga arama algoritmasının sözde kodu Şekil 3.10'da verilmiştir.

### Karga Arama Algoritması

---

*N bireyden oluşan karga sürüsünü arama uzayında rastgele oluştur*

*Karga pozisyonlarının uygunluk değerlerini hesapla*

*Her bir karganın hafızalarını oluştur*

**while**  $iter = iter_{max}$

**for**  $i = 1 : N$

*Rastgele takip edilecek bir karga seç (örneğin j)*

*Farkındalık olasılığı belirle*

**if**  $r_j \geq AP_j(t)$

$\vec{X}_i(t+1) = \vec{X}_i(t) + r_i \cdot uu_i(t) \cdot (\vec{M}_j(t) - \vec{X}_i(t))$

**else**

$\vec{X}_i(t+1) =$  arama uzayında rastgele bir pozisyon

**end if**

**end for**

*Yeni pozisyonların uygunluğunu kontrol et*

*Yeni pozisyonları hesapla*

*Kargaların hafızalarını güncelle*

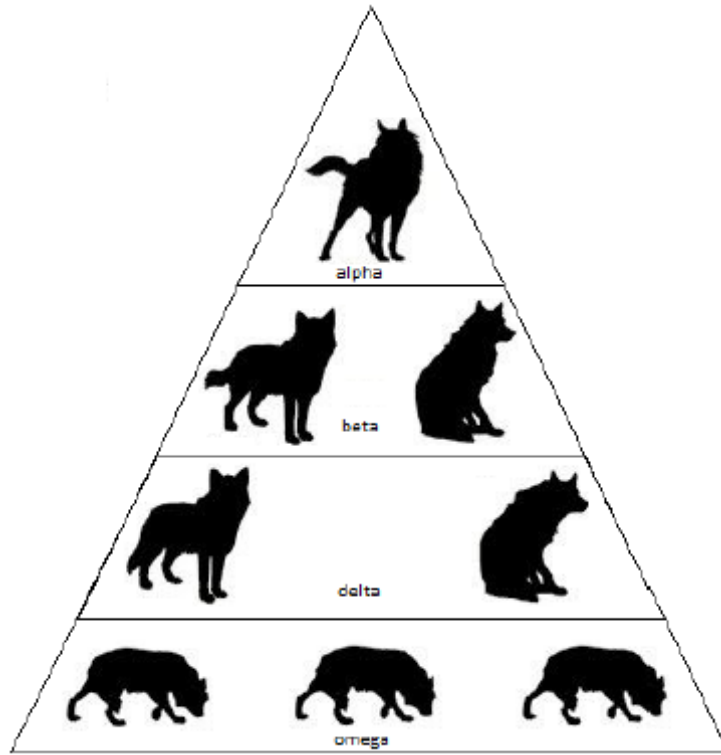
**end while**

---

**Şekil 3.10.** Karga arama algoritması sözde kodu (Askarzadeh, 2016).

### 3.5. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (Grey Wolf Optimizer, GWO)

Mirjalili ve arkadaşları 2014 yılında, gri kurtlardan (*Canis lupus*) esinlenerek yeni bir meta-sezgisel algoritma sunmuşlardır. Gri Kurt Algoritması, doğadaki gri kurtların liderlik hiyerarşisini ve avlanma mekanizmasını taklit eden bir algoritmadır. Gri kurtlar doğada grup olarak yaşarlar. Grup büyüklüğü ortalama 5–12 birey arasındadır. Grubun alfa olarak tanımlanan bir lideri vardır. Alfa kurdun hiyerarşik olarak altında sırası ile beta, delta ve omega kurtlar vardır. Sürüyü yöneten alfa kurt, sürünün avlanma, uyuma yeri ve izleyeceği yolu gösteren kurttur. Beta kurt alfa kurdun yardımcısı olan kurttur. Delta kurt ise omega kurtlarına hükmeden ancak alfa kurt ve beta kurdun altında hiyerarşide üçüncü olan kurtlardır. Omega kurt ise hiyerarşide en altta olan kurttur (Mirjalili vd., 2014). Şekil 3.11’de kurt sürüsünün hiyerarşisi sunulmuştur.



**Şekil 3.11.** Gri kurt sürünün aşağıdan yukarı doğru artan liderlik hiyerarşisi.

Gri kurtların sürü halinde avlanması, geliştirdikleri sosyal bir davranıştır. Gri kurt sürüsü alfa kurdun belirlediği avı, alfa kurdun yönetiminde kuşatır. Alfa kurt, avın konumuna göre sürüsünün bireylerini avı ele geçirmek için en iyi konuma getirdiği ve sürü bireylerinin konumlarını değiştirdiği düşünülmektedir. GWO gri kurtların, sosyal hiyerarşisi, avı izlemesi, etrafını uygun şekilde sarması ve avlanması davranışını matematiksel bir modele uyarlanarak problemlerdeki en iyi çözüme ulaşılmasını sağlayan bir algoritmadır (Şekil 3.12) (Mirjalili vd., 2014).



**Şekil 3.12.** Gri kurtların avlana davranışları: (A) av peşinde koşmak, yaklaşmak ve izlemek (B – D) takip etmek, taciz etmek ve çevrelemek (E) durağan durum ve saldırı (Mirjalili vd., 2014).

### 3.5.1. Matematiksel Model

Gri kurtların avlanma stratejisinin matematiksel modelinde alfa, beta ve delta kurtlarının avın yeri hakkında daha iyi bilgi sağladığı düşünülmektedir. Bu sebeple, ilk üç en iyi çözüm (alfa, beta, delta), GWO algoritmasında kurtların konumlarını güncellemek için kullanılır. GWO algoritmasında omega kurt kullanılmamaktadır. Bu bölümde, sosyal hiyerarşinin izlenmesi, çevrelenmesi, avlanması ve saldıran avların matematiksel modelinden bahsedilecektir.

#### 3.5.1.1. Avın Etrafını Sarma

Kurt sürüsünün avlanırken konumlarının avın etrafını sarması izleyen eşitliklerle matematik olarak modellenmiştir (Mirjalili vd., 2014):

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (3.5)$$

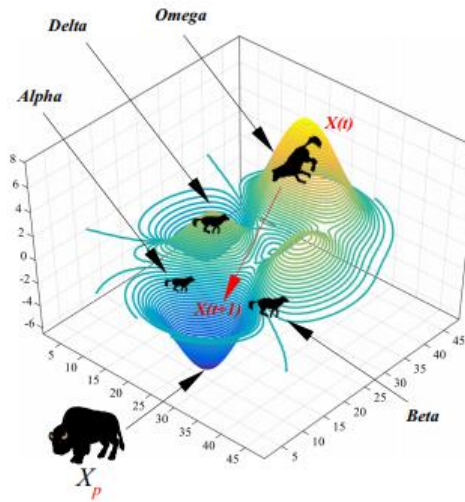
$$\vec{X}(t + 1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (3.6)$$

burada,  $t$  iterasyon sayısını,  $\vec{A}$  ve  $\vec{C}$  katsayı vektörlerini,  $\vec{X}_p$  avın pozisyon vektörünü,  $\vec{X}$  gri kurdun pozisyon vektörünü,  $||$  mutlak değeri, “.” ise vektörlerin eleman elemana çarpımını ifade etmektedir.  $\vec{A}$  ve  $\vec{C}$  vektörleri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (3.7)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (3.8)$$

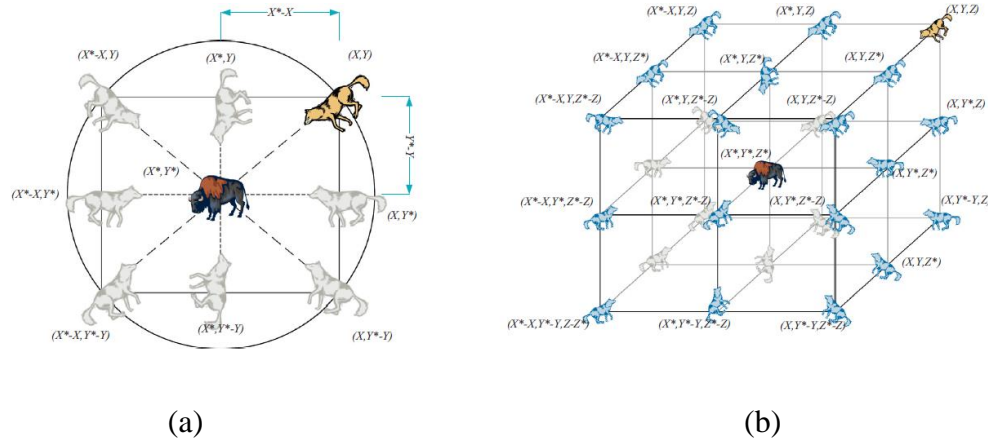
burada  $\vec{a}$  2’den 0’a doğrusal olarak her bir iterasyonda azalan bir vektör,  $\vec{r}_1$  ve  $\vec{r}_2$  [0,1] arasında rastgele sayılardan oluşan vektördür.



**Şekil 3.13.** Alfa, beta, delta ve omega kurtlarının ava yaklaşmasının grafiksel gösterimi (Faris vd., 2018).

Şekil 3.13’te görüldüğü gibi genel uzayda  $X_p$  konumu avı yani en iyi çözümü belirtirken,  $X(t)$  omega kurdu yani arama uzayındaki herhangi bir sonucu simgeler. Sürü içinde alfa kurdu ava en yakın konumdaki yeni en iyi sonucu belirtir. Sürü içindeki diğer kurtlar da hiyerarşideki yerlerine göre en iyi sonuca mesafelerde yer alırlar. Sonuçta gri kurt grubunun üyeleri alfa, beta, delta kurtları ve avlarına göre pozisyonlarını güncelleyerek avlarını kuşatırlar. İki boyutlu bir uzayda Eşitlik 3.5’de verilen denklemler kullanılarak oluşturulan pozisyon vektörü ve olası komşuların bazıları Şekil 3.14 (a)’da gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi  $(X, Y)$  pozisyonundaki gri bir kurt, avının konumuna göre konumunu değiştirebilir  $(X^*, Y^*)$ . En iyi etkenler etrafında farklı yerler

$A$  ve  $C$  değerini ayarlayarak mevcut konuma göre ulaşılabilir. 3 boyutlu uzayda gri kurtun güncellenmiş pozisyonları Şekil 3.14 (b)'de sunulmuştur. Aynı uzay  $n$  boyutlarıyla bir arama alanına genişletilebilir ve gri kurtlar avın etrafında küre veya küp içinde pozisyon değiştirebilir.



**Şekil 3.14.** 2D (a) ve 3D (b) uzayında pozisyon vektörleri ve muhtemel bir sonraki pozisyonları.

### 3.5.2. Avlanma

Alfa (en iyi aday çözüm), beta ve delta tipi gri kurtlar avın potansiyel konumu hakkında üstün bilgiye sahiptir. Bu nedenle, ilk üç en iyi çözüm kaydedilir ve diğer kurtlar pozisyonları için en iyi arama kurtlarına göre pozisyonlarını güncellerler. Kurt sürüsünün avlanma sırasındaki pozisyon değişimi matematiksel olarak aşağıdaki eşitliklerle modellenmiştir (Mirjalili vd., 2014):

$$\vec{D}_a = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_a - \vec{X}| \quad (3.9)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}| \quad (3.10)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (3.11)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_a - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_a) \quad (3.12)$$

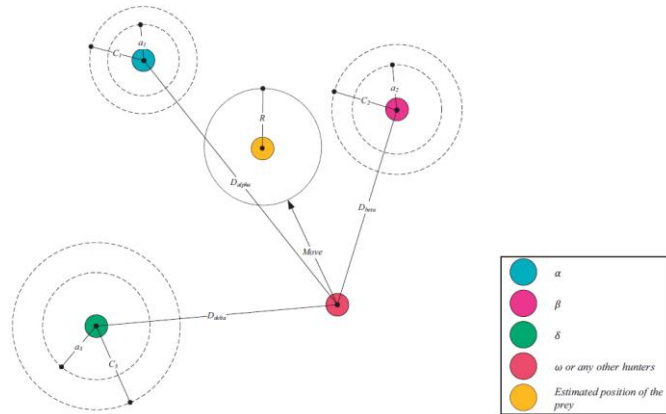
$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta) \quad (3.13)$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (3.14)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (3.15)$$

burada,  $\vec{D}_\alpha, \vec{D}_\beta, \vec{D}_\delta$ , alfa, beta ve delta kurtlarının av ile arasındaki vektör mesafesini,  $\vec{X}_\alpha, \vec{X}_\beta, \vec{X}_\delta$ , alfa, beta ve delta kurtları için avın pozisyon vektörünü,  $\vec{C}_1, \vec{C}_2, \vec{C}_3, \vec{A}_1, \vec{A}_2, \vec{A}_3$  alfa, beta ve delta kurtları için katsayı vektörlerini,  $\vec{X}(t + 1)$ , gri kurdun i'inci iterasyonda pozisyon vektörünü göstermektedir.

Gri kurt sürüsü avın yerini belirleyip kuşatabilir. Av sürünün lideri alfa kurt tarafından yönetilir. Beta ve delta kurtları da bazen avlanmaya katılabilirler. Ancak, sürünün arama uzayı içinde avın en iyi pozisyonu hakkında hiçbir fikri yoktur. Gri kurtların avlanma davranışlarında alfa, beta ve delta kurtlarının avın potansiyel pozisyonu hakkında diğer kurtlara göre daha iyi bilgiye sahiptir. Bu 3 iyi kurdun pozisyonuna göre elde edilen ilk üç en iyi çözüm saklanır ve diğer kurtların bu 3 konuma göre pozisyon değişimi yapılır. Şekil 3.15'de bir arama uzayında alfa, beta ve delta kurtlarına göre grup içindeki başka bir kurdun konumunun nasıl güncellendiği gösterilmektedir.



Şekil 3.15. GWO'da sürü bireylerinin pozisyonlarının güncellenmesi (Mirjalili vd., 2014).

### 3.5.2.1. Avına saldırı

Gri kurtlar, avın konumunu sabitlediğinde ava saldırırlar. Bu davranışın matematiksel modelinde,  $\vec{a}$  değeri azaldıkça,  $\vec{A}$  dalgalanma aralığı da azalır.  $\vec{A}$ ,  $[-1, 1]$  aralığında rastgele değerlere sahipse, kurdun bir sonraki konumu, geçerli konumu ile avın konumu arasında herhangi bir pozisyonda olacaktır.

### 3.5.2.2. Ayları Arama

Gri kurtlar genellikle alfa, beta ve deltanın konumuna göre arama yapar. Kurt sürüsünün her bir üyesi, av bulmak ve saldırmak için birbirlerinden ayrılır. Ayrımı matematiksel olarak modellemek için, kurdun avdan uzaklaştırmak için  $\vec{A}$ , 1'den büyük veya -1'den küçük rastgele bir değer alması sağlanır. Kurt sürüsünün bu davranışı, GWO'nun global arama yapmasını sağlamaktadır.

GWO algoritmasının sözde kodu Şekil 3.16'da verilmiştir.

#### Gri Kurt Algoritması

---

```

Gri kurtların pozisyonlarını başlat
Gri kurtların maliyet değerlerini hesapla
En iyi gri kurdu alfa kurt olarak kaydet
İkinci en iyi gri kurdu beta kurt olarak kaydet
Üçüncü en iyi gri kurdu delta kurt olarak kaydet
while (iterasyon sayısı < maksimum iterasyon sayısı)
   $\vec{a}$ 'yı azalt
  for (her gri kurt için)
    Alfa, beta, delta katsayı vektörlerini oluştur
    Mesafe vektörlerini hesapla (denklem. 1-3)
    Deneme vektörlerini hesapla (denklem. 4-6)
    Gri kurtun konumunu güncelle (denklem. 7)
  end for
  Güncellenen gri kurtların maliyet değerlerini hesapla
  for (her gri kurt için)
    if (gri kurt < alfa kurt)
      alfa kurtu güncelle
    else if (gri kurt < beta kurt)
      beta kurtu güncelle
    else if (gri kurt < delta kurt)
      delta kurtu güncelle
    end if
  end for
  Seçilenlerin durumunu güncelle
  iterasyonu bir artır
end while
alfa kurdunu döndür

```

---

Şekil 3.16. Gri kurt algoritmasının sözde kodu (Mirjalili vd., 2014).

### 3.6. Balina Optimizasyon Algoritması (Whale Optimization, WOA)

Mirjalili ve Lewis 2016'da tek ve çok modlu optimizasyon problemlerinin çözümü için doğa kaynaklı balina optimizasyon algoritmasını önermişlerdir (Mirjalili ve Lewis, 2016). WOA, balinaların doğal avlanma davranışından esinlenerek oluşturulan matematiksel bir modelle optimizasyon problemlerinin çözümü için kurgulanmış bir meta sezgisel algoritmadır.

WOA, kambur balinaların kabarcık çıkararak avlarına yaklaşma stratejisine dayanır. Bu stratejiye göre avını belirleyen kambur balinalar, suyun altında soluk vererek hava kabarcığı bulutları ve sütunları meydana getirirler. Bu geniş, birbirleri ile bağlantılı hava kabarcıkları kümesi, suyun altında soluk verilmesi ile oluşarak balıkları bir araya toplar. Balina toplanan balıklara doğru derinden yüzeye doğru kabarcık çıkararak yükselir ve küçük balıkları korkutarak bir bölge içine sıkıştırır (Şekil 3.17). Balina yükselmeye devam ederek soluk alıp verip kabarcık oluşturmaya devam eder ve balıklara yaklaştıkça kabarcık çemberini daraltarak hedef küçültür. Balıklara bu şekilde bir yaklaşımın, balıkların bulunması veya balıkların küçük bir alanda hareketsiz hale getirilmesi amacıyla yapıldığı düşünülmektedir. Küçük bir bölgeye sıkışan balıklar, su kabarcıkları sayesinde balınayı göremez ve kabarcıkları aşarak kaçamaz. Sıkışan balıkları balina kolaylıkla avlar (Mirjalili ve Lewis, 2016).



**Şekil 3.17.** Kambur balinaların hava kabarcığı yöntemi avlarına yaklaşmaları (Mirjalili and Lewis 2016).

Kambur balinaların kabarcık çıkartarak balıkları avlama stratejisine dayanan WOA, balıkların etrafını hava kabarcığı ile sarma, halkayı daraltarak ava doğru spiral şekilde hareket ederek sıkıştırma ve balık arama olarak 3 ayrı kısımda matematiksel olarak modellenmiştir.

### 3.6.1. Balıkların Etrafını Sarma

Balıkların pozisyonlarını belirleyen kambur balinalar, balıklar doğru hava kabarcığı çıkararak balıkların etrafını sararlar. WOA'nın matematiksel modeline göre, balıkların bulunduğu konum en iyi çözümün olduğu yerdir. WOA'da, optimizasyon problemlerinin genelinde olduğu gibi başlangıç rastgele pozisyonlardan başlar. Daha sonra başlanılan pozisyonların en iyisi belirlenir ve diğer pozisyonlar da en iyi pozisyona göre güncellenir. Balıkların etrafını sarma stratejisinin matematiksel modeli şu eşitliklerle yapılır (Mirjalili ve Lewis, 2016):

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (3.16)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (3.17)$$

burada,  $t$  iterasyon sayısını,  $\vec{A}$  ve  $\vec{C}$  katsayı vektörlerini,  $X^*$  bu iterasyona kadarki en iyi çözümün pozisyon vektörünü,  $\vec{X}$  pozisyon vektörünü,  $|\cdot|$  mutlak değeri,  $\cdot$  ise vektörlerin eleman elemana çarpımını ifade etmektedir.  $\vec{A}$  ve  $\vec{C}$  vektörleri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \quad (3.18)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r} \quad (3.19)$$

burada  $\vec{a}$  2'den 0'a doğrusal olarak her bir iterasyonda azalan bir vektör,  $\vec{r}$  [0,1] arasında rastgele sayılardan oluşan vektördür.

### 3.6.2. Hava Kabarcığı Yöntemi İle Balıklara Yaklaşma

Kambur balinaların balıklara kabarcık çıkararak yaklaşması stratejisi, 2 yaklaşım ile modellenmiştir (Mirjalili ve Lewis, 2016). Bu yaklaşımlar:

1.Çember daraltma: Eşitlik 3.18'deki  $\vec{a}$  değerinin azaltarak balıkların etrafındaki çember daraltılır.  $\vec{A}$ ,  $[-a, a]$  arasında rastgele bir değerdir ve  $a$ 'den  $0$ 'a doğru azalan bir değerdir.

2.Spiral yaklaşım: Kambur balinalar balıklara doğru yükselirken aynı zamanda spiral hareket ederek balıkların küçük bir bölgeye toplarlar. Bu davranışın WOA'da matematiksel modeli izleyen eşitliklerde sunulmuştur:

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad (3.20)$$

$$\vec{D}' = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (3.21)$$

Eşitlik 3.20'de simgelenen  $\vec{D}'$  mevcut konum ile en iyi pozisyon arasındaki mesafesi göstermektedir.  $b$  logaritmik spiral sabiti,  $l$  ise  $[-1,1]$  arasında rastgele bir değerdir.

Algoritmada spiral yaklaşım veya balıklara doğru hareketten hangisinin yapılacağı şu eşitlikle modellenir:

$$\vec{X}(t + 1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} & p < 0.5 \\ \vec{D}' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) & p \geq 0.5 \end{cases} \quad (3.22)$$

burada  $p$  değeri rastgele sayıyı ifade etmektedir ve  $[0,1]$  aralığındadır Optimizasyon sürecinde eş zamanlı davranışları modellemek için, çember daraltma hareketi ile spiral yaklaşım güncelleme mekanizmasının gerçekleşme olasılıkları %50'dir.

### 3.6.3. Balıkları Arama (Keşif)

Kambur balinaların balıkları ararken diğer kambur balinaların pozisyonlarına göre rastgele arama yaparlar. Bu hareketleri de WOA'da hava kabarcığı çıkararak balıkları sıkıştırmalarının haricinde global arama olarak modellenmiştir. Bu modele göre global arama mevcut iterasyondaki en iyi sonuca doğru değil rastgele güncellenmektedir. Bu sayede WOA en iyi çözüme gitmek için arama uzayında global arama yapabilir. Bu mekanizmanın matematiksel modeli şu eşitlikler ile yapılır (Mirjalili ve Lewis, 2016):

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_{rand} - \vec{X}| \quad (3.23)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (3.24)$$

burada  $\vec{X}_{rand}$  mevcut popülasyondan seçilen bir rastgele pozisyon vektörüdür (rastgele bir balina).

WOA'nın sözde kodu Şekil 3.18'de verilmiştir.

**Gereksinim:**  $X_i, (i = 1, 2, \dots, n)$  balina popülasyonunu başlat,

Her arama ajanı için amaç fonksiyonunu hesapla

$X^* = en\ iyi\ arama\ ajanı$

**while** ( $t < \text{maksimum iterasyon sayısı}$ ) **do**

**for all** arama ajanları

$a, A, C, l$  ve  $p$ 'yi güncelle

**if1** ( $p < 0.5$ )

**if2** ( $|A| < 1$ )

Denklem (3.16)'ye göre mevcut arama ajanının pozisyonunu güncelle

**else if2** ( $|A| \geq 1$ )

Rastgele arama ajanı ( $X_{rand}$ )'ı seç

Denklem (3.24)'e göre mevcut arama ajanının pozisyonunu güncelle

**end if2**

**else if1** ( $p \geq 0.5$ )

Denklem (3.20)'e göre mevcut arama ajanının pozisyonunu güncelle

**end if1**

**end for**

Herhangi bir arama ajanının arama bölgesinin dışına çıkıp çıkmadığını kontrol et ve düzelt

Her arama ajanı için amaç fonksiyonunu hesapla

Eğer daha iyi bir çözüm varsa  $X^*$ 'yi güncelle

$t = t + 1$ ;

**end while**

Return  $X^*$

**Şekil 3.18.** Balina optimizasyon algoritmasının sözde kodu (Mirjalili ve Lewis, 2016).

### 3.7.Yarasa Optimizasyon Algoritması (Bat Algorithm, BA)

Yarasa optimizasyon algoritması, 2010 yılında Yang tarafından sürü zekasına dayanan ve meta sezgisel bir algoritma olarak önerilmiştir (Yang, 2010). Yarasalar, karşılındaki cisimlerin büyüklüğünü ve yönünü çıkardıkları seslerin yankılanması ile bulabilirler. Yarasaların bu yeteneklerine ekolokasyon adı verilir. BA da yarasaların bu yeteneklerinden esinlenerek tasarlanmış popülasyon tabanlı optimizasyon algoritmasıdır.

Yarasaların hepsi olmasa bile çoğu, avlarının konumlarını belirlemek, aralarında iletişim kurmak, buldukları ortam tamamen karanlık olsa bile etraflarındaki çok küçük

nesneleri algılayarak onlara çarpmayacak şekilde hareket etmek ve karanlık ortamlarda hareket eden farklı türdeki böcek türlerini ayırt etmek için ekolokasyon olarak adlandırılan bir çeşit radar kullanırlar. Ekolokasyon, insanların duyamayacağı seslerdir. Yarasalara benzer şekilde yunuslar, balinalar, kır fareleri ve bazı kuş türleri de ekolokasyon yeteneğine sahiptirler (Brigham, Kalko, Jones, Parsons ve Limpens, 2002). Ekolokasyon yeteneğini kullanan bu hayvanlar, her ortamda hareket edebilirler ve özellikle avlarının özelliklerini net bir şekilde belirleyebilirler.

### 3.7.1. Yarasa Algoritmasının Matematiksel Modeli

Yang, BA'nın matematiksel modelini oluştururken, yarasaların ekolokasyon yeteneği ile avlanmasını göz önüne almıştır ve bu yeteneği 3 temel kurala dayandırmıştır (Yang, 2010):

- Tüm yarasalar, yiyecek / av ve engelleri ayırt etmek ve onlara mesafeyi algılamak için ekolokasyon kullanır.
- Yarasalar avlarını bulmak için  $v_i$  hızında,  $x_i$  konumunda, sabit frekansta  $f_{min}$ , dalga boyu  $\lambda$  ve ses şiddeti  $A_0$  ile rastgele uçarlar. Yayıdıkları sinyallerin frekansını otomatik olarak ayarlayabilir ve hedeflerinin yakınlığına bağlı olarak sinyal yayma  $r \in [0,1]$  ayarlayabilirler.
- Ses şiddeti değeri pek çok yönden farklılık göstermesine rağmen, algoritmada bu değer en büyük değerden  $A_0$  minimum değere  $A_{min}$  farklılık gösterir.

#### 3.7.1.1. Yarasa popülasyonunun oluşturulması

Yarasaların avlarını aradıkları ortam arama uzayı olarak kabul edilmektedir. Algoritmanın amacı, arama uzayındaki avların en kalitelisinin ya da optimumunun yarasalar tarafından bulunabilmesidir. Hedeflenen avların arama uzayının hangi bölgesinde oldukları bilinmediği için  $N$  popülasyon sayısında ve  $d$  boyutta yarasa popülasyonu arama uzayına rastgele dağılmaktadır. Uzaya dağılan yarasalar buldukları konuma ait avların uygunluk değerini hesaplamakta ve her bir yarasanın uygunluk değeri hafızada tutulmaktadır.

$$X_{i,j} = X_{minj} + \varphi(X_{maxj} - X_{minj}) \quad (3.25)$$

burada,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $j = 1, 2, \dots, d$  ve  $X_{i,j}$   $i$ . yarasanın  $j$ . boyutunu ifade eder.  $X_{minj}$  ve  $X_{maxj}$  sırasıyla  $j$ . boyutunun alabileceği en küçük ve en büyük değerleri ifade eder.  $\varphi$  ise  $[0,1]$  aralığındaki rastgele bir sayıdır.

### **3.7.1.2. Yarasaların av bulmak için yaptıkları hareketler**

Yarasalar arama uzayına rastgele bir şekilde avların aramak için dağıldıklarında buldukları pozisyonlara göre uygunluk değerleri hesaplanır. Sonraki pozisyonlarının belirlenmesi buldukları konumların uygunluk değerlerine göre en iyi avı bulmak için güncellenmesi ile olur. Bu güncellemede yarasaların hareket yönü ve şiddeti belirlenir. Yarasalar, en iyi bireyin uygunluk pozisyonuna göre frekans ( $f_i$ ) ve çözüm değerine ( $x_*$ ) göre yeni hız ( $v_i$ ) ile sonraki pozisyonlarını belirlerler (Yang, 2010).

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (3.26)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_*)f_i \quad (3.27)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (3.28)$$

buradaki eşitliklerde,  $f_i$   $i$ . yarasanın oluşturduğu frekans değerini,  $f_{min}$  ve  $f_{max}$  sırasıyla en küçük ve en büyük frekans değerlerini,  $\beta$   $[0,1]$  arasında rastgele bir sayıyı,  $x_*$  popülasyon içerisinde  $t$ . süreye kadar bulunan en iyi çözüm değerini,  $v_i^t$   $t$ . anda  $i$ . yarasanın hızını temsil etmektedir.

Yarasa algoritması, yerel arama kabiliyetini artırmak amacıyla popülasyondaki bireylerin mevcut avların civarlarında daha kaliteli kaynaklara yönelmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla belli şartları sağlayan her yarasa/çözüm, popülasyon içerisinde uygunluk değerinin kalitesine bağlı olarak bir başka çözüm seçmekte ve seçtiği çözümün etrafında yeni ava yönelmektedir.

$$x_{yeni} = x_{eski} + \varepsilon \bar{A}^t \quad (3.29)$$

burada  $x_{eski}$  farklı yöntemler (sıralı seçim, rulet tekerleği, elitizm vb.) yardımıyla popülasyon içerisinde uygunluk değerinin kalitesine bağlı olarak seçilen bireyin çözüm

değerlerini,  $\varepsilon [0,1]$  arasından rastgele bir sayıyı,  $\bar{A}^t$   $t$  anında tüm yarasaların ortalama ses şiddeti değerini ifade etmektedir.

### **3.7.1.3. Ses şiddeti ve sinyal yayılım oranı**

Yarasaların avlarını tespit etmek için kullandıkları ekolokasyon ile ürettikleri sesin şiddeti ve sinyal yayılım oranları iterasyonlar boyunca ve en iyi çözüme yaklaştıkça güncellenmektedir. Yarasa avına yaklaştıkça ses şiddeti ( $A$ ) azalırken, sinyal yayılım oranı ( $r$ ) artmaktadır (Yang, 2010).

$$A_i^{t+1} = aA_i^t \quad (3.30)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0(1 - e^{-\gamma t}) \quad (3.31)$$

burada  $a$  ve  $\gamma$  değerleri sabit değerdir.  $0 < a < 1$  ve  $\gamma > 0$  durumunda şu eşitlikle bulunur:

$$A_i^t \rightarrow 0, \quad r_i^t \rightarrow r_i^0, \quad t \rightarrow \infty \quad (3.32)$$

burada başlangıç ses şiddeti  $A_i^0$  ve sinyal yayılım ( $r_i^0$ ) oranı değerleri rastgele belirlenmekte ve genelde  $A_i^0 \in [1,2]$ ,  $r_i^0 \in [0,1]$  aralığında değer almaktadır. Yarasa optimizasyon algoritmasının sözde kodu Şekil 3.19'da verilmiştir.

---

```

Her yarasanın başlangıç frekansını ( $f_i$ ) belirle
Ses şiddeti ( $A_i$ ) ve sinyal yayılım oranı ( $r_i$ ) değerini belirle
while ( $t <$  maksimum iterasyon sayısı)
    Frekansını belirleyerek konumları ve hızları güncelle, yeni uygunluk
    değerlerini hesapla
    if ( $rand(0,1) > r_i$ )
        En iyi çözümler etrafında yerel bir çözüm üret
    end if
    Rastgele uçarak yeni bir çözüm üret
    if ( $rand < A_i$  ve  $f(x_i) < f(x_*)$ )
        Yeni çözümleri kabul et.
         $r_i$  arttır ve  $A_i$  azalt
    end if
Yarasaları sırala ve en iyi değere ulaşanı belirle
end while
Çözümler arasından en iyi uygunluk değeri olanı göster

```

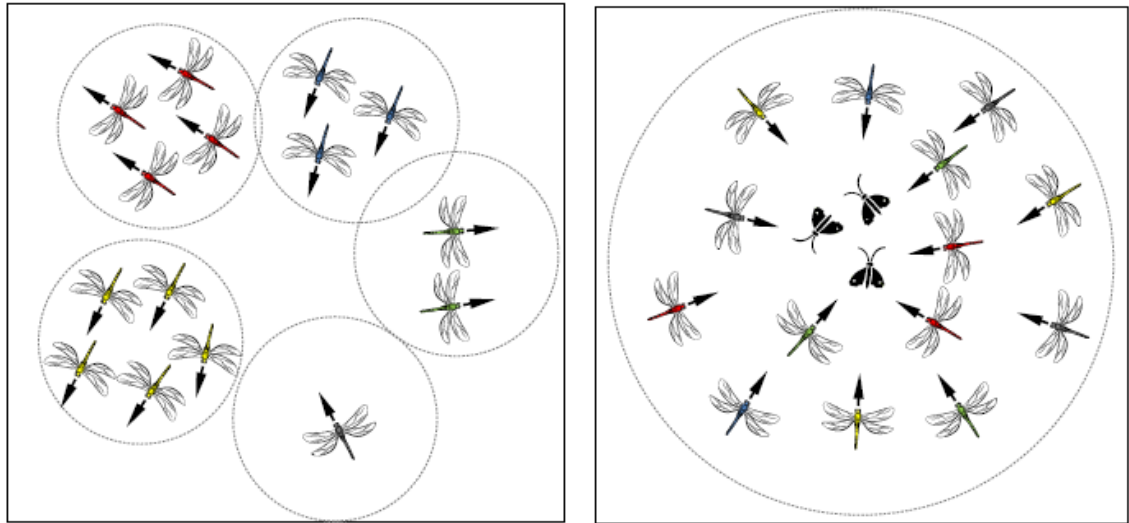
---

**Şekil 3.19.** Yarasa optimizasyon algoritmasının sözde kodu (Yang 2010).

### 3.8. Yusufçuk Optimizasyon Algoritması (Dragonfly Algorithm, DA)

Mirjalili, 2016'da tek ve çok modlu optimizasyon problemlerinin çözümü için doğa kaynaklı, yusufçuk algoritmasını geliştirmiştir (Mirjalili, 2016). Yusufçukların doğada sürü halindeki dinamik ve statik davranışlarından esinlenilerek geliştirilen yöntem, sürü zekâsına dayalı meta sezgisel bir algoritmadır.

Yusufçuk sineği, güçlü saydam kanatları, büyük birleşik gözleri, uzunca vücutlarıyla ve göz alıcı renkleri ile bilinirler ve çok sayıda türlere sahiptir. Avlanma stratejileri oldukça zekicedir ve birçok eşsiz teknikler içerir. Statik sürüdeki yusufçuk sinekleri küçük gruplar oluştururlar ve avlarını bulmak için ileri geri hareket ederler. Statik yusufçuk sürüsünün ana karakteristik özelliği, uçuş güzergâhında yerel hareketler ve ani değişikliklerdir. Dinamik yusufçuk sürüleri ise çok sayıda yusufçuğun toplanması ve hep birlikte uzak bölgelere göç etmelerine dayanır (Şekil 3.20).



**Şekil 3.20.** Yusufçuk sürüsünün statik ve dinamik davranışları (Mirjalili 2016).

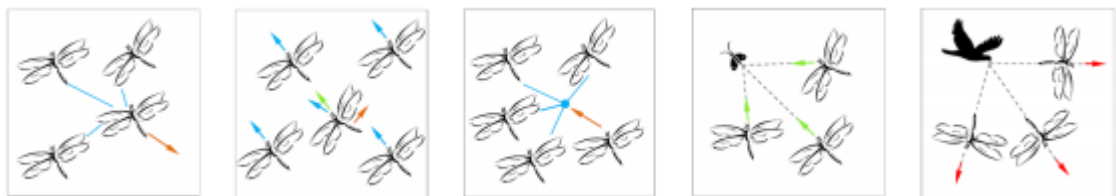
Yusufçuk sürüleri 3 temel davranış ile hareket ederler. Bu davranışlar ayrışma, hizalama ve birleşmedir;

-Ayrışma: Sürü hareketi sırasında yusufçukların birbirine çarpmadan hareket etmesidir.

-Hizalanma: Sürü içindeki yusufçukların hızlarını birbirlerine göre dengelemesidir.

-Birleşme; Yusufçuğun sürünün merkezine doğru hareket etme eğilimi anlamına gelir.

Yusufçuk sürüsünün temel amacı hayatta kalmaktır. Hayatta kalmak için de düşmanlardan kaçmak ve yiyecekleri bulmak gerekir. Bu iki temel amaç da göz önüne alındığında ayırma, hizalanma ve birleşme davranışı ile sürü 5 davranışa göre hareket eder. Bu beş davranış Şekil 3.21’de sunulmuştur.



Ayrılma

Hizalanma

Birleşme

Ava Yönelim Düşmandan Kaçma

**Şekil 3.21.** Yusufçuk sürüsünün 5 temel hareket davranışı (Mirjalili 2016).

### 3.8.1. Yusufçuk Algoritmasının Matematiksel Modeli

Yusufçuk sürüsünün Şekil 3.19'da verilen 5 hareketinden ayrılma Eşitlik 3.33'le matematiksel olarak modellenmiştir (Mirjalili, 2016):

$$S_i = - \sum_{j=1}^N X - X_j \quad (3.33)$$

burada,  $X$  bireyin pozisyonu,  $X_j$   $j$ . bireyin pozisyonunu ve  $N$  bireyin etrafındaki birey sayısını gösterir. Yusufçukların hizalanma davranışı Eşitlik 3.34'te modellenmiştir:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^N V_j}{N} \quad (3.34)$$

burada,  $V_j$   $j$ . bireyin hızını ifade etmektedir. Birleşme davranışı Eşitlik 3.35 ile hesaplanır:

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} - X \quad (3.35)$$

Yiyeceğe doğru yaklaşım şu eşitlikle hesaplanır:

$$F_i = X^+ + X \quad (3.36)$$

burada,  $X^+$  yiyeceğin pozisyonunu tarifler. Düşmandan uzaklaşma modeli ise:

$$E_i = X^- + X \quad (3.37)$$

burada,  $X^-$  düşmanın pozisyonunu ifade eder. Yapay yusufçukların arama uzayındaki pozisyonları ve hareketleri güncellemek için iki vektör tanımlanır. Bu vektörler, adım vektörü ( $\Delta X$ ) ve pozisyon vektörüdür ( $X$ ). Adım vektörü hız vektörü olarak düşünülebilir ve yusufçukların hareket yönü Eşitlik 3.38'de verilmiştir:

$$\Delta X_{t+1} = (sS_i + aA_i + cC_i + fF_i + eE_i) + w\Delta X_t \quad (3.38)$$

burada,  $s$  ayrılma,  $a$  hizalanma,  $c$  birleşme,  $f$  yiyecek arama ve  $e$  düşmandan kaçma davranışlarının ağırlık değerlerini göstermektedir. Ayrıca  $w$ ,  $t$ . iterasyondaki atalet ağırlığını temsil etmektedir. Adım vektörü hesaplandıktan sonra pozisyon vektörü izleyen eşitlikle hesaplanır:

$$X_{t+1} = X_t + \Delta X_t \quad (3.39)$$

burada,  $t$  mevcut iterasyonu gösterir. Yusufçukların pozisyonunu rastgele belirlemek için Eşitlik 3.40'da verilen Levy uçuşu kullanılmıştır.

$$X_{t+1} = L\grave{e}vy(d) \times X_t \quad (3.40)$$

burada  $d$  pozisyon vektörünün boyutunu gösterir. Levy uçuşunu modelleyen eşitlik şöyledir:

$$L\grave{e}vy(d) = 0.01 \times \frac{r_1 \times \sigma}{|r_2|^{\frac{1}{\beta}}} \quad (3.41)$$

burada,  $r_1$  ve  $r_2$   $[0,1]$  arasında rastgele değerlerdir.  $\beta$  ise sabit bir değerdir ve bu çalışmada 1.5 olarak alınmıştır.  $\sigma$  değeri Eşitlik 3.42 ile hesaplanır.

$$\sigma = \left( \frac{\Gamma(1+\beta) \times \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right) \times \beta \times 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{1/\beta} \quad (3.42)$$

burada,  $\Gamma(x)$  ifadesi  $(x-1)!$  işlemini tariflemektedir. Yusufçuk algoritmasının sözde kodu Şekil 3.22'de verilmiştir.

**Gereksinim:**  $X_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) yusufçuk popülasyonunu başlat

---

$\Delta X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) adım vektörlerine ilk değerlerini ata

$X^* = en\ iyi\ arama\ ajanı$

**while** ( $t < \text{maksimum iterasyon sayısı}$ )

Her yusufçuk için amaç fonksiyonunu hesapla

Yiyecek ve düşman kaynağını güncelle

$w, s, a, c, f$  ve  $e$  değerlerini güncelle

Eşitlik (3.33)'den (3.37)'e kadar olan eşitlikleri kullanarak  $S, A, C, F$  ve  $E$  değerlerini hesapla

Komşu yarıçapları güncelle

**if** bir yusufçuğun yakınında başka bir yusufçuk var ise

Eşitlik (3.38)'i kullanarak hız vektörünü güncelle

Eşitlik (3.39)'u kullanarak konum vektörünü güncelle

**else**

Eşitlik (3.40)'ı kullanarak konum vektörünü güncelle

**end if**

Herhangi bir arama ajanının arama bölgesinin dışına çıkıp çıkmadığını kontrol et ve düzelt

**end while**

---

**Şekil 3.22.** Yusufçuk algoritmasının sözde kodu (Mirjalili 2016).

### 3.9. Matlab Programı

Matlab programının kullanım alanları arasında; matematik, hesaplama işlemleri, veri analizi ve görsel efektlerle destekli gösterim, bilimsel ve mühendislik grafikleri, uygulama geliştirme gibi pek çok özellik bulunmaktadır (Matlab, 2015). Bu özellikleri ile SAP2000 ve Etabs programına açık uygulama programlama arayüzü (open application programming interface, OAPI) ile bağlanarak çift taraflı veri alışverişi sağlayabilmesi nedeniyle Matlab, bu çalışmada da optimizasyon algoritmalarının hazırlandığı program olarak tercih edilmiştir. Çalışmada Matlab programının 2015a versiyonu kullanılmıştır.

### 3.10. SAP2000 ve Etabs Sonlu Eleman Analiz ve Boyutlama Programları

Sonlu elemanlar yöntemi, inşaat mühendisliği problemlerinin çözümünde kullanılan yaygın ve güvenilir bir yöntemdir. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında bilgisayar teknolojisinin hızla gelişimi ile de daha karmaşık problemlerin çözümünü geliştirilen bilgisayar programları sayesinde mümkün olmuştur. Bu bilgisayar programlarından en çok kullanılanlarından iki tanesi de CSI firması tarafından hazırlanmış SAP2000 ve Etabs programlarıdır.

SAP2000 bugün mühendislik uygulamalarına entegre edilmiştir ve genel amaçlı yapısal bir yazılımdır. Yapısal analiz ve tasarım ihtiyaçları için en basit ve en verimli yazılımlardan biri olarak kabul edilir. SAP2000’de basit bir küçük iki boyutlu statik çerçeve analizinden büyük karmaşık üç boyutlu doğrusal olmayan dinamik analizlere kadar her pek çok analiz yapılabilir. SAP2000’in ara yüzü, hızlı ve görsel bir şekilde yapısal modeller oluşturmaya izin verir. Karmaşık modeller, yerleşik şablonlar kullanılarak oluşturulabilir ve analiz edilebilir.

Kullanılmaya başlanılmasından itibaren SAP2000 programının birçok versiyonu çıkarılarak programa yeni özellikler eklenmiştir. Bu özelliklerden bir tanesi de V12’de eklenen OAPI özelliğidir. Çalışmada SAP2000 kullanılmasının temel nedeni güvenilir bir yazılım olmasının haricinde optimizasyon felsefesindeki tekrarlı çözümleri gerçekleştirmede OAPI özelliğini kullanarak tekrarlı çözümler yapmaktır. Çalışmada kullanılan SAP2000 versiyonu 2019’da yayımlanan V20 sürümüdür. Köprü ayağı modeli ve kayma çerçevesi modelinin yapısal analizi bu sürümle yapılmıştır.

Etabs programı da SAP2000 ile benzer çözüm teknikleri kullanan ve güvenilirliğini sağlamış yapısal analiz programıdır. Etabs’ın genel kabiliyetleri SAP2000’le oldukça benzemekle beraber bina türü yapıların tasarımına ve analizine daha uygundur. SAP2000’de olduğu gibi Etabs’ta da uygulama programlama ara yüzü (API) imkanı bulunmaktadır. Çalışmada betonarme 15 katlı yapı modeli için SAP2000’e göre modellemesi daha kolay olduğu için Etabs programı tercih edilmiştir. Çalışmada Etabs’ın 2018 yılında yayımlanan V17 sürümü kullanılmıştır.

### 3.11. Açık Uygulama Programlama Ara yüzü (OAPI)

Bilgisayar programlamasında, uygulama programlama arayüzü (API), uygulama alt yazılımı tanımlaması, protokolleri ve uygulama yazılımı oluşturmak için araçlar anlamına gelir. Genel olarak, çeşitli yazılım bileşenleri arasında açıkça tanımlanmış

iletişim yöntemleri kümesidir. İyi bir API, daha sonra programlama geliştiricisi tarafından bir araya getirilen tüm yapı taşlarını sağlayarak bilgisayar programı geliştirmeyi kolaylaştırır. SAP2000 ve Etabs açık uygulama programlama ara yüzü, geliştiricilerin modeller oluşturmak, analiz etmek ve tasarım yapmak ve özelleştirilmiş analiz ve tasarım sonuçları elde etmek için gereken işlemlerin çoğunu otomatikleştirmelerini sağlar. Ayrıca, geliştiricilerin SAP2000 ve Etabs'ı ikinci taraf araçlarla bağlamasına izin vererek, diğer uygulamalarla iki yönlü model bilgisi alışverişi için bir yol sağlar. OAPI'nin kullanılmasının detayları ve örnek kodları programların içindeki bir dokümanda açıklanmıştır (ETABS, 2018; SAP2000, 2019).

OAPI, Avrupa, ABD, Kanada, Çin, Türkiye ve diğer uluslararası tasarım standartlarına göre otomatik çelik ve beton tasarım kodu kontrolleri ile rüzgar, dalga, köprü ve sismik yükleri otomatik olarak üretmek için kullanılabilir. OAPI ile çalışmanın konusu olan sismik izolatör ve viskoz sönüm duvarların mekanik özellikleri değiştirilebilir, tamamen kaldırılabilir ya da analiz sonuçları geri çağırılabilir. Ayrıca yardımcı programda oluşturulan kodlar yardımı ile tekrarlı çözümler yapılabilir. Bu özellikleri ile OAPI'nin bu çalışmada kullanılması uygun görülmüştür.

### **3.12. Kullanılan Yer İvme Kayıtları**

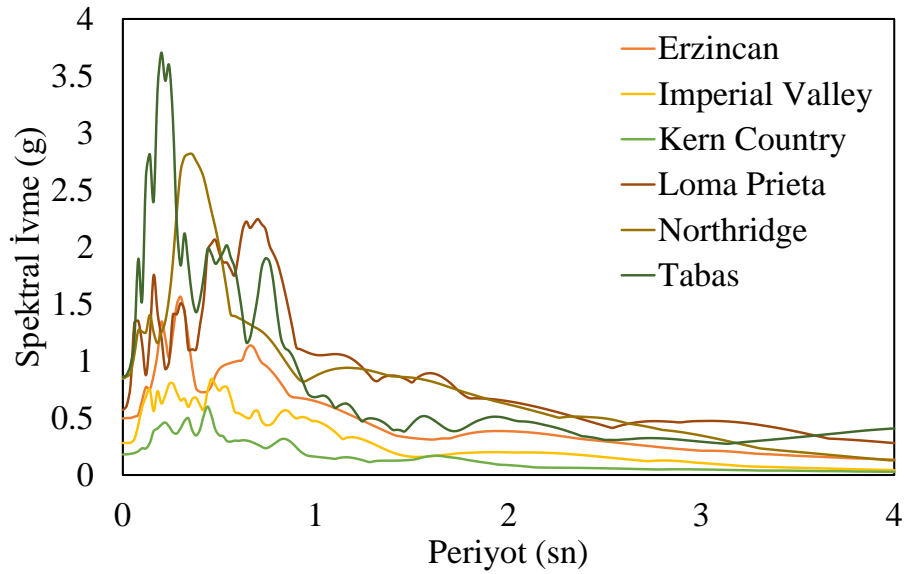
Bu çalışmada, iki farklı deprem kayıt seti kullanılmıştır. İlk deprem kayıt seti 6 adet deprem yer hareketi ivme kaydından oluşmaktadır. Bu ivme kayıtlarının seçilmesinin temel nedeni, Niğdeli vd. (2014) tarafından daha önce yapılmış olan çalışmanın sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları karşılaştırılarak, yapılacak optimizasyon çalışmasının doğruluğunun ortaya konulmasıdır. Bu ilk set ivme kaydı, doğrusal ve doğrusal olmayan sismik izolasyon sistemlerinin optimizasyonunda kullanılmıştır. İkinci set ise Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018)'in deprem kaydı seçimi kriterleri dikkate alınarak 11 deprem kaydından oluşmakta ve viskoz sönüm duvarını yerleşiminin optimizasyonunda kullanılmıştır. Bu depremlerin seçimi ve ölçeklendirilmesi TBDY 2018'deki kriterlere uygun şekilde yapılmıştır. Deprem kayıtları, PEER (Peer Strong Motion Databank) deprem kayıt merkezinin internet sitesinden alınmıştır (PEER, 2019).

### 3.12.1. Sismik İzolasyon Sistemlerinin Optimizasyonu için Kullanılan İvme Kayıtları

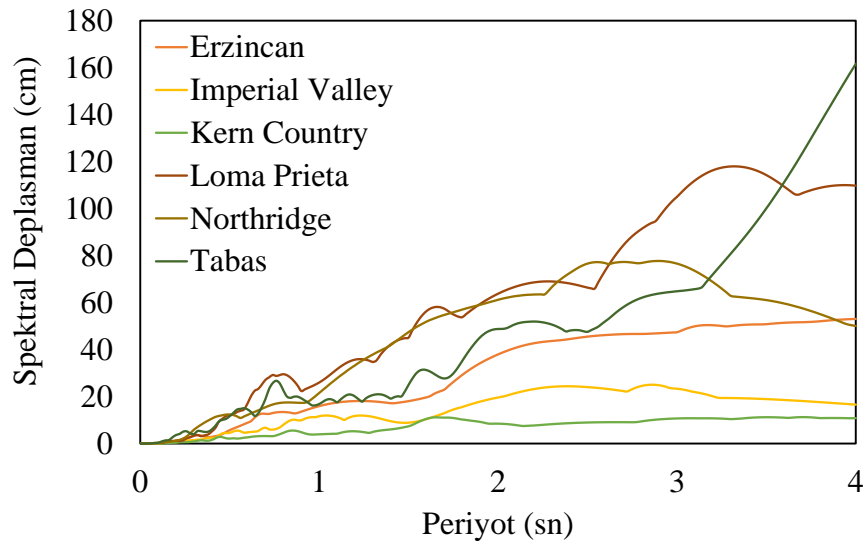
Sismik izolatör tasarımında kullanılan ilk deprem kaydı setinde kullanılan ivme kayıtlarının yerleri, kayıt kodları, tarihleri, fa0ya olan uzaklıkları, pik yer ivmeleri (PGA), pik yer hızları (PGV) ve pik yer değiştirmeleri (PGD) Çizelge 3.2’de verilmiştir. Bu deprem kayıtlarına ait spektral ivme ve spektral deplasman grafikleri %5 sönüm için sırayla Şekil 3.23 ve 3.24’te verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Sismik izolasyon sistemlerinin optimizasyonunda kullanılan deprem kayıtlarına ait özellikler (PEER 2019).

Deprem	Tarih	İstasyon	Mekanizma	Mag (Mw)	Rjb (km)	Kayıt Kodu	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Imperial Valley	1940	117 El Centro Array #9	Doğrultu Atımlı	6.95	6.09	I-ELC180	0.281	30.9	8.66
Kern Country	1952	1095 Taft Lincoln School	Ters	7.36	38.42	TAFT111	0.180	18.6	9.35
Tabas	1978	9101 Tabas	Ters	7.35	1.79	TAB-TR	0.861	123.4	93.6
Loma Prieta	1989	16 LGPC	Ters Verev	6.93	0	LGP000	0.570	96.1	41.90
Erzincan	1992	95 Erzincan	Doğrultu Atımlı	6.69	0	ERZ-EW	0.496	78.2	28.04
Northridge	1994	24514 Sylmar OliveView Med FF	Ters	6.69	1.74	SYL360	0.843	129.4	32.14

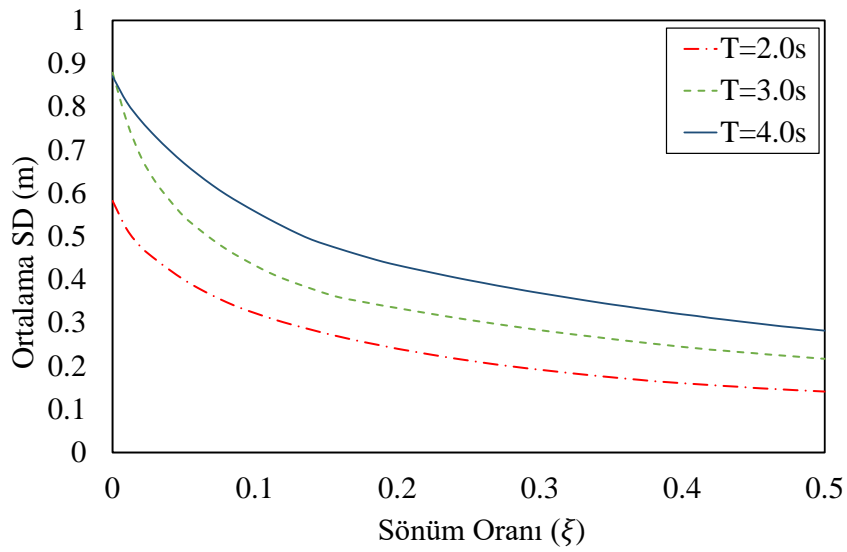


**Şekil 3.23.** Sismik izolasyon sistemlerinin optimizasyonunda kullanılan deprem kayıtlarına ait %5 sönümlü ivme spektrumları (PEER 2019).

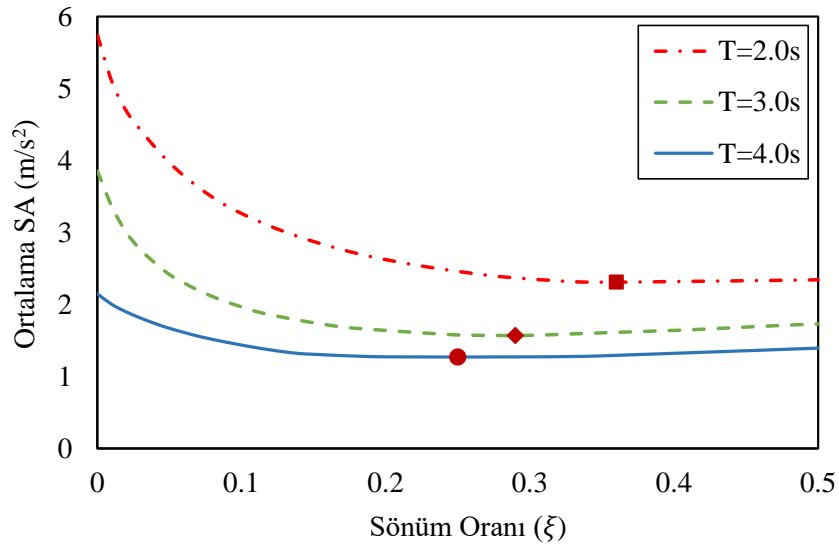


**Şekil 3.24.** Sismik izolasyon sistemlerinin optimizasyonunda kullanılan deprem kayıtlarına ait %5 sönümlü deplasman spektrumları (PEER 2019).

Şekil 3.23 ve 3.24'te sunulan 6 adet ivme kaydının ivme ve deplasman spektrumlarının spektral koordinatlarının sönüm oranına göre ortalama değerleri üç farklı periyot değeri için Şekil 3.25 ve 3.26'da verilmiştir.



**Şekil 3.25.** Farklı izolasyon periyotlarına göre ortalama deplasman spektrumlarının (SD) sönüm oranına göre değişimi.



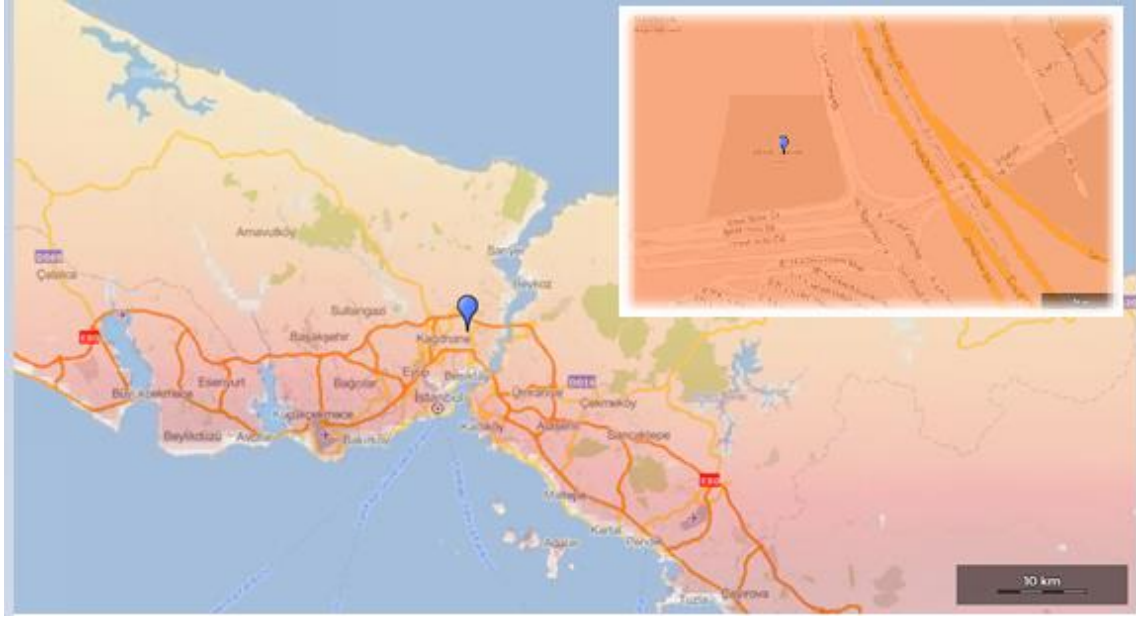
**Şekil 3.26.** Farklı izolasyon periyotlarına göre ortalama ivme spektrumlarının (SA) sönüm oranına göre değişimi.

Seçilen yer hareketlerinin spektral grafiklerine ek olarak, çeşitli sönümleme oranlarına göre spektral ivme ve yer değiştirmelerin değişimi, 2.0s, 3.0s ve 4.0s izolasyon periyotları için Şekil 3.25 ve 3.26'da sunulmuştur. Ortalama spektral deplasmanların artan sismik izolasyon periyoduyla birlikte arttığı, spektral ivmelerin ise tam tersine azaldığı görülmektedir. Bu değişim sınırlı bir izolasyon deplasmanı ile birlikte minimum yapısal ivmenin elde edilmesi için optimum bir izolasyon periyodunun ve sönüm oranının

belirlenmesi gerektiğini açıkça göstermektedir. Her ne kadar spektral deplasman değerleri daha yüksek sönümleme oranlarıyla önemli ölçüde azalsa da, minimum spektral ivme değerleri, Şekil 3.26'da kırmızı işaretlerle belirtildiği gibi belirli bir sönüm oranı değerinde minimum değere ulaşmaktadır. Bu durum sınırlı bir izolasyon deplasmanı ile birlikte minimum yapısal ivmenin elde edilmesi için optimum bir izolasyon periyodunun belirlenmesi gerektiğini açıkça göstermektedir. Şekil 3.26'da görüldüğü gibi, ortalama minimum spektral ivmeler, 0.2-0.4 sönüm oranı aralığında minimum değere ulaşmaktadır. Bu nedenle, belirtilen izolasyon deplasman limitlerini karşılayan minimum yapısal ivmenin elde edilmesi için bir optimizasyon işleminin gerçekleştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

### **3.12.2. Viskoz Sönüm Duvarlarının Optimizasyonu için Kullanılan İvme Kayıtları**

Viskoz sönüm duvarı yerleşim optimizasyonu için Etabs programında zaman-tanım alanında analizler yapılmıştır. Analiz için TBDY 2018'e uygun şekilde ivme kayıtları seçilerek ölçeklenmiştir. TBDY 2018'e göre ivme kaydı ölçeklemek için öncelikle tasarım spektrumunun belirlenmesi gereklidir. Tasarım spektrumunu belirlemek için de yapı konumu kullanılmaktadır. Bu çalışmada tasarım spektrumunu belirlemek için örnek olarak kullanılan konum; İstanbul İli, Kağıthane İlçesi, Çeliktepe Mahallesiinde belirlenen bir konumdur (Şekil 3.27). Örnek konumun zemin sınıfı, orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları (ZD) ve deprem yer hareketi düzeyi, 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD-1) seçilmiştir. Örnek konumun koordinatı 41.084983 derece kuzey enlemiyle 29.006575 derece doğu boylamıdır. Koordinatlar yardımı ile AFAD'ın internet uygulaması olan Türkiye Deprem Tehlike Haritasından tasarım spektrumunu alınmıştır (AFAD, 2019).



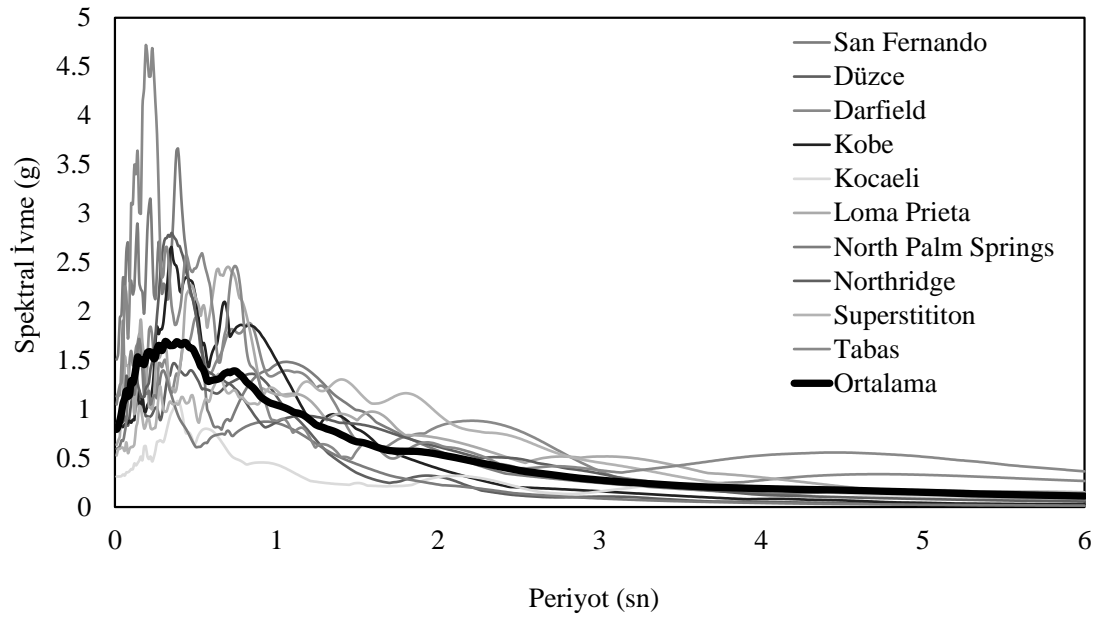
**Şekil 3.27.** Viskoz sönüm duvarı yerleşim optimizasyonunda kullanılan örnek yapı konumu (AFAD, 2019).

Viskoz sönüm duvarı yerleşim optimizasyonunda kullanılan TBDY 2018'e uygun seçilip ölçeklenmiş ikinci deprem kayıtlarının yerleri, kayıt kodları, tarihleri, faya olan uzaklıkları, pik yer ivmeleri (PGA), pik yer hızları (PGV), pik yer ötelemeleri (PGD) ve ölçek katsayıları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

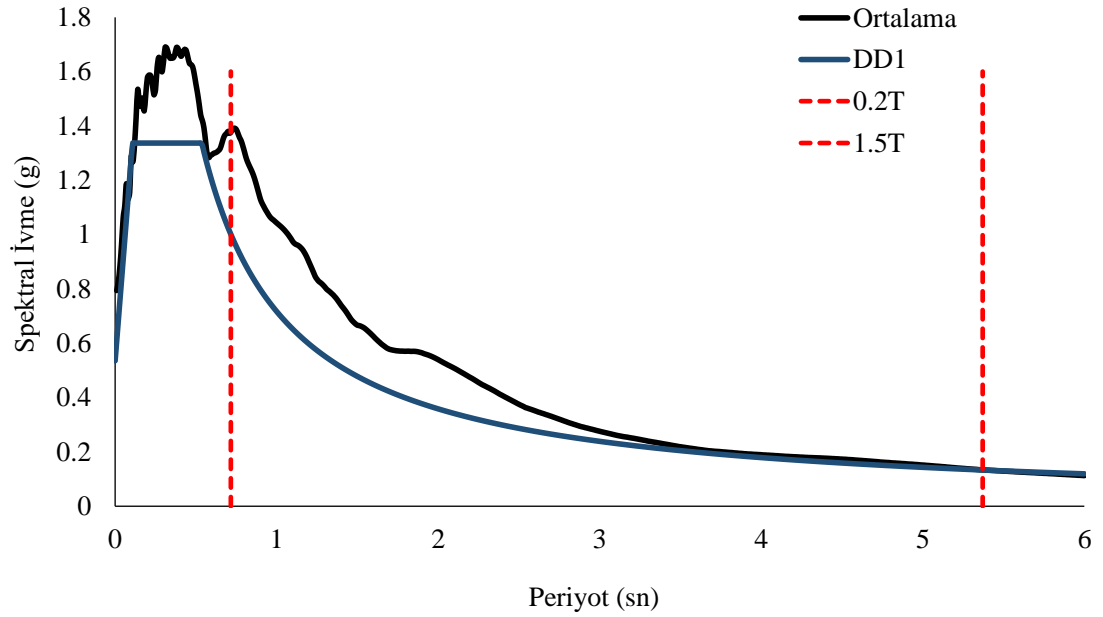
**Çizelge 3.3.** Viskoz sönüm duvarı yerleşimi optimizasyonunda kullanılan deprem kayıtlarına ait özellikler ve kullanılan ölçek katsayıları (PEER 2019).

Deprem	Tarih	İstasyon	Mekanizma	Mag (Mw)	Rjb (km)	Kayıt Kodu	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Ölçek
Düzce	1999	Bolu	Doğrultu Atımlı	7.14	12.02	BOL090	0.806	65.9	13.1	1.2
Kocaeli	1999	Düzce	Doğrultu Atımlı	7.51	13.6	DZC180	0.312	58.9	44.1	1.3
Superstition	1987	Parachute Test Site	Doğrultu Atımlı	6.54	0.95	PTS225	0.432	134.3	46.2	1.3
Kobe	1995	KJMA	Doğrultu Atımlı	6.9	0.94	KJM000	0.821	81.3	17.7	1.3
San Fernando	1971	Pacoima Dam	Ters	6.61	0	PUL164	1.226	112.5	35.4	1.0
Darfield	2010	GDLC	Doğrultu Atımlı	7.0	1.2	GDLCN55W	0.765	116.1	100.4	1.1
N. Palm Springs	1986	North Palm Springs	Ters Verev	6.06	0	NPS210	0.595	73.2	11.5	1.1
Tabas	1978	9101 Tabas	Ters	7.35	1.79	TAB-TR	0.861	123.4	93.6	1.3
Loma Prieta	1989	16 LGPC	Ters Verev	6.93	0	LGP000	0.570	96.1	41.9	1.3
Erzincan	1992	95 Erzincan	Doğrultu Atımlı	6.69	0	ERZ-EW	0.496	78.2	28.0	1.0
Northridge	1994	24514 Sylmar OliveView Med FF	Ters	6.69	1.74	SYL360	0.843	129.4	32.1	1.3

Çizelge 3.3'te sunulan ivme kayıtlarına ait ölçekli spektral ivme grafikleri ve ortalamaları Şekil 3.28'de verilmiştir. Ölçekleme işlemi için öncelikle 15 katlı yapının viskoz sönüm duvarsız hali Etabs programında modellenerek modal analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda yapı hakim periyodu 3.58 saniye olarak belirlenmiştir. TBDY 2018'e göre ölçeklenen ivme kayıtlarının ortalama spektral ivme değerleri, yapı hakim periyodunun 0.2 katı ile 1.5 katı periyot değerleri arasında tasarım spektrumundan büyük olmamalıdır. Bu yaklaşımla Şekil 3.29'daki grafik göz önüne alınarak ölçek katsayıları belirlenmiştir.



**Şekil 3.28.** Viskoz sönüm duvarı yerleşimi optimizasyonunda kullanılan ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının %5 sönüm için spektral ivme grafikleri.



**Şekil 3.29.** Viskoz sönüm duvarı yerleşimi optimizasyonunda kullanılan ölçeklendirilmiş spektral ivme grafiği ve DD1 deprem yer hareketi düzeyi için tasarım spektrumu.

### 3.13. Sismik İzolasyon Sistemlerinin Doğrusal Hesaba Göre Optimizasyonu için Önerilen Yöntem

Çalışma kapsamında Bölüm 3.1 ve 3.2’de özellikleri verilen kayma çerçevesi ve köprü ayağı modellerinin sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesaba göre optimizasyonu için önerilen yöntem bu bölümde sunulmuştur.

Sismik izolasyon sistemlerinin doğrusal hesabı için Bölüm 1’de verilen Eşitlik 1.1 ve 1.2 kullanılmaktadır. Bu eşitlikler incelendiğinde yapı kütlesi sabit olduğunda hesaplanması gereken iki parametre vardır. Bu parametreler eşdeğer izolasyon periyodu ( $T_0$ ) ve izolasyon sisteminin viskoz sönüm oranı ( $\xi_0$ ) değerleridir. Çalışma kapsamında bu iki değer belirlenen limitler içinde sınırlandırılarak optimum değerlerinin bulunması hedeflenmektedir. Eşitlik 3.33’te  $\vec{X}$  ile çalışmanın amaç fonksiyonu gösterilmiştir.

$$\vec{X} = (T_0, \xi_0) \quad (3.33)$$

6 farklı deprem ivme kaydının kullanıldığı zaman tanım alanında analizler yapmak amacıyla analizler SAP2000 programında gerçekleştirilmiştir. Ancak SAP2000 programında optimize edilecek parametreler doğrudan giriş yapılamamaktadır. SAP2000 programında doğrusal izolasyon tanımlamak için 2 parametre girilmesi gerekmektedir. Bu parametreler, izolasyon sisteminin rijitliği ( $k_0$ ) ve izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısı ( $c_0$ ) değerleridir. Bu değerler de Bölüm 1’de verilen Eşitlik 1.1 ve 1.2 kullanılarak hesaplanmakta ve SAP2000’e gönderilmektedir. Önerilen yöntemde temel amaç, yapı ivmesini minimize edecek sismik izolasyon parametrelerinin belirlenmesi olduğu için SAP2000’den kayma çerçevesi modeli için çatı katı ivmesi (peak roof acceleration-*PRA*) ve köprü ayağı modeli için köprü üst yapı ivmesi (peak superstructure acceleration-*PSA*) değerleri optimizasyonun amaç fonksiyonundaki parametreleri belirlemek üzere geri çağırılmaktadır.

Eşitlik 3.33’te bulunan amaç fonksiyonu değerlerini bulabilmek için kayma çerçevesi modeli için *PRA* ve köprü ayağı modeli için *PSA* değerlerini minimize eden fonksiyon Eşitlik 3.34’te verilmiştir.

$$f = PRA \text{ veya } f = PSA \quad (3.34)$$

Ancak *PRA*'yı ya da *PSA*'yı minimize ederken izolasyon katında yüksek deplasman talebi oluşmaktadır ve bu deplasmanın gerek izolatörün gerekse yapının fiziki koşulları ve stabilitenin sağlanması için sınırlanması gerekmedir. Bu sebeple SAP2000'den izolasyon deplasmanı ( $d_0$ ) sonuçları geri çağırılmaktadır. Bu sınırlama Eşitlik 3.35'te verilmiştir.

$$d_0 \leq d_{limit} \quad (3.35)$$

burada  $d_0$  hesaplanan izolasyon deplasmanı iken  $d_{limit}$  belirlenen limit izolasyon deplasmanıdır. Hesaplanan  $d_0$  belirlenen  $d_{limit}$  değerini aşarsa Eşitlik 3.34'te verilen optimum izolasyon parametrelerini bulmak için minimize edilen  $f$  fonksiyonu, bir penaltı fonksiyonu ile cezalandırılmaktadır.

Penaltı fonksiyonları, kısıtlı optimizasyon problemlerinde kısıt dışına çıkan değerlerin cezalandırılması için kullanılan bir fonksiyondur. Penaltı fonksiyonları, amaç fonksiyonlarına eklenerek probleme tanımlanan kısıtların dışına çıkıldığında amaç fonksiyonu değerini minimum çözümler için değerleri küçültürken, maksimum çözümler için değerleri büyütürler. Bu sayede kısıtlar içindeki uygun değerler iterasyonlarda en iyi çözümler olarak seçilirler.

Penaltı fonksiyonları, farklı algoritmalar için farklı tipte olabilirler. Çok büyük verilen bir ceza puanı kısıtları az miktarda geçen bir çözümü çok kötü olarak tanımlayarak en iyi çözümün bulunmasını uzatabilir ya da çok küçük verilen ceza puanı, en uygun çözüm yerine cezalı bir sonucu uygun çözüm olarak gösterebilir.

Bu çalışmada penaltı fonksiyonu benzer bir çalışmadan (Kaveh ve Zakian, 2018) alınarak kullanılmıştır. Kullanılan penaltı fonksiyonu Eşitlik 3.36'da verilmiştir.

$$f_{penalti} = \left(1 + \kappa_1 \cdot \frac{d_0}{d_{limit}}\right)^{\kappa_2} \quad (3.36)$$

burada,  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  sayıları sırasıyla 1 ve 2 olarak alınmıştır.

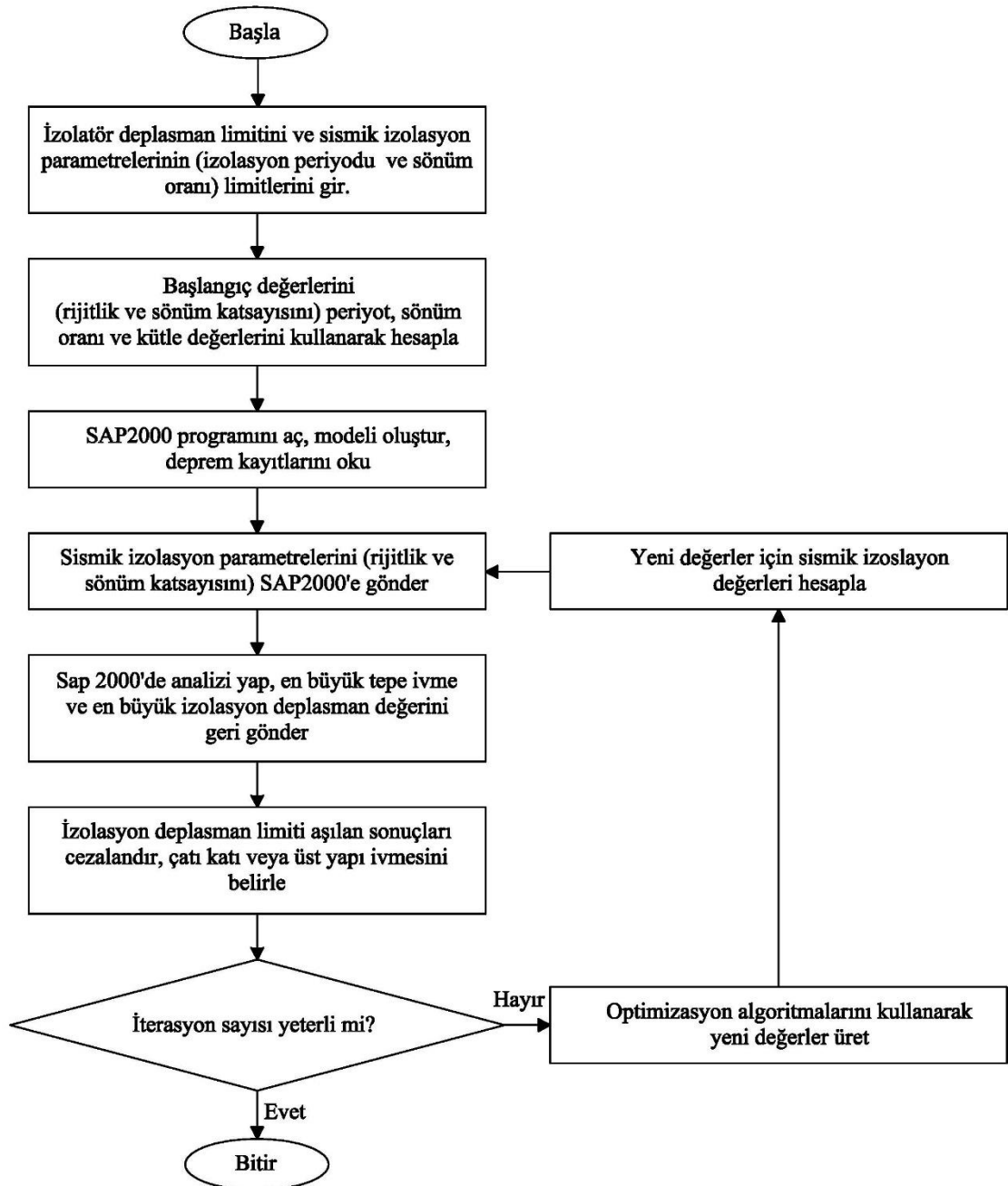
Kayma çerçevesi ve köprü ayağı için penaltı fonksiyonu kullanılarak oluşturulan yeni fonksiyonlar Eşitlik 3.37'de sunulmuştur.

$$f_o = PRA \cdot f_{penalti} \text{ veya } f_o = PSA \cdot f_{penalti} \quad (3.37)$$

Özetle optimizasyon parametreleri izleyen maddelerle açıklanabilir.

- Amaç fonksiyonu: Optimum  $T_0$  ve  $\xi_0$  parametrelerinin bulunması
- Optimizasyon koşulu: Optimum  $T_0$  ve  $\xi_0$  değerlerini bulmak için *PRA* veya *PSA*'nın minimize edilmesi
- Sınır koşulu:  $d_0 \leq d_{limit}$

Sismik izolasyon sistemlerinin parametrelerinin doğrusal hesabı için önerilen optimizasyonu yönteminin algoritması Şekil 3.30'da verilmiştir.



**Şekil 3.30.** Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesabı için önerilen yöntemin algoritması.

### 3.14. Doğrusal Olmayan İzolasyon Sistemlerinin Optimizasyonu için Önerilen Yöntem

Çalışma kapsamında Bölüm 3.2’de özellikleri verilen köprü ayağı modelinin sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal olmayan hesaba göre optimizasyonu için önerilen yöntem bu bölümde sunulmuştur.

Doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinin hesabı için Bölüm 1’de verilen 1.5-1.10 Eşitlikleri kullanılmaktadır. Önerilen yöntemde optimize edilmesi gereken iki parametre vardır. Bu parametreler  $Q/W$  ve izolasyon periyodu ( $T_0$ ) parametreleridir. Bu parametreler kullanılarak izolasyon sistemi tasarlanabilmektedir. Bu sebeple de çalışmanın amaç fonksiyonu bu iki parametreyi belirlemektir:

$$\vec{X} = (T_0, Q/W) \quad (3.38)$$

Doğrusal sismik izolasyon sistemlerinin parametrelerinin optimizasyonu için kullanılan yöntemde benzer şekilde bu yöntemde de yapısal analizler için SAP2000 programından yararlanılmıştır. Ancak SAP2000’de doğrusal olmayan sismik izolasyon sistemlerin tanımlanması için doğrusal sistemlere göre 3 farklı parametre girilmesi gerekmektedir. Bu parametreler akma dayanımı ( $F_y$ ), akma öncesi rijitlik ( $k_e$ ) ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ( $R$ ) değerleridir. Bu değerlerin SAP2000’e gönderilmesi için izleyen işlem basamakları kullanılmıştır;

- Öncelikle akma sonrası rijitlik ( $k_d$ )’yi bulmak için Eşitlik 1.8 kullanılmıştır. Eşitlik 1.8’de  $W$  yapı kütlelerini ve  $T_0$  optimizasyon değişkenini göstermektedir. Bu iki değer bilindiğinden akma sonrası rijitlik ( $k_d$ ) hesaplanmaktadır.

- $Q/W$  optimizasyon değişkeni olduğundan ve bilindiğinden  $Q$  değeri hesaplanır.

- Çalışma kapsamında akma deplasman değeri ( $U_y$ ) önceki çalışmalar referans verilerek sabit bir değer alınmıştır. Bu çalışma kapsamında,  $U_y$ ’nin optimizasyona etkisini irdeleyebilmek için Bölüm 1.4’te tanımlanan 2 farklı  $U_y$  değeri kullanılmıştır. Bu değer kullanılarak Eşitlik 1.5 ile akma öncesi rijitlik ( $k_e$ ) hesaplanır.

- Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ( $R$ ) parametresini vermektedir.

Optimizasyon parametreleri olan  $Q/W$  ve izolasyon periyodu ( $T_0$ ) parametreleri kullanılarak hesaplanan akma dayanımı ( $F_y$ ), akma sonrası rijitlik ( $k_d$ ) ve akma sonrası rijitliğin ( $k_d$ ) akma öncesi rijitliğe ( $k_e$ ) oranı ( $R$ ) parametreleri SAP2000’e gönderildikten sonra Bölüm 3’te verilen ilk set 6 deprem kaydı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılır. Analizlerden sonra amaç fonksiyonunda kullanılmak için üst yapı ivmesi ve deplasman limitlerinde kullanılmak için izolasyon deplasmanı ( $d_0$ ) geri çağırılır.

Önerilen yöntemde, Eşitlik 3.38'de bulunan amaç fonksiyonu değerlerini bulabilmek için köprü ayağı modeli için  $PSA$  değerini minimize eden fonksiyon Eşitlik 3.39'da verilmiştir.

$$f = PSA \quad (3.39)$$

- Efektif rijitlik ( $k_{eff}$ ) değeri Eşitlik 1.7 ile hesaplanır. Bu eşitlikte izolasyon sistem deplasmanı  $U$  yerine izolasyon deplasmanı ( $d_0$ ) kullanılır.
- Efektif sönüm oranı ( $B_{eff}$ ) Eşitlik 1.9 ile hesaplanır.

Hesaplanan efektif sönüm oranı ( $B_{eff}$ ) için ve izolasyon deplasmanının ( $d_0$ ) önceden belirlenen limitler içinde olup olmadığı kontrol edilir. Limit dışındaki çözümleri için izolasyon deplasmanının ( $d_0$ ) penaltı fonksiyonuna girerek amaç fonksiyonunda kullanılır.

Önerilen yöntemin, penaltı fonksiyonu ve limiti 3.35 ve 3.36 Eşitliklerinde verilen doğrusal hesap yöntemi için önerilen yöntem ile aynıdır. Ancak doğrusal olmayan hesap yönteminde Eşitlik 3.40'da verilen ek bir sönüm oranı limiti bulunmaktadır.

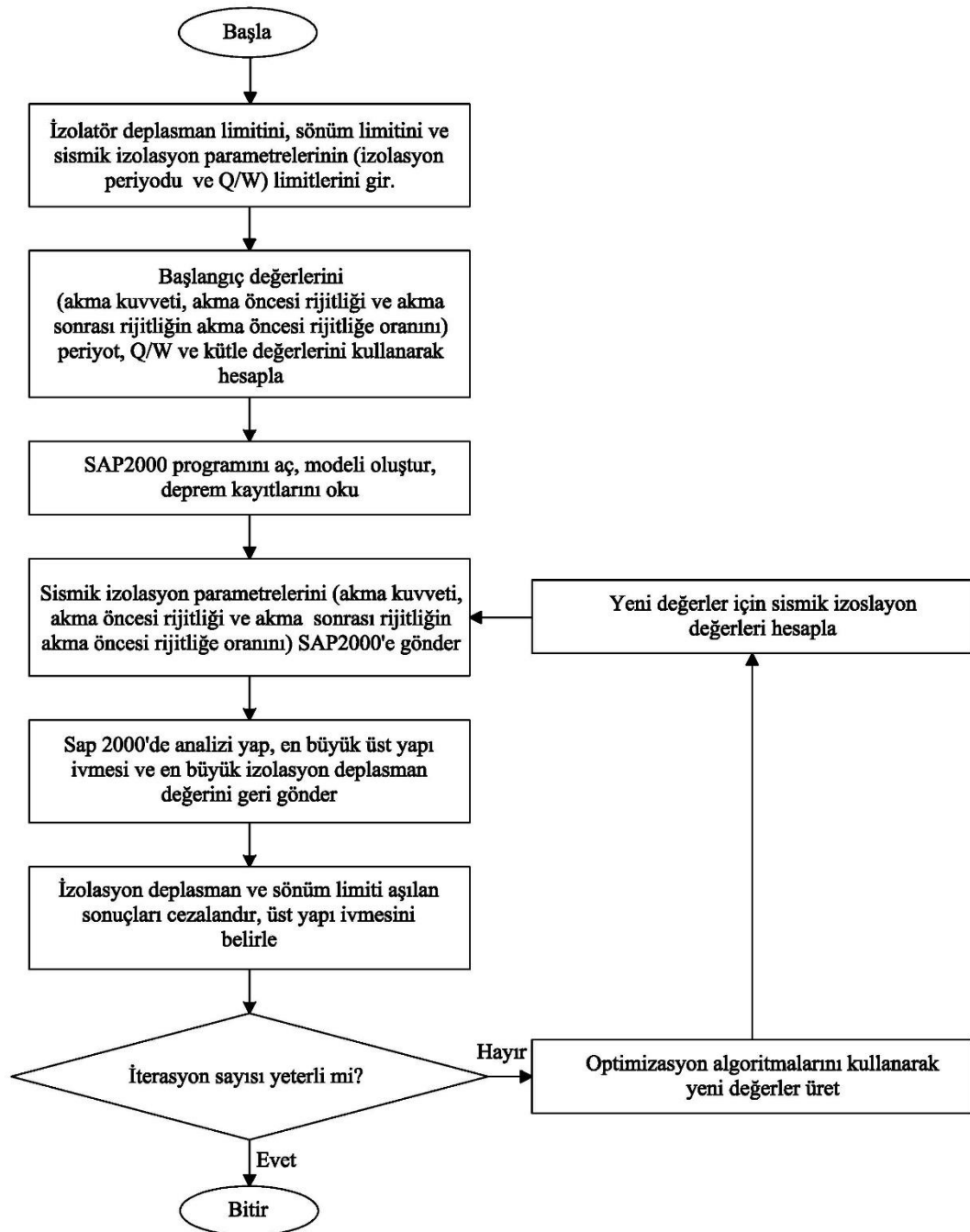
$$\xi_{alt\ limit} \leq \xi_0 \leq \xi_{üst\ limit} \quad (3.40)$$

Burada  $\xi_0$  Eşitlik 1.9'da hesaplanan izolasyon sistem sönüm değeri ( $B_{eff}$ ) ile aynı değerdir.

Özetle optimizasyon parametreleri izleyen maddelerle açıklanabilir.

- Amaç fonksiyonu: Optimum  $T_0$  ve  $Q/W$  değerlerinin bulunması
- Optimizasyon koşulları: Optimum  $T_0$  ve  $Q/W$  değerlerini bulmak için  $PSA$ 'nın minimize edilmesi
- Sınır koşulları:  $d_0 < d_{limit}$  ve  $\xi_{alt\ limit} \leq \xi_0 \leq \xi_{üst\ limit}$

Sismik izolasyon sistemlerinin parametrelerinin doğrusal olmayan hesabı için önerilen optimizasyon yönteminin algoritması Şekil 3.31'de verilmiştir.



**Şekil 3.31.** Sismik izolasyon sistemlerinin parametrelerinin doğrusal olmayan hesabı için önerilen optimizasyon yönteminin algoritması.

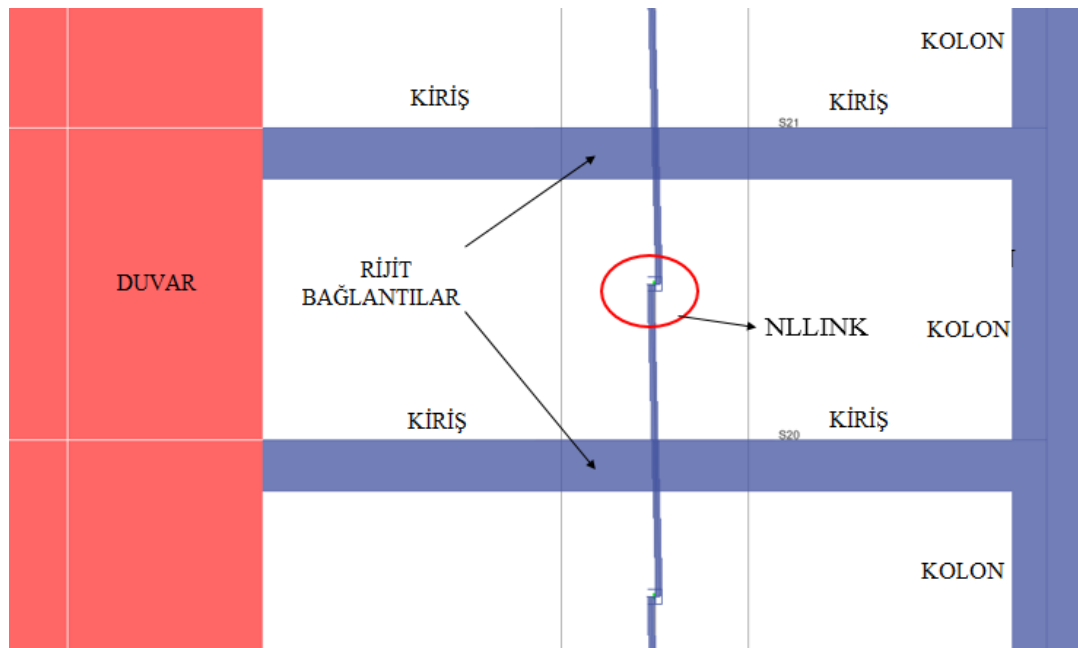
Önerilen yöntemle 1. bölümde bahsedilen geleneksel sismik izolasyon tasarımındaki gibi sadece başlangıçta izolator parametrelerini bir varsayımla alıp, yapı tepkilerine göre başlangıçta varsayımla alınan parametrelere yakınsama yaklaşımı kabul edilmiştir. Geleneksel tasarımda sadece izolasyon deplasmanı değerlendirilirken önerilen

yöntemde yapı ivmesini en aza indiren izolasyon sönümünün hesaba katıldığı bir tasarım bulunmaktadır.

### 3.15. Viskoz Kuvvet Duvarı Optimizasyonu için Önerilen Yöntem

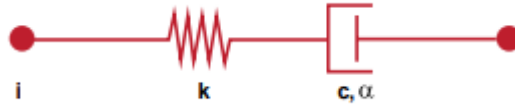
Viskoz sönüm duvarlarının çeşitli tasarım metotları vardır. Bu çalışmada Dynamic Isolation Systems Inc. tarafından kullanılan Şekil 1.15'teki 15 katlı hastane yapısının da tasarımının yapıldığı Etabs programının kullanıldığı metot kullanılmıştır (Dynamic Isolation Systems, 2019).

Bu metotta, yapı açıklıklarında kirişler arasına rijit elemanlar yerleştirilmiştir. Bu elemanların tam ortasına 0.1 m boşluklar bırakılır. Bu boşluklara Etabs programında NLLINK elemanlarından “Üstel Maxwell sönümleyici” olarak tanımlanmış elemanlar tanımlanmıştır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Viskoz sönüm duvarın yapıya şematik olarak yerleşimi.

Bağlantı noktaları Şekil 3.33'teki gibi doğrusal bir yay ( $k$ ) ve özellikleri ( $c$ ) ve ( $\alpha$ ) olan bir pistonun seri bağlanması ile modellenir (Dilsiz vd., 2018).

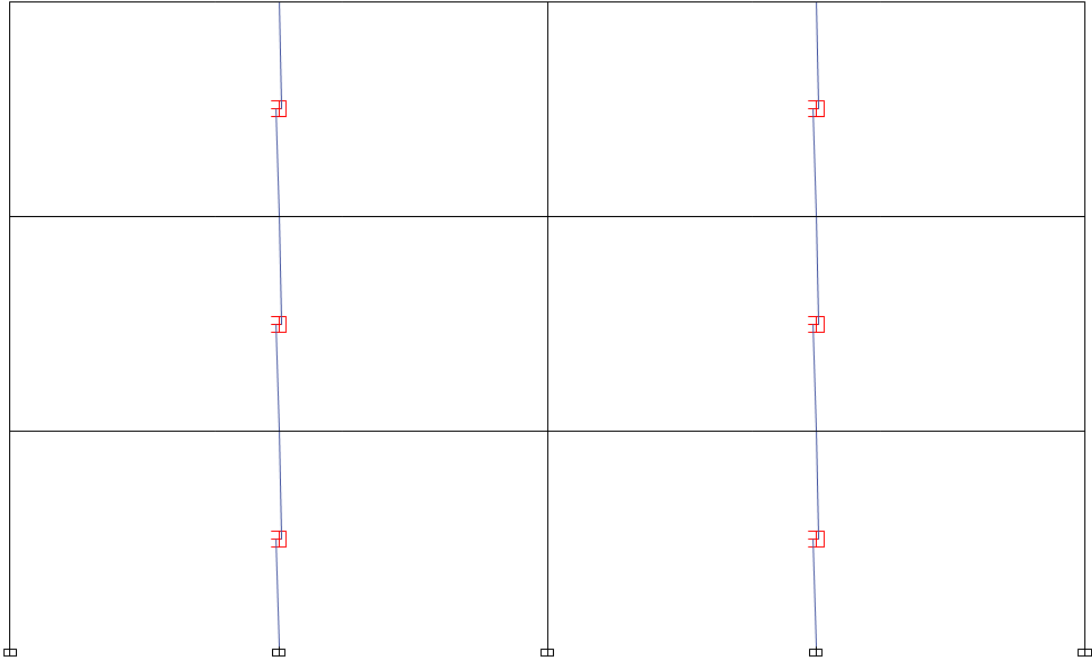


**Şekil 3.33.** Viskoz sönüm duvarın analitik modelinin şematik gösterimi.

Şekil 3.33'teki gibi modellenen elemanın kuvvet-hız ilişkisi, Eşitlik 3.41 ile tanımlanır.

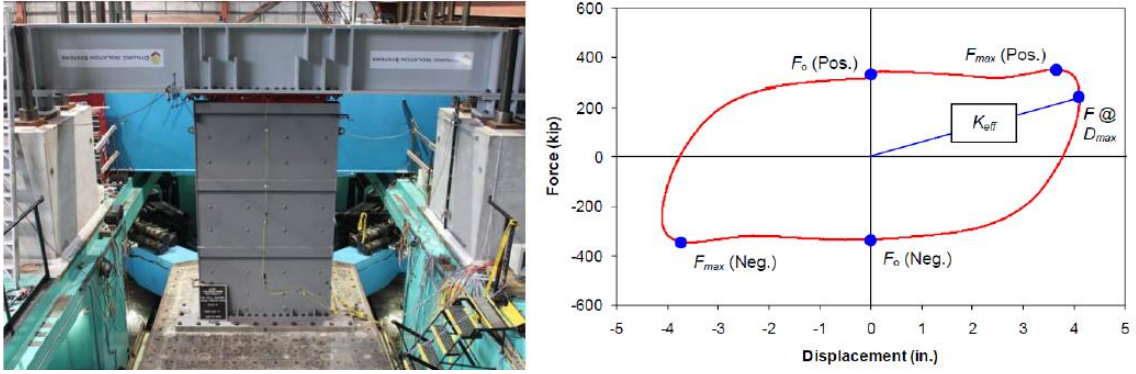
$$F = C V^a \quad (3.41)$$

Burada,  $V$  depremin sönüm elemanında oluşturduğu hızı temsil etmektedir. Şekil 3.34'te viskoz sönüm duvarın küçük bir model üzerinde yerleşimi görülmektedir.



**Şekil 3.34.** Viskoz sönümleme duvarı yerleşiminin şematik gösterimi.

Şekil 3.35'te Kaliforniya Üniversitesi'nde deneyi yapılan bir viskoz sönümleme duvarı ve kuvvet-deplasman grafiği verilmiştir. Grafikte efektif rijitlik ( $K_{eff}$ ), en büyük kuvvet ve en büyük deplasman değerleri görülmektedir.



**Şekil 3.35.** Kaliforniya Üniversitesi'nde deneyi yapılan viskoz sönümlenme duvarının kuvvet-deplasman grafiği (Dynamic Isolation Systems, 2019).

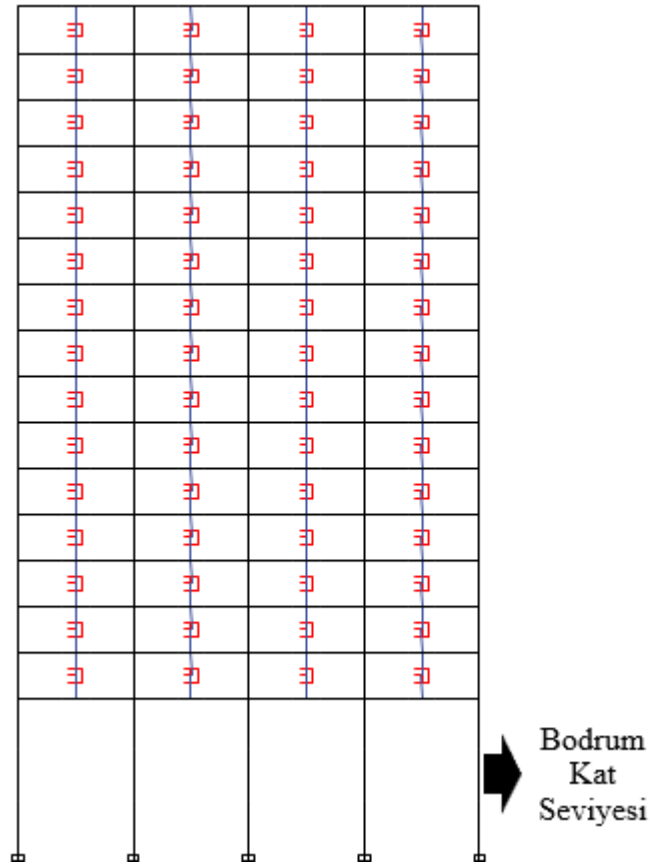
Viskoz sönüm duvarlarının Şekil 1.15'teki gibi bir hastane yapısında kullanılması gelecekte de pek çok yapıda kullanılmasının önünü açmıştır. Yapılmış birçok çalışmada viskoz sönüm duvarlarının depreme dayanıklı tasarımda avantajları ortaya konulmuştur. Faydalarının yanında maliyeti göz önüne alındığında yapıya yerleştirilecek viskoz sönüm duvarı sayısının azaltılması da önemli bir çalışmadır. Bu çalışmanın temel amacı sezgisel algoritmaları kullanarak, yapı tepkilerini yönetmelik kriterleri doğrultusunda sınırlayarak en az sayıda viskoz sönüm duvarını en uygun pozisyonlara yerleştirebilecek bir yöntem geliştirmektir. Bu amaç doğrultusunda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) göz önüne alınarak, yüksek katlı bir yapıda en az viskoz sönüm duvarı kullanılarak bir tasarım örneği sunulmuştur.

Viskoz sönümlenme duvarlarının yerleşimi, mekanik özellikleri, sayısı ve yerleşim yerleri yapı performansını doğrudan etkilemektedir. Yapılmış çalışmalarda, farklı mekanik özelliklerde viskoz sönüm duvarlarının yapı tepkilerini ne şekilde etkilediği ortaya konulmuştur. Bunun haricinde viskoz sönüm duvarlarının farklı yükseklikteki yapılarda analizleri, sıcaklık tepkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada uygun yapı tepkileri için optimum sayıda kullanılması ve yerleşimi araştırılmıştır. Bu sebeple çalışma kapsamında kullanılan viskoz sönümlenme duvarlarının mekanik özellikleri sabit tutulmuştur. Daha önce deneyler sonucunda bulunmuş ve bir hastane yapısında kullanılmış mekanik özellikler bu çalışmada da viskoz sönüm duvarı mekanik özellikleri olarak tanımlanmıştır (Newell vd., 2011). Deneysel çalışma sonucunda viskoz sönümlenme duvarı mekanik özellikleri şöyledir;

Doğrusal bir yay rijitliği ( $k$ )= 71802 kN/m,

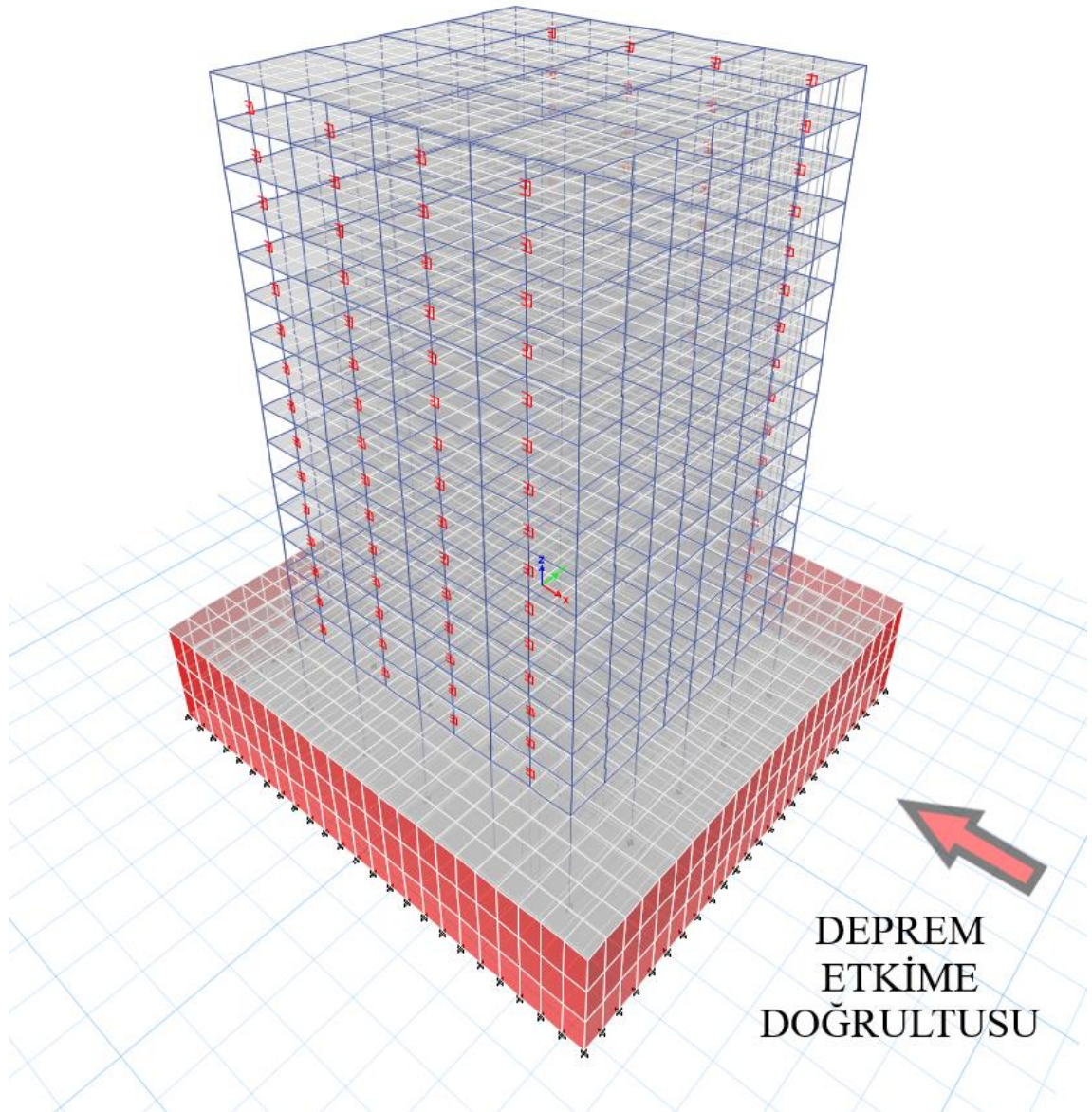
Piston özellikleri; sönüm katsayısı ( $c$ )= 3014.35 kN(sn/m), ve hız üstel katsayısı ( $\alpha$ )= 0.5.

Şekil 3.36'da görüldüğü gibi çalışmada örnek olarak seçilen 15 katlı 4 açıklıklı yapı modelinde binanın bir yüzünde olası 60 adet açıklık vardır. Viskoz sönüm duvarları sadece zemin ve üst katların açıklıklarına yerleştirilecektir. Rijit bodrum perde duvarları ile çevrelenen bodrum katlara yerleştirilmeyecektir. Belirlenen limitler içinde kalarak, viskoz sönüm duvarını açıklıkların kaç tanesine ve hangilerine yerleştirileceğini bulmak oldukça zahmetli bir işlemdir. Bu seçimi yapmak için çalışmada önerilen yöntem yarsa ve yusufçuk sezgisel optimizasyon algoritmalarını kullanmaktadır. 15 katlı yapıda optimum sayıda viskoz sönüm duvarının optimum yerleşimini amaçlayan yapı modeli için yarsa ve yusufçuk sezgisel optimizasyon algoritmalarının ikili (binary) tabanda çalışan versiyonu kullanılmıştır. Bir optimizasyon algoritmasının ikili tabanda çalışması demek rasyonel sayıların bulunmadığı sadece 0 ve 1 değişkenlerinin bulunduğu algoritma anlamına gelmektedir. Bu sebeple sezgisel optimizasyon algoritmalarının ikili tabanda çalışan 15 katlı yapıda viskoz sönümleme duvarı optimizasyonunda kullanılması uygun görülmüştür. Optimizasyon değişkenlerinden 0 yapı açıklığında viskoz sönümleme duvarının bulunmadığını gösterirken 1 bulunduğunu göstermektedir.



**Şekil 3.36.** Binanın bir yüzündeki tüm açıklıklarına yerleştirilmiş viskoz sönümlenme duvarlarının Etabs modeli.

Viskoz sönümlenme duvarlarının optimum sayısı ve yerini belirlemek için analiz süresini göz önüne alarak tek bir doğrultuya yerleşim araştırılmıştır. Yapının planda düzensizliği bulunmaması nedeniyle bu yaklaşım uygundur. Ayrıca sadece karşılıklı iki dış yüzeyde aynı açıklıklara viskoz sönüm duvarı yerleştirilmiş ve viskoz sönüm duvarı uygulaması ile yapıda burulma düzensizliği oluşmaması sağlanmıştır. Şekil 3.37’de deprem doğrultusuna paralel açıklıklara viskoz sönümlenme duvarı yerleştirilmiş örnek modelin 3 boyutlu Etabs modeli görülmektedir. Yapının deprem yönüne paralel diğer yüzeyine de aynı sayıda ve yerleşimde viskoz sönüm duvarı yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.37.** Örnek modelin iki dış yüzünün tüm açıklıklarına yerleştirilmiş viskoz sönümlenme duvarlarının Etabs modeli ve deprem etkime doğrultusu.

Farklı kombinasyonlarda ve farklı sayıda yerleştirilen viskoz sönüm duvarları ile belirlenen limitleri sağlayan yapı tasarımı bir optimizasyon problemidir. Çalışmada, amaç en az sayıda viskoz sönüm duvarını en uygun açıklıklara önceden belirlenen limitler aşılmadan yerleştirmektir. Çalışmanın amaç fonksiyonunu ( $f$ ) gösteren Eşitlik 3.42'de verilmiştir.

$$f = \sum w \quad (3.42)$$

burada  $w$ , viskoz sönüm duvarı sayısını göstermektedir. Limit olarak yapı performansını ve viskoz sönüm duvarı kullanma amacını karşılayacak en büyük görelî kat ötelemeleri ve en büyük kat ivmeleri kullanılmıştır. Bu kısıtlar Eşitlik 3.43 ve 3.44'te verilmiştir.

$$a_{\max} \leq a_{\text{limit}} \quad (3.43)$$

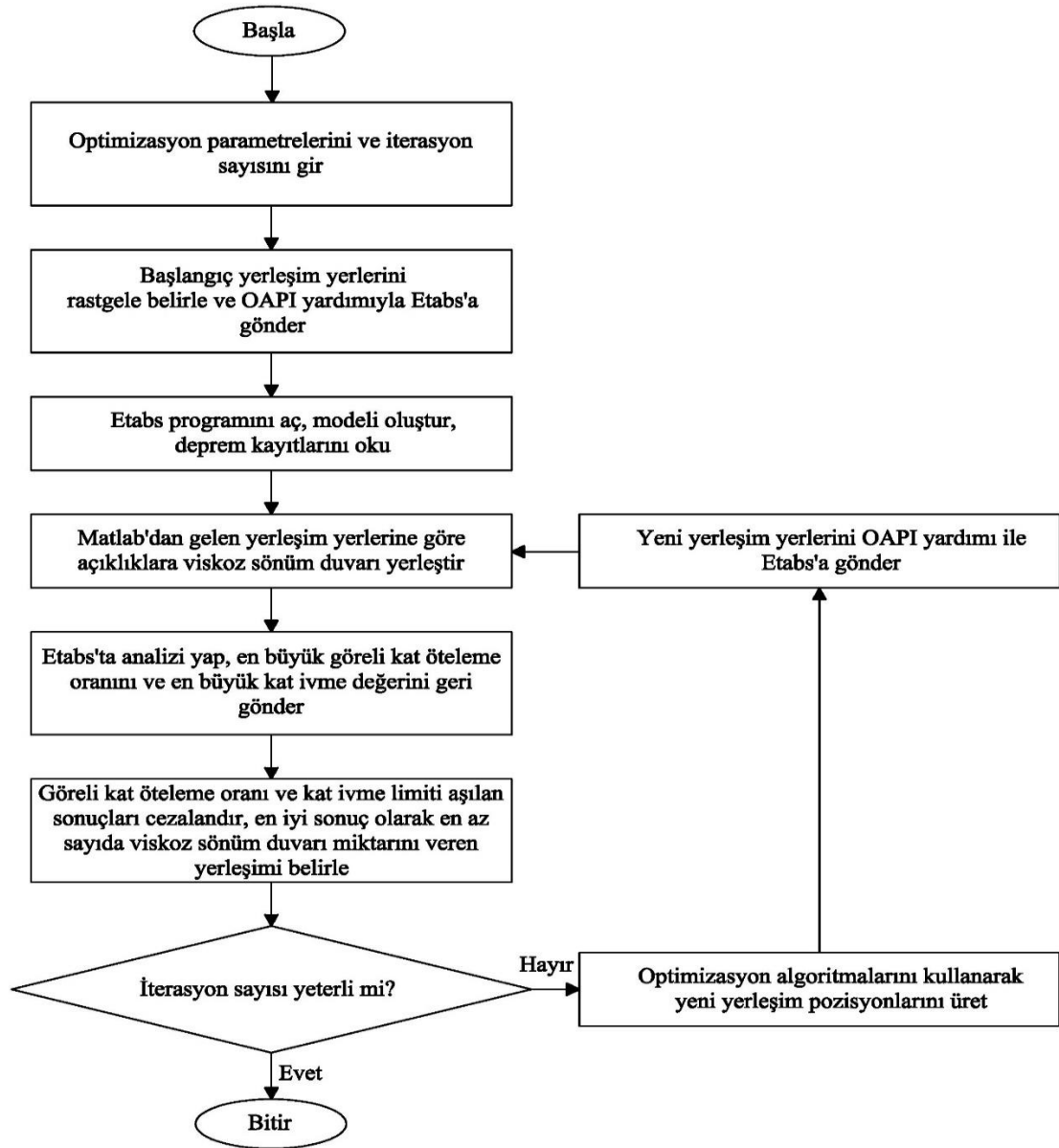
$$s_{\max} \leq s_{\text{limit}} \quad (3.44)$$

burada  $a_{\max}$  15 katta hesaplanan en büyük ivmeyi,  $a_{\text{limit}}$  yapı için belirlenen ivme limitini,  $s_{\max}$  15 katta hesaplanan en büyük katlar arası görelî ötelemeyi belirtirken  $s_{\text{limit}}$  belirlenen katlar arası görelî öteleme limitini göstermektedir. Bu limitlerin sayısal değerleri, çalışma kapsamında ele alınan örnek yapı modeli için Bölüm 4'te verilmiştir. Limitlerin aşılması durumunda amaç fonksiyonu ile çarpılan penaltı fonksiyonu Eşitlik 3.45'te sunulmuştur.

$$f_{\text{penaltı}} = \left(1 + \kappa_1 \cdot \frac{a_{\max}}{a_{\text{limit}}}\right)^{\kappa_2} \quad (3.45)$$

burada  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  sabit birer sayıyı göstermektedir. Bu çalışmada uygunluğu görülen  $\kappa_1$  ve  $\kappa_2$  sayıları sırasıyla 1 ve 2 olarak alınmıştır.

Viskoz sönüm duvarı pozisyon optimizasyonu için önerilen yöntemin algoritması Şekil 3.38'de sunulmuştur.



Şekil 3.38. Viskoz sönüm duvarı optimizasyonu için önerilen yöntemin algoritması

Önceki bölümlerde sunulan pasif kontrol sistemlerinin parametre ve yerleşim optimizasyonu literatürü incelendiğinde sezgisel optimizasyon algoritmalarının kullanıldığı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışma kapsamında yenilikçi sezgisel algoritmalar kullanarak farklı tip yapılar ve pasif kontrol sistemleri, yapı tepkileri göz önüne alınarak doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile optimize edilmiştir. Ayrıca optimizasyon süreci içine yerleştirilen yapısal analiz programları ile önerilen optimizasyon yöntemlerinin farklı model, deprem ve sezgisel algoritmalar için uygulama imkanı oluşturulmuştur.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde önerilen sismik izolasyon yerleştirilmiş 4 katlı kayma çerçevesi ve köprü ayağı modellerinin sismik izolasyon parametreleri ile viskoz sönüm duvarı yerleştirilmiş 15 katlı yapı modelinin optimum yerleşim optimizasyon bulguları ve tartışmalar sunulmuştur. Köprü ayağı modelinin sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal ve doğrusal olmayan hesaplara ve kayma çerçevesi modelinin doğrusal hesaplara göre sonuçları ile 15 katlı yapı modelinin doğrusal olmayan analiz sonuçları bu bölümde tartışılmıştır.

Analizler her bir algoritma (CSA, WOA, GWO, BA, DA) ve model için 25 elemanlı ve 100 iterasyon üzerinden yapılmıştır. Tüm çözümler işlem zamanı göz önüne alınarak üçer defa yapılmış, en iyi sonuçlar sunulmuştur.

Çalışma kapsamında örnek modellerin optimizasyon parametreleri, limitleri ve amaç fonksiyonları Bölüm 3'te açıklanmıştır. Çizelge 4.1'de yapılan analizlerin özet çizelgesi verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Çalışma kapsamında yapılan analizler, optimizasyon parametreleri ve limitler

Model	Çözüm Yöntemi	Sezgisel Algoritma Türü	Amaç	Farklı Limit Sayısı	Optimizasyon Parametreleri	Limitler
4 Katlı Kayma Çerçevesi	Doğrusal	CSA	Minimum (PRA/PGA)	9	$T_0$ ve $\xi_0$	$d_0 \leq d_{limit}$ $\xi_{alt\ limit} \leq \xi_0$ $\leq \xi_{üst\ limit}$
		WOA				
		GWO				
Gerçek Köprü Ayağı	Doğrusal	CSA	Minimum (PSA)	15	$T_0$ ve $\xi_0$	$d_0 \leq d_{limit}$ $\xi_{alt\ limit} \leq \xi_0$ $\leq \xi_{üst\ limit}$
		WOA				
		GWO				
	Doğrusal Olmayan	CSA	12	$T_0$ ve $Q/W$	$d_0 \leq d_{limit}$ $\xi_{alt\ limit} \leq \xi_0$ $\leq \xi_{üst\ limit}$	
		WOA				
		GWO				
15 Katlı Yapı	Doğrusal Olmayan	YA	Minimum VSD adeti	1	Olası 60 adet VSD yerleşim açıklığı	$a_{max} \leq a_{limit}$ $S_{max} \leq S_{limit}$
		DA				

Çizelge 4.1'de sunulan sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal ve doğrusal olmayan optimizasyonu için kullanılan izolasyon periyodu ( $T_0$ ) ve  $Q/W$  oranı tüm

analizler için daha önce yapılmış çalışmalardan referans alınarak sırasıyla 2-4 sn ve 0.03-0.15 arasında alınmıştır (Nigdeli vd., 2014; Ozdemir vd., 2011; Pan vd., 2008). Diğer parametreler modele ve hesap yöntemine göre değişiklik gösterdiğinden izleyen bölümlerde verilmiştir.

CSA metodunda, Bölüm 3'te açıklanan problemin özelliklerine has olarak iki farklı arama parametresi girilmektedir. Bu iki parametre farkındalık olasılığı ( $AP$ ) ve uçuş uzaklığı ( $fl$ )'dir. Bu iki parametrenin değeri çalışmada yapılan ön denemelerle belirlenmiştir ve sırasıyla 0.1 ve 2 alınmış ve tüm analizlerde bu değerler kullanılmıştır. BA metodunda da problemin özelliklerine has olarak iki farklı arama parametresi bulunmaktadır. Bu parametreler, ses şiddeti ( $A_i$ ) ve sinyal yayılım oranı ( $r_i$ )'dir. Bu çalışmada, ses şiddeti parametresi için 0.25 ve sinyal yayılım oranı parametresi için 0.1 değeri kullanılmıştır. WOA, GWO, BA ve DA için ise tanımlanması gereken ön parametreler bulunmamaktadır.

#### 4.1. Doğrusal Hesaba Göre Sonuçlar

Sismik izolasyon sistemlerinin doğrusal hesaba göre sonuçları bu bölümde verilmiştir. Bölüm 3'te detayları verilen 4 katlı kayma çerçevesi modeli ve köprü ayağı modeline tanımlanmış doğrusal izolasyon sistemlerin parametreleri CSA, WOA ve GWO yardımıyla optimize edilmiştir.

Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesaba göre optimizasyonu için bulunan sonuçlar şu düzenle sunulmuştur:

- Öncelikle CSA, WOA ve GWO'nun yaklaşım eğrileri grafikler halinde sunulmuş ve karşılaştırılmıştır.

- Optimizasyon yöntemleri kullanılarak Matlab yazılımında hazırlanan programlar ile optimizasyon yapılırken SAP2000 programı ile yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. SAP2000 programına daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi doğrusal sismik izolasyon sistemi tanımlamak için iki parametre girilmektedir. Bu parametreler izolasyon sisteminin rijitliği ( $k_0$ ) ve izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısı ( $c_0$ ) değerleridir. Sunuşta öncelikle optimum değeri bulunan bu iki parametre çizelgeler halinde verilmiştir.

- Optimizasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen optimum izolasyon sisteminin rijitliği ( $k_0$ ) ve izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısı ( $c_0$ ) kullanılarak

SAP2000’de tekrar yapısal analizler yapılmıştır. Sonuçta elde edilen izolasyon deplasmanı ( $d_0$ ), sönüm oranı ( $\xi_0$ ) ve ivme değerleri sunulmuştur.

- Sonrasında ise 3 farklı algoritma ile ayrı ayrı bulunan izolasyon deplasmanı ( $d_0$ ), sönüm oranı ( $\xi_0$ ), ivme ve izolasyon sistem periyodu ( $T_0$ ) değerleri grafikler yardımı ile karşılaştırılmıştır.

- En son adımda ise 3 farklı algoritma için yapısal analizde kullanılan 6 ivme kaydından her bir durum için etkin olan ivme kaydının verildiği çizelge sunulmuştur.

#### 4.1.1. Kayma Çerçevesi Modeli Sonuçları

Kayma çerçevesinin sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal çözümleri 3 ayrı sezgisel algoritma ile yapılmış, izleyen bölümlerde sonuçlar sunulmuştur. Ayrıca aynı kayma çerçevesi modeli kullanılarak daha önce bir çalışmada armoni optimizasyonu algoritması (Harmony Search, HS) ile sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır (Niğdeli vd., 2014). Bu çalışmada Niğdeli vd.’nin araştırmasında kullandığı aynı model, yapı parametreleri ve ivme kayıtları kullanılmış, amaç fonksiyonu bu çalışma ile aynı şekilde *PRA/PGA* olarak uygulanmıştır. Bu sayede hem önerilen yöntemle bulunan sismik izolasyon parametreleri daha önce yapılmış bir çalışma ile karşılaştırılmış hem de bu çalışmada kullanılan 3 farklı algoritmanın *HS*’ye karşı performansları irdelenmiştir.

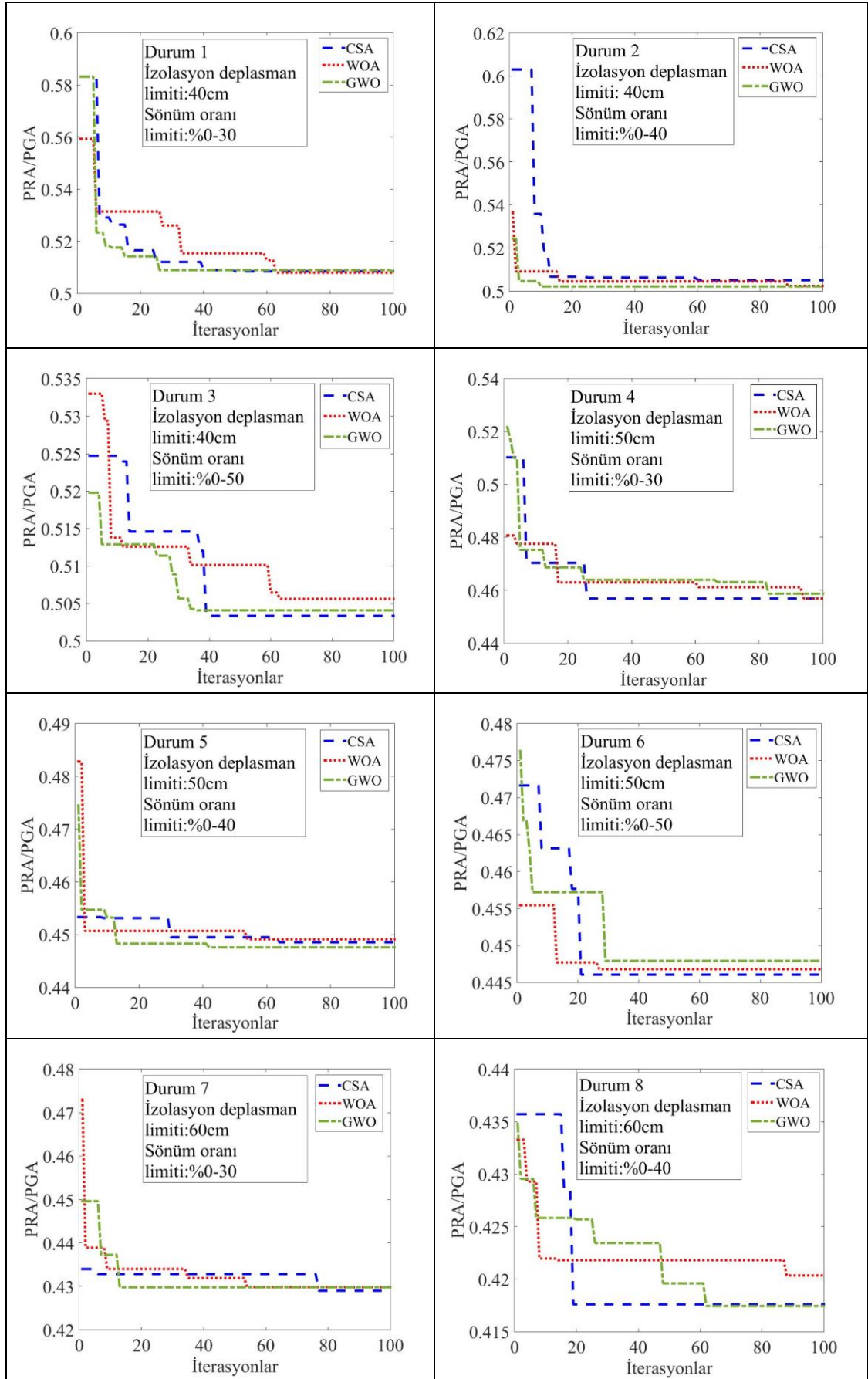
Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesabı için yapılan optimizasyonda, izolasyon periyodu ( $T_0$ ) ile sönüm oranı ( $\xi_0$ ) optimizasyon parametresidir. Limit olarak ise izolasyon deplasman limitleri ( $d_0$ ) kullanılmıştır.  $\xi_0$  için arama uzayı 3 farklı aralıkla limitlenmiştir.  $d_0$  için ise 3 farklı aralık kullanarak limit dışına çıkan sonuçlar penaltı fonksiyonu ile cezalandırılmıştır. Bu iki parametre için kullanılan limitler birbirleri ile kombinasyonlanarak 9 farklı durum için optimizasyon yapılmıştır. Bu durumlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

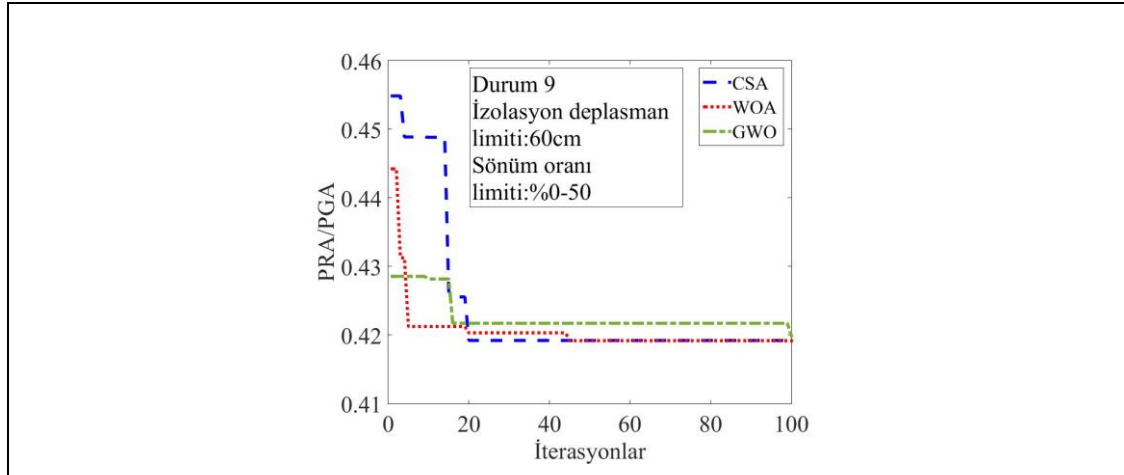
**Çizelge 4.2.** Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesabı için kullanılan limitler.

<b>Durum</b>	<b>Deplasman Limiti (cm)</b>	<b>Sönüm Oranı Limiti (%)</b>
1	40	0-30
2	40	0-40
3	40	0-50
4	50	0-30
5	50	0-40
6	50	0-50
7	60	0-30
8	60	0-40
9	60	0-50

#### **4.1.1.1. Kayma Çerçevesinin Doğrusal Hesaba Göre Yaklaşım Eğrilerinin Karşılaştırmalı Sonuçları**

Yaklaşım eğrileri, iterasyonlar boyunca en iyi sonuçları gösteren eğrilerdir. Bu çalışma kapsamında kullanılan optimizasyon algoritmalarından CSA, WOA ve GWO'nun kayma çerçevesi için yaklaşım eğrileri Şekil 4.1'te sunulmuştur.





**Şekil 4.1.** CSA, WOA ve GWO'nun kayma çerçevesi için yaklaşım eğrileri.

Şekil 4.1'te görüleceği gibi her durum ve her algoritma için izolatör parametreleri başlangıçta rastgele parametrelerden başladığı için  $PRA/PGA$  değerleri de optimizasyon sürecine rastgele değerlerle başlamaktadır. Kullanılan her üç optimizasyon algoritması da 20-40 iterasyon arasında optimum sonuçlara ulaşmaktadır. Bu yaklaşım her üç algoritmanın da optimum sonuca oldukça hızlı yaklaşım karakteristiği olduğunu göstermektedir. Yaklaşım eğrilerinden kullanılan üç optimizasyon algoritmasından hangisinin daha iyi olduğu tam belirlenemese de CSA'nın diğer algoritmalara göre biraz daha hızlı çözüm yaptığı değerlendirilmiştir.

#### **4.1.1.2. Kayma Çerçevesi Doğrusal Hesaba Göre Karga Arama Algoritması (CSA) ile Bulunan Optimizasyon Sonuçları**

Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesaba göre optimizasyonu için Bölüm 3'te açıklanan CSA yöntemi kullanılarak yapılan optimizasyon sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

Optimizasyon amaç fonksiyonunu minimum yapan oran  $PRA/PGA$  için optimizasyon sonucunda bulunan  $k_0$  ve  $c_0$  değerleri ile HS, (2014) optimum sonuçlarının karşılaştırmaları 9 farklı durum için Çizelge 4.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Kayma çerçevesi için CSA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları.

Durum	İzolasyon Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	HS, (2014)		Bu Çalışma (CSA)		Farklar (%)	
			Rijitlik (kN)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)	Rijitlik (kN)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)	Rijitlik (kN)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)
1	40	0-30	30.308	7.283	28.511	7.121	-5.9	-2.2
2	40	0-40	22.675	8.458	27.686	7.187	22.1	-15.0
3	40	0-50	18.590	9.353	27.157	7.264	46.1	-22.3
4	50	0-30	19.869	5.892	17.328	5.511	-12.8	-6.5
5	50	0-40	16.241	7.105	17.059	6.274	5.0	-11.7
6	50	0-50	14.493	8.367	16.788	6.223	15.8	-25.6
7	60	0-30	15.232	5.192	15.007	4.964	-1.5	-4.4
8	60	0-40	13.564	6.505	14.317	5.582	5.6	-14.2
9	60	0-50	12.500	7.661	14.329	5.678	14.6	-25.9

Çizelge 4.3'te görüleceği üzere  $0 < (\xi_0) < 30$  sönüm oranı limiti harici tüm durumlar için rijitlik değerleri HS'ye göre yüksek bulunmuştur. Rijitliğin HS'ye %46 yüksek bulunduğu durumlar vardır. Sönüm katsayısı ise HS'ye göre tüm durumlarda düşük bulunmuştur. Bu sonuçlara göre *PRA/PGA* minimizasyonu için yapılan optimizasyon çalışmasında, CSA'nın HS'ye göre izolasyon sisteminin sönüm kapasitesini azaltarak rijitlik kapasitesini artırdığı gözlemlenmiştir. CSA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayıları kullanarak yapılan analizler sonucunda bulunan izolatör deplasmanı, sönüm oranı ve *PRA/PGA* değerleri ile HS, (2014)'ün karşılaştırması Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.4.** Kayma çerçevesi için CSA ile bulunan optimum deplasman, sönüm oranı ve PRA/PGA değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları.

Durum	HS, (2014)			Bu Çalışma (CSA)			Farklar (%)		
	Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	PRA/PGA	Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	PRA/PGA	Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	PRA/PGA
1	38.00	29.58	0.5183	39.42	29.82	0.5085	3.7	0.8	-1.9
2	38.56	39.72	0.5323	39.71	30.54	0.5050	3.0	-23.1	-5.1
3	40.01	48.51	0.5506	39.78	31.17	0.5033	-0.6	-35.7	-8.6
4	47.55	29.56	0.4795	49.75	29.61	0.4569	4.6	0.2	-4.7
5	49.08	39.42	0.4759	48.95	33.97	0.4485	-0.3	-13.8	-5.8
6	48.91	49.14	0.5123	49.84	33.96	0.4460	1.9	-30.9	-12.9
7	58.16	29.75	0.4315	59.95	28.65	0.4290	3.1	-3.7	-0.6
8	58.12	39.49	0.4474	59.96	32.99	0.4176	3.2	-16.5	-6.7
9	55.17	48.45	0.4936	59.49	33.54	0.4192	7.8	-30.8	-15.1

Çizelge 4.4'e göre amaç fonksiyonu olarak belirlenen *PRA/PGA* oranı değerleri her durum için HS, (2014)'e göre daha düşük belirlenmiştir. Özellikle yüksek sönüm limitlerinde, her iki optimizasyon yöntemi ile hesaplanan *PRA/PGA* oranı arasındaki fark artmaktadır. Sönüm oranları ise özellikle  $0 < (\xi_0) < 50$  sönüm oranı limitleri için  $30$  civarı daha düşük bulunmuştur. Yapılmış önceki çalışmalarda deprem karakteristiğine göre yüksek sönümün kat ivmelerini artırdığı belirtilmiştir (Kelly, 1999; Providakis, 2008). Önceki çalışmalara paralel olarak, bu çalışmada da bulunan en düşük *PRA/PGA* sonuçları her bir durum için çoğunlukla belirlenen sönüm oranı aralığının en büyük değerinde elde edilmemiştir. Sönüm oranı limitleri  $0 < (\xi_0) < 30$  olan durum için sönüm oranının üst limitine yaklaşırken diğer durumlarda genellikle  $30 < (\xi_0) < 34$  aralığında optimum izolatör parametreleri elde edilmiştir. İzolasyon deplasmanı ise incelenen tüm durumlarda limitlere oldukça yaklaşmış, Niğdeli vd. (2014)'te bulunan sonuçlara göre genellikle daha fazla bulunmuştur.

#### **4.1.1.3. Kayma Çerçevesi Doğrusal Hesaba Göre Balina Algoritması (WAO) ile Bulunan Optimizasyon Sonuçları**

CSA ile yapılan optimizasyon çalışması aynı model ve aynı parametreler ile WOA ile tekrarlanmıştır. Bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.5.** WOA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları.

Durum	Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	HS, (2014)		Bu Çalışma (WOA)		Farklar (%)	
			Rijitlik (kN)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)	Rijitlik (kN)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)	Rijitlik (kN)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)
1	40	0-30	30.308	7.283	28.453	7.152	-6.1	-1.8
2	40	0-40	22.675	8.458	27.073	7.227	19.4	-14.6
3	40	0-50	18.590	9.353	26.710	7.361	43.7	-21.3
4	50	0-30	19.869	5.892	17.374	5.572	-12.6	-5.4
5	50	0-40	16.241	7.105	16.899	6.299	4.1	-11.3
6	50	0-50	14.493	8.367	16.717	6.248	15.3	-25.3
7	60	0-30	15.232	5.192	15.087	5.094	-1.0	-1.9
8	60	0-40	13.564	6.505	14.521	5.616	7.1	-13.7
9	60	0-50	12.500	7.661	14.426	5.544	15.4	-27.6

WOA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayıları kullanarak bulunan izolatör deplasmanı, sönüm oranı ve *PRA/PGA* değerleri ile HS, (2014)'ün karşılaştırması Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

**Çizelge 4.6.** Kayma çerçevesi için WOA ile bulunan optimum deplasman, sönüm oranı ve *PRA/PGA* değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları.

Durum	HS, (2014)			Bu Çalışma (WOA)			Farklar (%)		
	Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	<i>PRA/PGA</i>	Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	<i>PRA/PGA</i>	Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	<i>PRA/PGA</i>
1	38.00	29.58	0.5183	39.38	29.98	0.5078	3.6	1.3	-2.0
2	38.56	39.72	0.5323	39.93	31.06	0.5024	3.6	-21.8	-5.6
3	40.01	48.51	0.5506	39.76	31.85	0.5056	-0.6	-34.3	-8.2
4	47.55	29.56	0.4795	49.47	29.89	0.4569	4.0	1.1	-4.7
5	49.08	39.42	0.4759	49.34	34.27	0.4491	0.5	-13.1	-5.6
6	48.91	49.14	0.5123	49.99	34.17	0.4468	2.2	-30.5	-12.8
7	58.16	29.75	0.4315	59.10	29.32	0.4298	1.6	-1.4	-0.4
8	58.12	39.49	0.4474	59.09	32.95	0.4203	1.7	-16.6	-6.1
9	55.17	48.45	0.4936	59.73	32.64	0.4192	8.3	-32.6	-15.1

WOA ile bulunan sonuçlar CSA ile bulunan sonuçlarla oldukça benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla CSA ile HS arasında yapılan karşılaştırma sonu yapılan değerlendirmeler WOA ile HS arasındaki karşılaştırmalar ile benzerdir.

**4.1.1.4. Kayma Çerçevesi Doğrusal Hesaba Göre Gri Kurt Algoritması (GWO) ile Bulunan Optimizasyon Sonuçları**

CSA ve WOA ile yapılan optimizasyon çalışması aynı model ve aynı parametreler ile GWO ile tekrarlanmıştır. Bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları Çizelge 4.7’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.7.** Kayma çerçevesi için GWO ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları.

Durum	Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	HS, (2014)		Bu Çalışma (GWO)		Farklar (%)	
			Rijitlik (kN)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)	Rijitlik (kN)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)	Rijitlik (kN)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)
1	40	0-30	30.308	7.283	28.391	7.116	-6.3	-2.3
2	40	0-40	22.675	8.458	26.913	7.243	18.7	-14.4
3	40	0-50	18.590	9.353	26.494	7.327	42.5	-21.7
4	50	0-30	19.869	5.892	17.666	5.544	-11.1	-5.9
5	50	0-40	16.241	7.105	16.867	6.198	3.9	-12.8
6	50	0-50	14.493	8.367	16.717	6.248	15.3	-25.3
7	60	0-30	15.232	5.192	15.090	5.116	-0.9	-1.5
8	60	0-40	13.564	6.505	14.312	5.627	5.5	-13.5
9	60	0-50	12.500	7.661	14.227	5.701	13.8	-25.6

GWO ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayıları kullanarak bulunan izolatör deplasmanı, sönüm oranı ve (*PRA/PGA*) değerleri ile HS, (2014)'ün karşılaştırması Çizelge 4.8'te sunulmuştur.

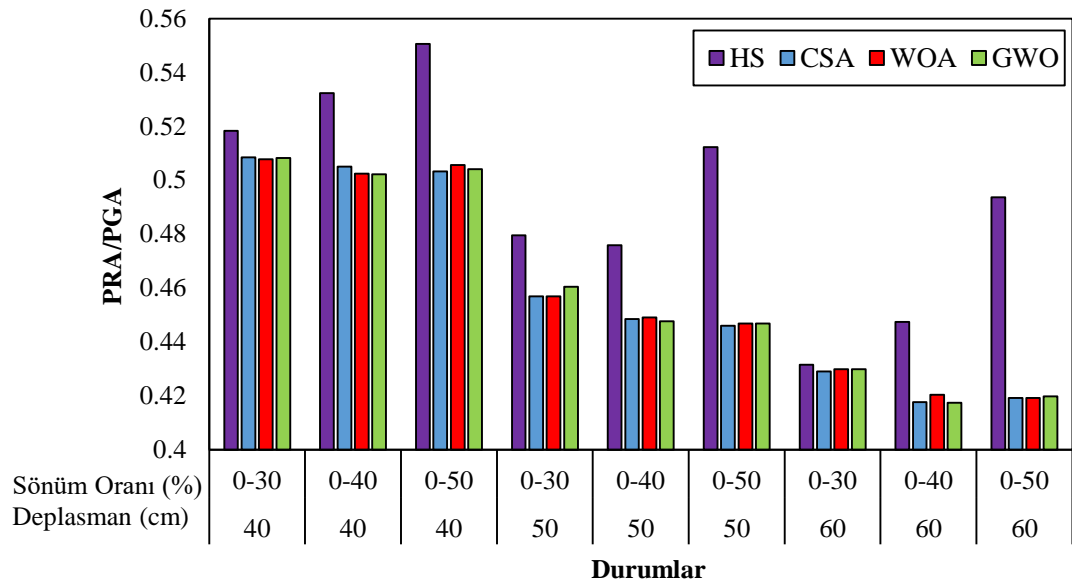
**Çizelge 4.8.** GWO ile bulunan optimum deplasman, sönüm oranı ve *PRA/PGA* değerleri ile HS, (2014) karşılaştırmaları.

Durum	HS, (2014)			Bu Çalışma (GWO)			Farklar (%)		
	Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	<i>PRA/PGA</i>	Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	<i>PRA/PGA</i>	Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	<i>PRA/PGA</i>
1	38.00	29.58	0.5183	39.51	29.86	0.5083	4.0	0.9	-1.9
2	38.56	39.72	0.5323	39.97	31.22	0.5022	3.7	-21.4	-5.7
3	40.01	48.51	0.5506	39.96	31.83	0.5041	-0.1	-34.4	-8.4
4	47.55	29.56	0.4795	49.54	29.49	0.4605	4.2	-0.2	-4.0
5	49.08	39.42	0.4759	49.67	33.75	0.4464	1.2	-14.4	-6.2
6	48.91	49.14	0.5123	49.99	34.17	0.4468	2.2	-30.5	-12.8
7	58.16	29.75	0.4315	59.00	29.45	0.4298	1.4	-1.0	-0.4
8	58.12	39.49	0.4474	59.78	33.26	0.4174	2.9	-15.8	-6.7
9	55.17	48.45	0.4936	59.74	33.80	0.4198	8.3	-30.2	-15.0

GWO ile bulunan optimizasyon sonuçları, CSA ve WOA ile paralellik göstermektedir.

#### **4.1.1.5. Kayma Çerçevesi Doğrusal Hesaba Göre Karşılaştırmalı Sonuçlar**

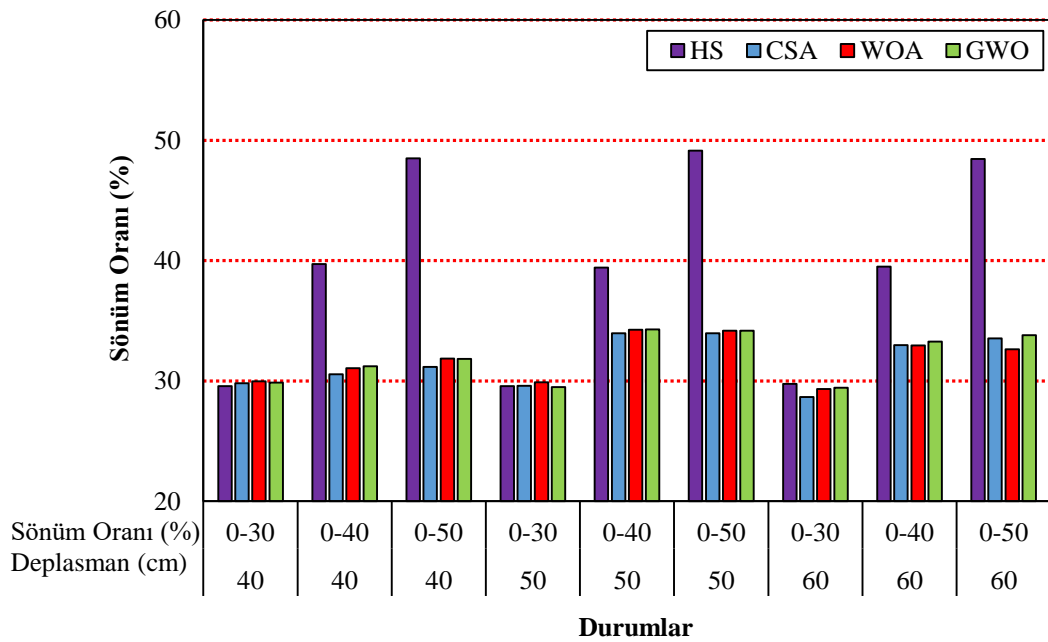
Bu bölümde, 3 farklı optimizasyon algoritması ile sismik izolasyon sistemlerinin doğrusal hesaba göre bulunan optimum izolasyon sisteminin rijitliği ( $k_0$ ) ve izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısı ( $c_0$ ) değerleri kullanarak yapılmış analiz sonuçları ile HS, (2014)'ün karşılaştırmalı sonuçları sunulmuştur. Çalışmanın amaç fonksiyonunu minimize eden *PRA/PGA* sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir.



**Şekil 4.2.** Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan PRA/PGA değerlerinin HS ile karşılaştırması.

Şekil 4.2’de amaç fonksiyonu olan *PRA/PGA* değerleri bu çalışmada kullanılan her üç algortmada da yakın bulunan rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri neticesinde birbirine yakın belirlenmiştir. İzolasyon deplasman limiti arttıkça *PRA/PGA* oranının kayda değer bir miktarda azaldığı, aynı izolasyon deplasman limitleri için ise sönüm oranı limitlerinin artışı ile *PRA/PGA* oranının bir miktar azaldığı görülmüştür. Her durum için bu çalışmada kullanılan CSA, WOA ve GWO algoritmaları ile elde edilen *PRA/PGA* değerleri HS ile elde edilen değerlerden daha düşük bulunmuştur. Özellikle sönüm oranı limiti arttığında, HS ve bu çalışmada kullanılan algoritmalar ile elde edilen *PRA/PGA* oranı arasındaki fark artmaktadır. En düşük *PRA/PGA* oranı CSA ile  $0% < (\xi_0) < 40%$  ve  $(d_0) < 60\text{cm}$  limitlerinin bulunduğu analizde belirlenmiştir.

Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan sönüm oranı değerlerinin farklı durumlara göre ve HS’ye göre karşılaştırmalı sonuçları Şekil 4.3’te sunulmuştur.



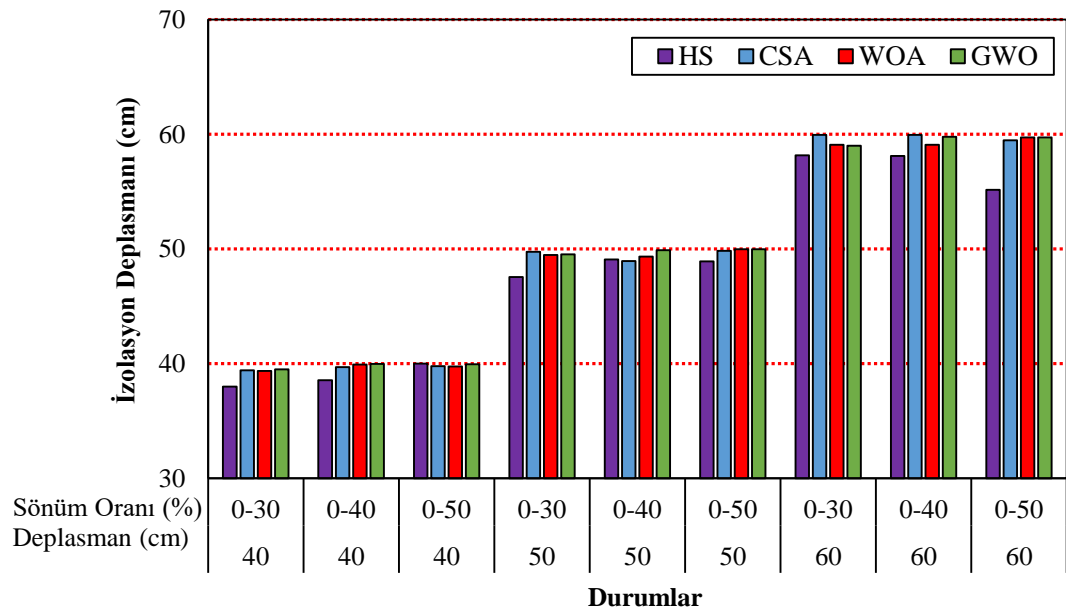
**Şekil 4.3.** Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan sönüm oranı değerlerinin HS ile karşılaştırması.

Sönüm oranları bu çalışmadaki üç algoritma tipi için de limitleri aşmamış ve birbirlerine yakın sonuçlar bulunmuştur. Sönüm limit değerine sadece ( $d_0$ )<30cm limit değeri için yaklaşım sağlanmış,  $0 < (\xi_0) < 40$  ve  $0 < (\xi_0) < 50$  sönüm oranı limitleri için limitlere ulaşamayarak %30'un biraz üzerinde sönüm oranları belirlenmiştir. HS ile bulunan sonuçlarda ise sönüm oranları her durum için limit değerlere yaklaşmıştır.

Ayrıca Çizelge 4.4'ten de görüleceği üzere HS'de doğrusal izolatör parametreleri çoğunlukla belirlenen sönüm üst limit değeri tarafından kontrol edilirken, CSA, WOA ve GWO ile yapılan bu çalışmada optimum parametrelerin elde edilmesinde tüm deplasman üst limitleri ve  $0 < (\xi_0) < 30$  sönüm oranı limiti belirleyici faktör olmuştur. İki çalışma arasındaki bu önemli fark neticesinde, HS'nin ortaya koymuş olduğu optimum sonuçlarda aynı deplasman üst limiti ve farklı sönüm üst limitleri için farklı deplasman değerleri bulunurken, CSA, WOA ve GWO ile yapılan bu çalışmada farklı sönüm üst limitleri için de deplasman üst limitine yakın optimum deplasman değerleri elde edilmiştir. Aynı deplasman üst limit değerleri için, CSA, WOA ve GWO ile elde edilen optimum deplasman değerlerinin yakın olması benzer izolasyon rijitlik değerlerine (Çizelge 4.3, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.7.) ve dolayısıyla da benzer izolasyon periyot değerlerine ulaşılmasını sağlamıştır.

Sismik izolasyon sistemlerinde HS ile bulunan yüksek sönüm oranı değerlerinin, birçok çalışmada *PRA/PGA* değerlerini yükselttiği sonucu bulunmuştur (Heaton vd., 1995; Kelly, 1999; Alhan ve Gavin, 2004; Providakis, 2008). Bu çalışmada bulunan optimum *PRA/PGA* değerlerini veren düşük sönüm oranı değerleri yapılan bu çalışmalar ile uyumlu sonuçlardır.

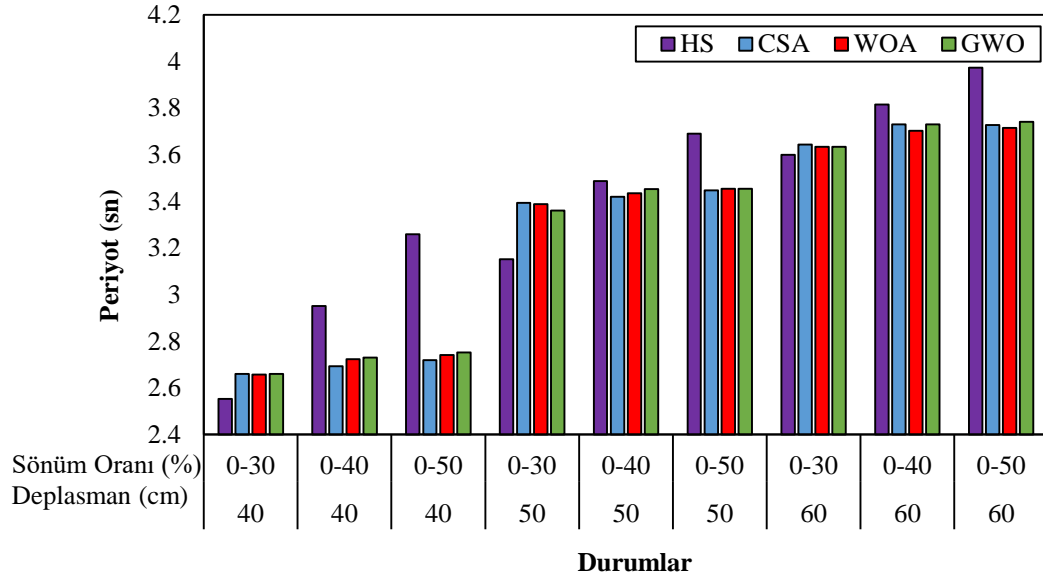
Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan izolasyon deplasman değerlerinin farklı durumlara ve HS'ye göre karşılaştırmalı sonuçları Şekil 4.4'te sunulmuştur.



**Şekil 4.4.** Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan izolasyon deplasman değerlerinin HS ile karşılaştırması.

Şekil 4.4'te bulunan izolasyon deplasmanı sonuçlarına göre HS'nin aksine göre çalışmada kullanılan her algoritma tipinde limit deplasman değerlerine ulaşılmıştır. CSA, WOA ve GWO ile bulunan izolasyon deplasmanları, çoğunlukla HS ile bulunan değerden fazla olsa da belirlenen deplasman limitinden az olması optimum sonuca daha fazla yaklaşıldığının göstergesidir. Özellikle  $(d_0) < 60\text{cm}$  deplasman limiti ve  $\%0 < (\xi_0) < \%50$  sönüm oranı limitine göre HS'nin deplasman değerleri 55 cm'de kalmıştır. Diğer taraftan, CSA, WOA ve GWO ile hesaplanan deplasman değerleri limit değer olan 60cm'e oldukça yakın belirlenmiştir.

Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan periyot değerlerinin HS ile karşılaştırmalı sonuçları Şekil 4.5'te sunulmuştur.



**Şekil 4.5.** Kayma çerçevesi için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan periyot değerlerinin HS ile karşılaştırması.

Şekil 4.5'e göre  $0 < (\xi_0) < 30$  sönüm limiti hariç diğer sönüm oranları için HS'nin sonuçlarına göre düşük periyot değerleri bulunmuştur. Yapılan karşılaştırmada, özellikle düşük izolatör deplasman limitinde ( $d_0 < 40$ cm) ve yüksek sönüm oranı limitlerinde HS ile bu çalışma arasındaki fark artmaktadır.

#### **4.1.1.6. Kayma Çerçevesi Doğrusal Hesaba Göre Etkin Deprem Kayıtları**

Çalışmada 3 farklı algoritma ve 9 farklı durum için de aynı 6 yer ivme kaydı kullanılmış, analizler sonucunda en büyük izolasyon deplasmanı ve en büyük *PRA/PGA* oranını veren ivme kayıtları Çizelge 4.9'da sunulmuştur. Böylelikle her bir algoritma için optimum sonucun belirlenmesinde etkili olan kritik deprem kaydı tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Kayma çerçevesi için 9 farklı durum için optimum sonuçları veren tarihi ivme kayıtları.

Durum	Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	En Büyük Deplasmanı Veren Deprem			En Büyük PRA/PGA Veren Deprem		
			CSA	WOA	GWO	CSA	WOA	GWO
1	40	0-30	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
2	40	0-40	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Tabas
3	40	0-50	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Tabas	Tabas	Tabas
4	50	0-30	Tabas	Loma Prieta	Tabas	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
5	50	0-40	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Loma Prieta
6	50	0-50	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
7	60	0-30	Tabas	Tabas	Tabas	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
8	60	0-40	Loma Prieta	Tabas	Tabas	Tabas	Loma Prieta	Loma Prieta
9	60	0-50	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Loma Prieta	Tabas

Çizelge 4.9'daki sonuçlara göre kullanılan 6 yer ivme kaydından Tabas ve Loma Prieta kayıtları, 6 yer ivme kaydı arasında en etkili ivme kayıtları olarak belirlenmiştir. Genellikle Loma Prieta depremi düşük deplasman limitlerinde etkili olurken Tabas depremi yüksek deplasman limitlerinde etkili olmaktadır. Ancak baskın olan bu iki ivme kaydı arasında durumlara göre en büyük *PRA/PGA* oranını veren deprem için bir genelleme yapılamamaktadır. En büyük *PRA/PGA* oranını veren deprem için baskın olanın hangi ivme kaydı olduğu küçük farklarla belirlendiği gözlemlenmiştir. Yapılan optimizasyon çalışması oldukça hassas sonuçlar verdiği için kullanılan ivme kayıtlarının yapıdaki etkileri de oldukça hassas şekilde ölçülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalar da depremlerin yapıda oluşturdukları etkilerin sadece yapı karakteristikleri ile ilgili olmadığı deprem dalgalarının karakteristiği ile alakalı olduğunu göstermektedir (Fajfar, 1999; Trifunac, 1993).

#### 4.1.2. Köprü Ayağı Modeli Sonuçları

Özellikleri Bölüm 3'te verilen sismik izolasyonlu köprü ayağı modelinin doğrusal çözümleri CSA, WOA ve GWO ile yapılmıştır. Örnek köprü ayağı modelinde de kayma çerçevesi ile aynı şekilde optimum izolasyon parametreleri belirlenmeye çalışılırken,

kayma çerçevesindeki *PRA/PGA* oranının yerine köprü ayağında *PSA* minimum yapılmaya çalışılmış, sonuçlar izleyen bölümlerde sunulmuştur.

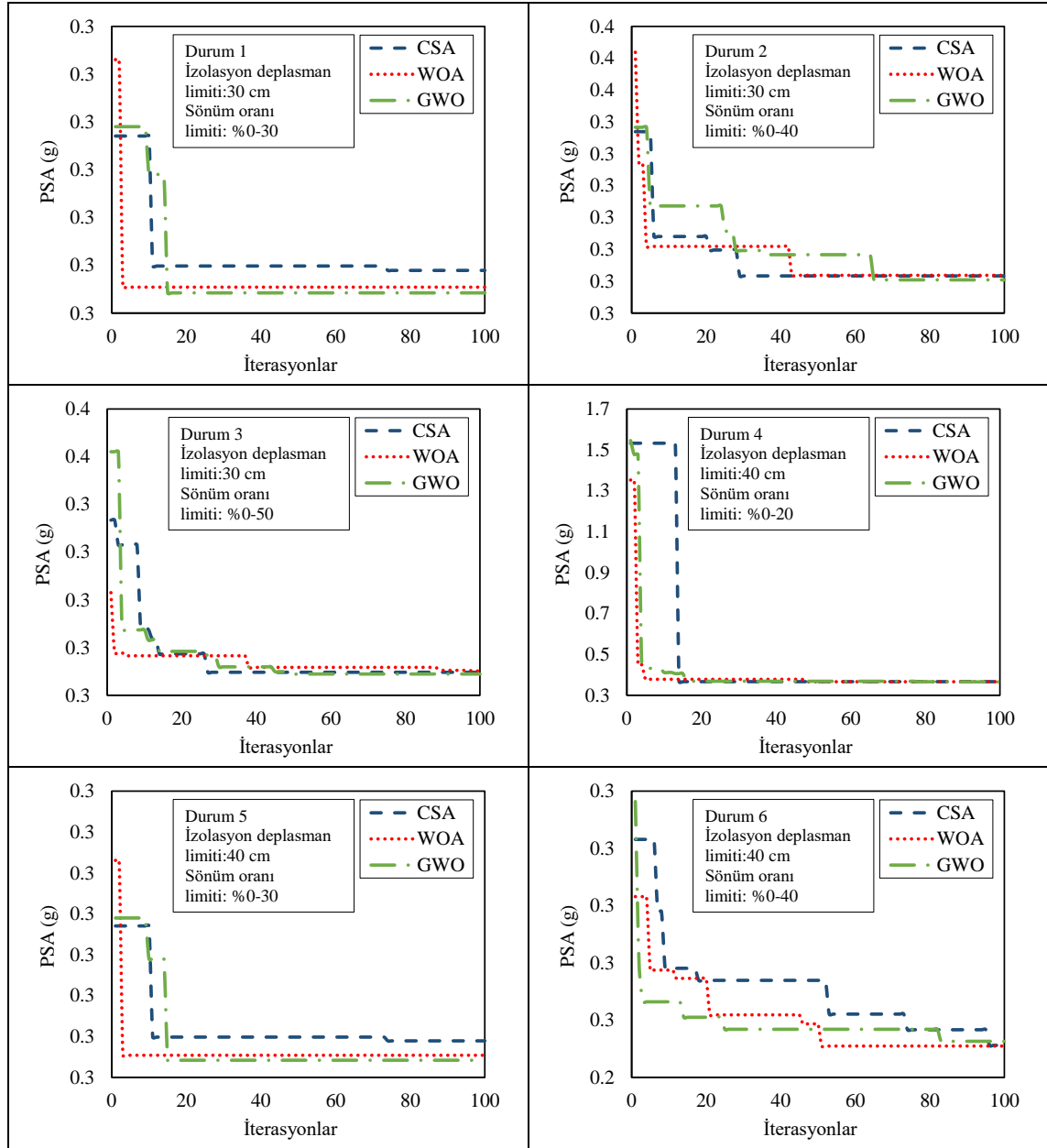
Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesabı için yapılan optimizasyonda, izolasyon periyodu ( $T_0$ ) ile sönüm oranı ( $\xi_0$ ) optimizasyon parametreleridir. Limit olarak 30cm, 40cm, 50cm ve 60cm olmak üzere 4 farklı deplasman limiti ( $d_0$ ) ve  $0 < \xi_0 < 20\%$ ,  $0 < \xi_0 < 30\%$ ,  $0 < \xi_0 < 40\%$  ve  $0 < \xi_0 < 50\%$  olmak üzere 4 farklı sönüm oranı limiti kullanılarak 16 farklı durum incelenmiştir.  $d_0$  için limit dışına çıkan sonuçlar penaltı fonksiyonu ile cezalandırılmıştır. Bu iki parametre için kullanılan limitler birbirleri ile kombinasyonlanarak 16 adet farklı durum için optimizasyon yapılmıştır. Ancak ( $d_0 < 30\text{cm}$  ve  $0 < \xi_0 < 20\%$ ) limitleri için arama uzayı içinde uygun sonuç bulunamadığından sonuçları sunulmamıştır. Optimizasyon yapılan durumlar Çizelge 4.10'da verilmiştir.

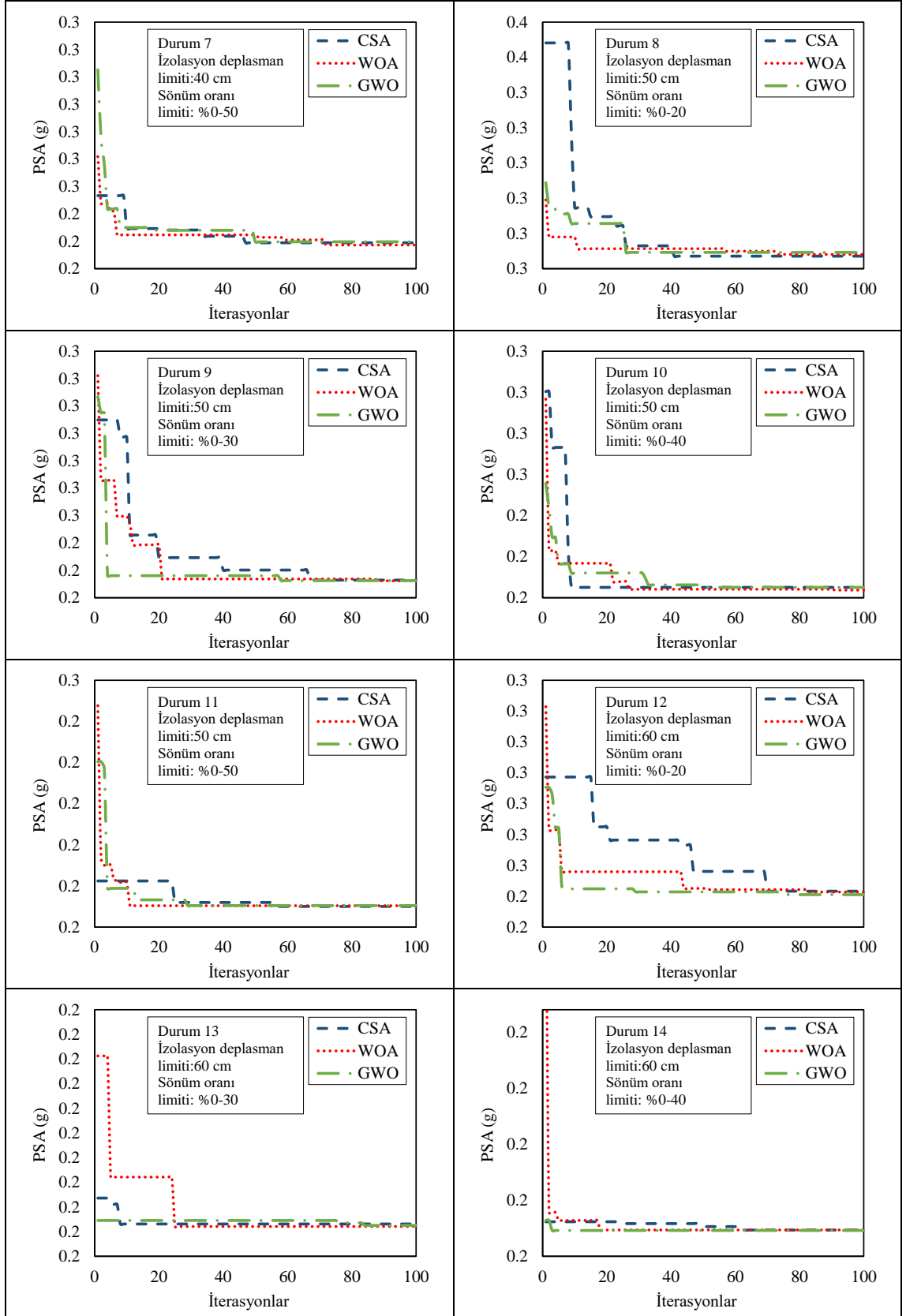
**Çizelge 4.10.** Köprü ayağı için sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesabı için kullanılan limitler.

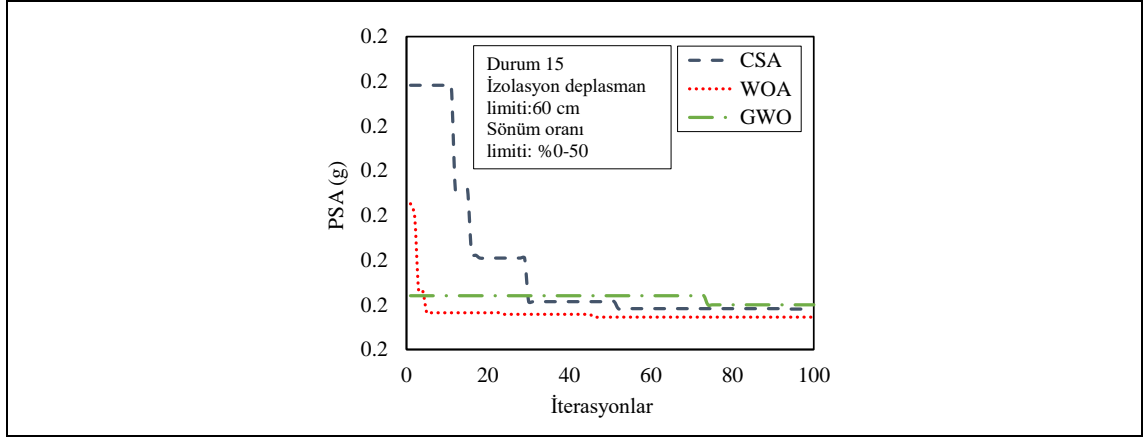
Durum	Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)
1	30	0-30
2	30	0-40
3	30	0-50
4	40	0-20
5	40	0-30
6	40	0-40
7	40	0-50
8	50	0-20
9	50	0-30
10	50	0-40
11	50	0-50
12	60	0-20
13	60	0-30
14	60	0-40
15	60	0-50

#### 4.1.2.1. Köprü Ayağı Doğrusal Hesaba Göre Yaklaşım Eğrilerinin Karşılaştırmalı Sonuçları

Köprü ayağı modeli için tasarlanmış sismik izolasyon sisteminin doğrusal hesaba göre optimizasyonunda kullanılan CSA, WOA ve GWO algoritmalarının optimum sonuçlara yaklaşımları 15 duruma göre Şekil 4.6’da sunulmuştur.







**Şekil 4.6.** Köprü ayağı için 15 farklı duruma ve 3 farklı algoritmaya göre yaklaşım eğrileri.

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi kullanılan her üç optimizasyon algoritması da genellikle 20-40 iterasyon arasında optimum sonuçlara ulaşmaktadır. Sadece durum 6 ve 12’de optimum sonuçların bulunması 80. iterasyon civarındadır. Bununla birlikte yaklaşım eğrilerinden kullanılan üç optimizasyon algoritmasından hangisinin daha iyi olduğu tam belirlenemese de köprü ayağı modelini için WOA’nın diğer algoritmalara göre biraz daha hızlı optimum sonuca ulaşıldığı değerlendirilmiştir.

**4.1.2.2. Köprü Ayağı Doğrusal Hesaba Göre Karga Arama Algoritması (CSA) ile Bulunan Optimizasyon Sonuçları**

Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesaba göre optimizasyonu için Bölüm 3'te açıklanan CSA yöntemi kullanılarak yapılan optimizasyon sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

Optimizasyon amaç fonksiyonunu minimum yapan oran *PSA* için optimizasyon sonucunda bulunan  $k_0$  ve  $c_0$  değerleri 15 farklı duruma göre Çizelge 4.11'de verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Köprü ayağı için CSA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri.

Durum	İzolatör Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	Rijitlik (kN)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)
1	30	0-30	7141.9	1450.1
2	30	0-40	5992.5	1783.4
3	30	0-50	4917.4	2035.1
4	40	0-20	6069.5	907.2
5	40	0-30	4892.5	1191.5
6	40	0-40	3606.0	1395.4
7	40	0-50	3335.8	1467.3
8	50	0-20	4336.8	766.9
9	50	0-30	2967.5	944.7
10	50	0-40	2752.6	1206.2
11	50	0-50	2744.9	1190.9
12	60	0-20	2777.6	605.1
13	60	0-30	2576.5	875.6
14	60	0-40	2662.6	1167.9
15	60	0-50	2654.3	1182.2

Çizelge 4.11'de verilen CSA ile bulunmuş optimum rijitlik ve sönüm katsayıları kullanılarak hesaplanmış izolasyon deplasmanı, sönüm oranı ve *PSA* değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

**Çizelge 4.12.** Köprü ayağı için CSA ile bulunmuş optimum rijitlik ve sönüm katsayıları kullanılarak hesaplanmış izolasyon deplasmanı, sönüm oranı ve PSA değerleri.

Durum	İzolator Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	İzolator Deplasmanı (cm)	Sönüm Oranı (%)	PSA (g)
1	30	0-30	29.88	29.43	0.3442
2	30	0-40	29.86	39.51	0.2917
3	30	0-50	29.82	49.77	0.2696
4	40	0-20	39.55	19.97	0.3164
5	40	0-30	39.86	29.21	0.2795
6	40	0-40	39.99	39.85	0.2456
7	40	0-50	39.72	43.57	0.2397
8	50	0-20	49.89	19.97	0.2935
9	50	0-30	49.68	29.74	0.2382
10	50	0-40	49.53	39.43	0.2225
11	50	0-50	49.88	38.98	0.2225
12	60	0-20	59.57	19.69	0.2416
13	60	0-30	58.98	29.58	0.2226
14	60	0-40	51.5	38.82	0.2203
15	60	0-50	51.37	39.35	0.2205

**4.1.2.3. Köprü Ayağı Doğrusal Hesaba Göre Balina Algoritması (WAO) ile Bulunan Optimizasyon Sonuçları**

CSA ile yapılan optimizasyon çalışması aynı model ve aynı parametreler ile WOA ile tekrarlanmıştır. Bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri Çizelge 4.13'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.13.** Köprü ayağı için WOA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri.

Durum	İzolator Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	Rijitlik (kN/m)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)
1	30	0-30	7082.9	1457.4
2	30	0-40	5994.5	1768.3
3	30	0-50	4953.8	2049.3
4	40	0-20	6013.1	897.3
5	40	0-30	4834.1	1202.1
6	40	0-40	3600.1	1397.0
7	40	0-50	3317.6	1461.2
8	50	0-20	4339.9	761.5
9	50	0-30	2964.6	945.2
10	50	0-40	2731.1	1197.9
11	50	0-50	2710.6	1226.9
12	60	0-20	2773.9	606.1
13	60	0-30	2575.7	883.2
14	60	0-40	2660.6	1163.7
15	60	0-50	2660.4	1170.7

WOA ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayıları kullanarak bulunan izolator deplasmanı, sönüm oranı ve PSA değerleri Çizelge 4.14'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.14.** Köprü ayağı için WOA ile bulunan optimum deplasman, sönüm oranı ve PSA değerleri.

Durum	Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	İzolatör Deplasmanı (cm)	Sönüm Oranı (%)	PSA (g)
1	30	0-30	29.98	29.70	0.3416
2	30	0-40	29.99	39.17	0.2919
3	30	0-50	29.62	49.93	0.2702
4	40	0-20	39.92	19.84	0.3157
5	40	0-30	39.90	29.65	0.2777
6	40	0-40	39.97	39.93	0.2455
7	40	0-50	39.94	43.51	0.2393
8	50	0-20	50.00	19.82	0.294
9	50	0-30	49.67	29.77	0.2381
10	50	0-40	49.97	39.31	0.2219
11	50	0-50	49.80	40.42	0.2225
12	60	0-20	59.54	19.74	0.2414
13	60	0-30	58.82	29.85	0.2224
14	60	0-40	51.60	38.69	0.2203
15	60	0-50	51.48	38.93	0.2204

WOA ile bulunan sonuçlar CSA ile bulunan sonuçlarla oldukça benzerlik göstermektedir.

**4.1.2.4. Köprü Ayağı Doğrusal Hesaba Göre Gri Kurt Algoritması (GWO) ile Bulunan Optimizasyon Sonuçları**

CSA ve WOA ile yapılan optimizasyon çalışması aynı model ve aynı parametreler ile GWO ile tekrarlanmıştır. Bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri ile Çizelge 4.15’te sunulmuştur.

**Çizelge 4.15.** Köprü ayağı için GWO ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri.

Durum	İzolator Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	Rijitlik (kN/m)	Sönüm Katsayısı (kN·s/m)
1	30	0-30	7113.8	1464.9
2	30	0-40	5960.0	1789.5
3	30	0-50	4849.5	2029.3
4	40	0-20	6016.7	903.2
5	40	0-30	4810.6	1204.9
6	40	0-40	3644.2	1406.6
7	40	0-50	3295.9	1492.8
8	50	0-20	4399.2	772.3
9	50	0-30	2953.8	932.1
10	50	0-40	2752.6	1206.2
11	50	0-50	2743.8	1187.0
12	60	0-20	2757.5	605.4
13	60	0-30	2564.6	885.4
14	60	0-40	2660.6	1163.7
15	60	0-50	2666.2	1157.9

GWO ile bulunan optimum rijitlik ve sönüm katsayıları kullanarak bulunan izolator deplasmanı, sönüm oranı ve (PSA) değerleri Çizelge 4.16’te sunulmuştur.

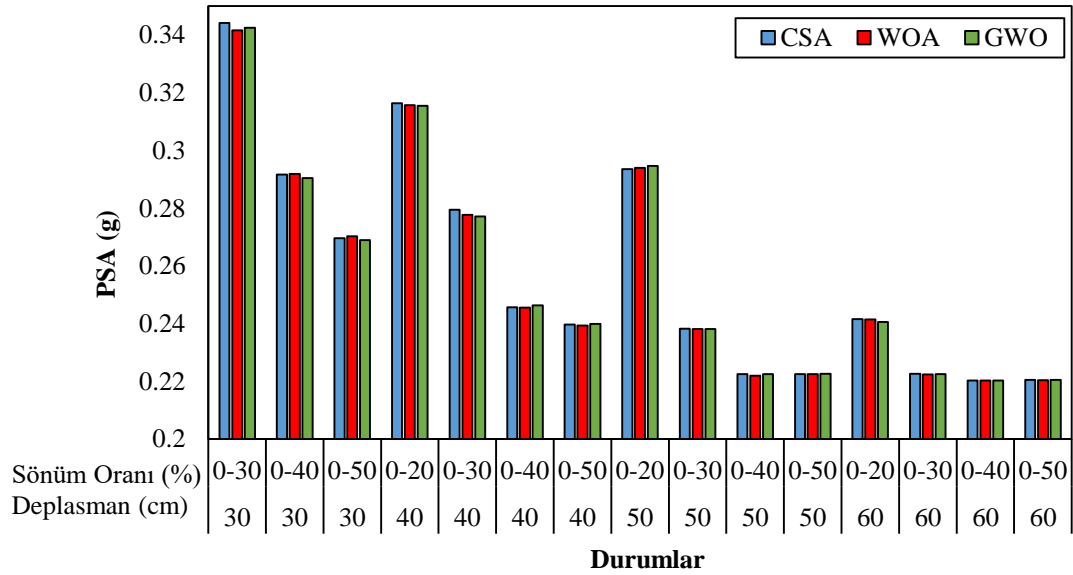
**Çizelge 4.16.** Köprü ayağı için GWO ile bulunan optimum deplasman, sönüm oranı ve PSA değerleri.

Durum	İzolator Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	İzolator Deplasmanı (cm)	Sönüm Oranı (%)	PSA (g)
1	30	0-30	29.83	29.79	0.3425
2	30	0-40	29.88	39.75	0.2904
3	30	0-50	29.99	49.98	0.2689
4	40	0-20	39.82	19.97	0.3155
5	40	0-30	39.93	29.79	0.2771
6	40	0-40	39.75	39.96	0.2463
7	40	0-50	39.90	44.59	0.2399
8	50	0-20	49.49	19.97	0.2946
9	50	0-30	50.00	29.41	0.2381
10	50	0-40	49.53	39.43	0.2225
11	50	0-50	49.96	38.86	0.2226
12	60	0-20	59.82	19.77	0.2405
13	60	0-30	59.02	29.98	0.2225
14	60	0-40	51.6	38.69	0.2203
15	60	0-50	51.62	38.46	0.2205

GWO ile bulunan optimizasyon sonuçları, CSA ve WOA ile paralellik göstermektedir.

#### 4.1.2.5. Köprü Ayağı Doğrusal Hesaba Göre Karşılaştırmalı Sonuçlar

Bu bölümde, 3 farklı optimizasyon algoritması ile sismik izolasyon sistemlerinin doğrusal hesaba göre bulunan optimum izolasyon sisteminin rijitliği ( $k_0$ ) ve izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısı ( $c_0$ ) değerleri kullanarak yapılmış analiz sonuçları sunulmuştur. Çalışmanın amaç fonksiyonunu minimize eden *PSA* sonuçları Şekil 4.7’de verilmiştir.

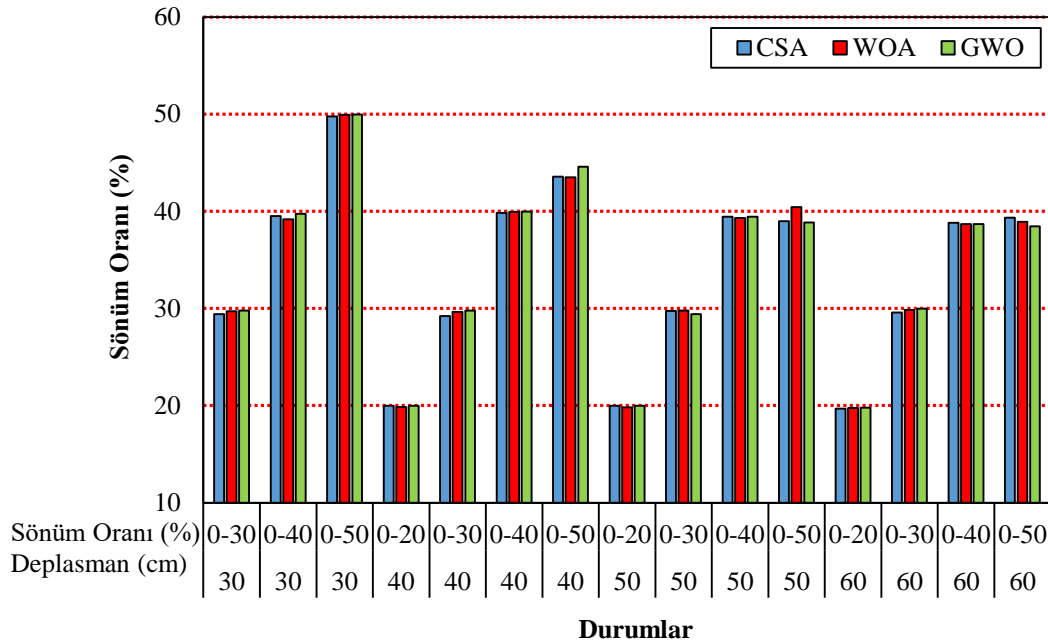


**Şekil 4.7.** Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan *PSA* değerlerinin farklı durumlara göre karşılaştırması.

Şekil 4.7’de amaç fonksiyonu olan *PSA* değerleri her üç algoritmada da yakın bulunan rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri neticesinde yakın olarak belirlenmiştir. Ayrıca 50cm ve 60cm deplasman limitine sahip durumların özellikle yüksek sönümlü ( $0 < \xi_0 < 40$  ve  $0 < \xi_0 < 50$ ) olması durumunda benzer optimum parametrelerin elde edildiği belirlenmiştir. Diğer taraftan ( $0 < \xi_0 < 20$ ) sönüm limitine sahip durumların diğer sönüm limitlerine kıyasla belirgin bir şekilde daha yüksek *PSA* değerlerine neden olduğu tespit edilmiştir. Bu durum özellikle düşük deplasman limitli durumlarda daha da belirgindir. Bu tespitle uyumlu olarak  $0 < \xi_0 < 20$  sönüm limiti ve 30cm deplasman limiti için optimum değerler elde edilememiştir. İzolasyon deplasman limiti arttıkça *PSA*’nın kayda değer bir miktarda azaldığı, aynı izolasyon deplasman

limitleri için ise sönüm oranı limitlerinin artışı ile *PSA* değerlerinin bir miktar azaldığı görülmüştür.

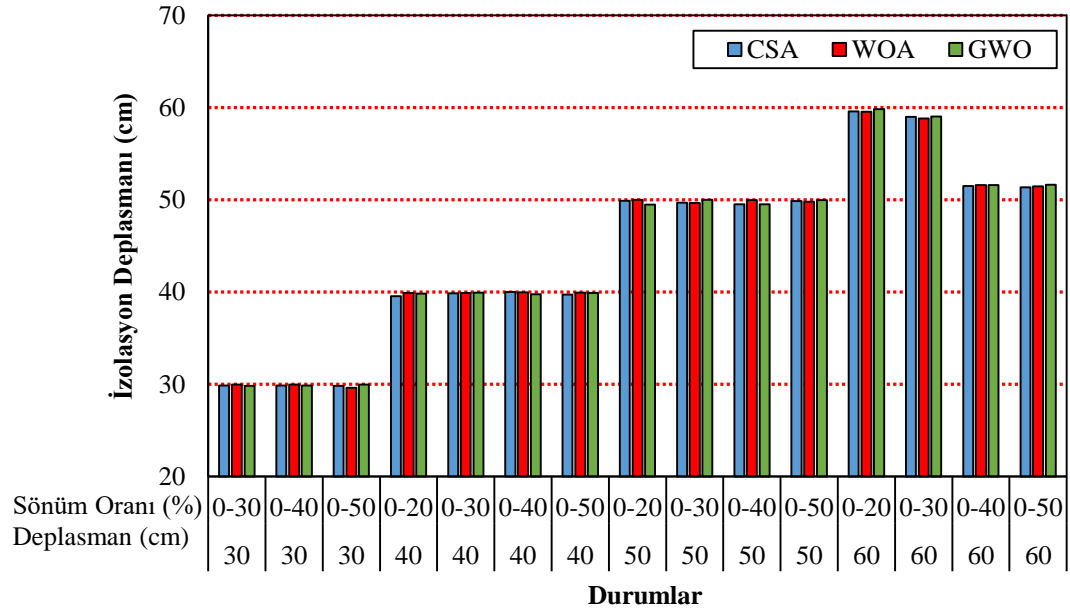
Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan sönüm oranı değerlerinin farklı durumlara göre karşılaştırmalı sonuçları Şekil 4.8’de sunulmuştur.



**Şekil 4.8.** Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan sönüm oranı değerlerinin farklı durumlara göre karşılaştırması.

Sönüm oranları bu çalışmadaki üç algoritma tipi için de limitleri aşmamış ve birbirlerine yakın sonuçlar bulunmuştur. Limit değerine  $0 < (\xi_0) < 20\%$ ,  $0 < (\xi_0) < 30\%$ ,  $0 < (\xi_0) < 40\%$  ve  $(d_0) < 30\text{cm}$  limitlerinde yaklaşım sağlanmıştır. Yüksek deplasman limitleri ve sönüm oranı limitlerine sahip durumlarda sönüm oranı limitlerine ulaşamamıştır. Özellikle  $0 < (\xi_0) < 50\%$  sönüm oranı limitine sahip 40cm ve üzeri deplasman limitlerinde sönüm oranı %40 mertebelerinde kalmıştır. Bu da yüksek sönüm değerlerinin izolasyonlu sistemlerde gerekli olmadığı sonucunu doğurmaktadır.

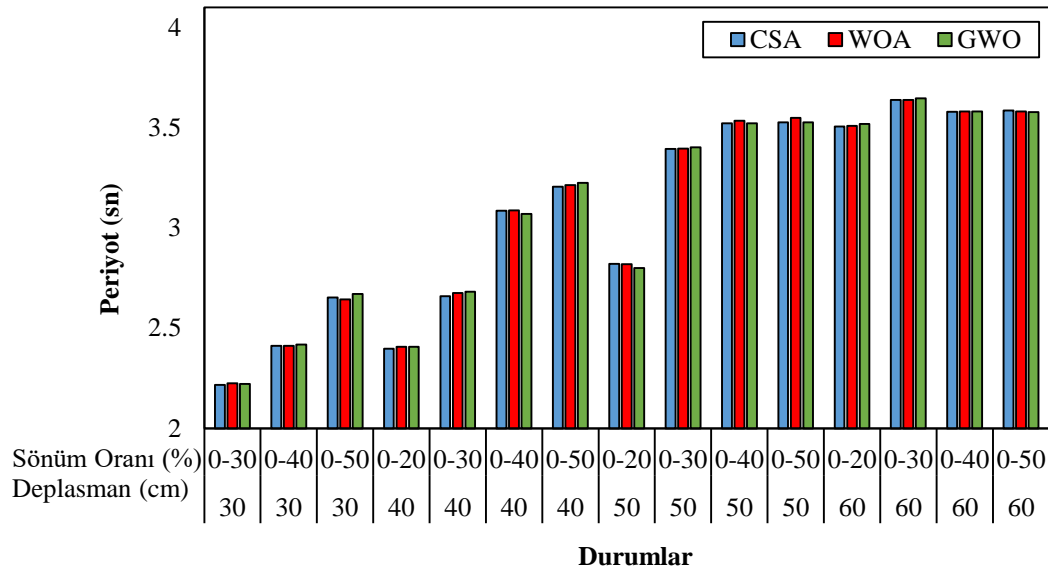
Optimum izolasyon parametreleri ile bulunan izolasyon deplasman değerlerinin farklı durumlara göre karşılaştırmalı sonuçları Şekil 4.9’da sunulmuştur.



**Şekil 4.9.** Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan izolasyon deplasman değerlerinin farklı durumlara göre karşılaştırması.

Şekil 4.9’da bulunan izolasyon deplasmanı sonuçlarına göre  $(d_0) < 60$ cm deplasman limiti ve  $0 < (\xi_0) < 40$ ,  $0 < (\xi_0) < 50$  sönüm oranı limitleri haricinde tüm durumlarda limit izolasyon deplasman değerlerine ulaşılmıştır.

Optimum izolasyon parametreleri ile bulunan periyot değerlerinin farklı durumlara göre karşılaştırmalı sonuçları Şekil 4.10’da sunulmuştur.



**Şekil 4.10.** Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan periyot değerlerin farklı durumlara göre karşılaştırması.

Şekil 4.10'da bulunan periyot sonuçlarına göre genellikle deplasman limiti ve sönüm oranı limitleri arttıkça deplasman artışı ile birlikte periyot değerleri de artmaktadır. Düşük deplasman limitlerinde sönüm oranı limitinin artmasıyla periyodun arttığı, fakat yüksek deplasman limiti ve yüksek sönüm oranı limitlerinde periyodun deplasman ve sönüm oranı limitlerindeki değişimden fazla etkilenmediği tespit edilmiştir.

#### **4.1.2.6. Köprü Ayağı Doğrusal Hesaba Göre Etkin Deprem Kayıtları**

Çalışmada 3 farklı algoritma ve 15 farklı durum için de aynı 6 yer ivme kaydı kullanılmış, analizler sonucunda en büyük izolasyon deplasmanı ve en büyük *PSA* değerini veren ivme kayıtları Çizelge 4.17'de sunulmuştur.

**Çizelge 4.17.** Köprü ayağı için 15 farklı durum için optimum sonuçları veren deprem ivme kayıtları

Durum	Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	En Büyük Deplasmanı Veren Deprem			En Büyük PSA Veren Deprem		
			CSA	WOA	GWO	CSA	WOA	GWO
1	30	0-30	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
2	30	0-40	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
3	30	0-50	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Tabas	Tabas	Tabas
4	40	0-20	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
5	40	0-30	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
6	40	0-40	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
7	40	0-50	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
8	50	0-20	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
9	50	0-30	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
10	50	0-40	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Loma Prieta	Tabas
11	50	0-50	Tabas	Tabas	Tabas	Loma Prieta	Tabas	Loma Prieta
12	60	0-20	Loma Prieta	Loma Prieta	Tabas	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
13	60	0-30	Tabas	Tabas	Tabas	Loma Prieta	Loma Prieta	Tabas
14	60	0-40	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
15	60	0-50	Tabas	Loma Prieta	Loma Prieta	Tabas	Tabas	Tabas

Sismik izolasyon yerleştirilmiş köprü ayağı modelinde doğrusal hesaplar için yapılan optimizasyonda Çizelge 4.17’de verilen 15 farklı durum için en büyük deplasmanı veren ve en büyük PSA değerini veren depremler önceki bölümde sunulan kayma çerçevesindeki benzer depremler olan Tabas ve Loma Prieta depremleridir. Tabas ve Loma Prieta depremleri arasındaki etkin deprem irdelendiğinde tam olarak bir deprem belirlenemezken, etkin depremin küçük farklarla belirlenmesinden kaynaklı olarak farklı algoritma ve durumlara göre etkin depremin değiştiği gözlemlenmiştir.

#### 4.2. Doğrusal Olmayan Hesaba Göre Sonuçlar

Sismik izolasyon sistemlerinin doğrusal olmayan hesaba göre optimum sonuçları bu bölümde verilmiştir. Bölüm 3’te detayları verilen köprü ayağı modeline tanımlanmış

doğrusal olmayan izolasyon sistemlerin parametreleri CSA, WOA ve GWO yardımıyla optimize edilmiştir.

Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal olmayan hesaba göre optimizasyonu için bulunan sonuçlar şu düzenle sunulmuştur:

- Öncelikle CSA, WOA ve GWO'nun yaklaşım eğrileri grafikler halinde sunularak karşılaştırılmıştır.

- Optimizasyon yöntemleri kullanılarak matlab'da hazırlanan programlar ile SAP2000 programında analizler yapılmıştır. SAP2000 programına daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi doğrusal olmayan sismik izolasyon sistemi tanımlamak için üç parametre girilmektedir. Bu parametreler, akma dayanımı ( $F_y$ ) akma sonrası rijitlik ( $k_d$ ) ve akma sonrası rijitliğin ( $k_d$ ) akma öncesi rijitliğe ( $k_e$ ) oranı ( $R$ ) değerleridir. Sunuşta öncelikle optimum değeri bulunan bu üç parametre çizelgeler halinde verilmiştir.

- SAP2000 programına girişi yapılan akma dayanımı ( $F_y$ ) akma sonrası rijitlik ( $k_d$ ) ve akma sonrası rijitliğin ( $k_d$ ) akma öncesi rijitliğe ( $k_e$ ) oranı ( $R$ ) parametreleri kullanılarak hesaplanan optimizasyon parametreleri  $Q/W$  ve akma sonrası rijitlik ( $k_d$ ) parametreleri çizelgeler şeklinde sunulmuştur.

- Sonrasında optimizasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen optimum akma dayanımı ( $F_y$ ) akma sonrası rijitlik ( $k_d$ ) ve akma sonrası rijitliğin ( $k_d$ ) akma öncesi rijitliğe ( $k_e$ ) oranı ( $R$ ) kullanılarak tekrar yapısal analizler yapılmıştır. Sonuçta elde edilen izolasyon deplasmanı ( $d_0$ ), sönüm oranı ( $\xi_0$ ),  $PSA$  ve izolasyon sistem periyodu ( $T_0$ ) değerleri grafikler yardımı ile karşılaştırılmıştır.

- En son adımda ise 3 farklı algoritma için yapısal analizde kullanılan 6 ivme kaydından etkin olan ivme kaydının verildiği çizelge sunulmuştur.

#### 4.2.1. Köprü Ayağı Modeli

Özellikleri Bölüm 3'te verilen sismik izolasyon yerleştirilmiş köprü ayağı modeli optimizasyonu, doğrusal olmayan hesaba göre 3 ayrı sezgisel algoritma ile yapılmış, sonuçlar izleyen bölümlerde sunulmuştur.

Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal olmayan hesabı için yapılan optimizasyonda, izolasyon periyodu ( $T_0$ ) ile  $Q/W$  optimizasyon parametreleridir. Limit olarak izolasyon deplasman limitleri ise ( $d_0$ ) ve sönüm oranı ( $\xi_0$ ) kullanılmıştır. Köprü ayağının doğrusal izolasyon parametre optimizasyonunda limit olarak kullanılan 30cm,

40cm, 50cm ve 60cm olmak üzere 4 farklı deplasman limiti ( $d_0$ ) ve  $\%0 < (\xi_0) < \%20$ ,  $\%0 < (\xi_0) < \%30$ ,  $\%0 < (\xi_0) < \%40$  ve  $\%0 < (\xi_0) < \%50$  olmak üzere 4 farklı sönüm oranı limiti kullanılmış olmasına rağmen, yapılan ön çalışmalar, analiz süresinin uzunluğu ve deplasman-sönüm oranı limitlerine ek olarak doğrusal hesapta akma deplasmanı ( $U_y$ ) limiti olmasının analiz sayısını artırması sebebi ile köprü ayağının doğrusal olmayan izolasyon parametre optimizasyonunda limit olarak 40cm, 50cm ve 60cm olmak üzere 3 farklı deplasman limiti ( $d_0$ ) ve  $\%0 < (\xi_0) < \%30$  ve  $\%0 < (\xi_0) < \%40$  sönüm oranı limitleri kullanılmıştır. İzolatör akma deplasmanı ( $U_y$ ), literatürdeki çalışmalar göz önüne alınarak 25 mm (Ozdemir ve Constantinou, 2010) ve 10 mm (Ryan ve Chopra, 2004) olacak şekilde 2 farklı değer bu çalışmada da izolatör akma deplasman limiti olarak uygulanmıştır. Deplasman, sönüm oranı limitleri ve izolatör akma deplasmanı limitleri birbirleri ile kombinasyonlanarak 12 adet farklı durum için optimizasyon yapılmıştır. Limit dışına çıkan sonuçlar penaltı fonksiyonu ile cezalandırılmıştır. Optimizasyon yapılan durumlar Çizelge 4.18’de verilmiştir.

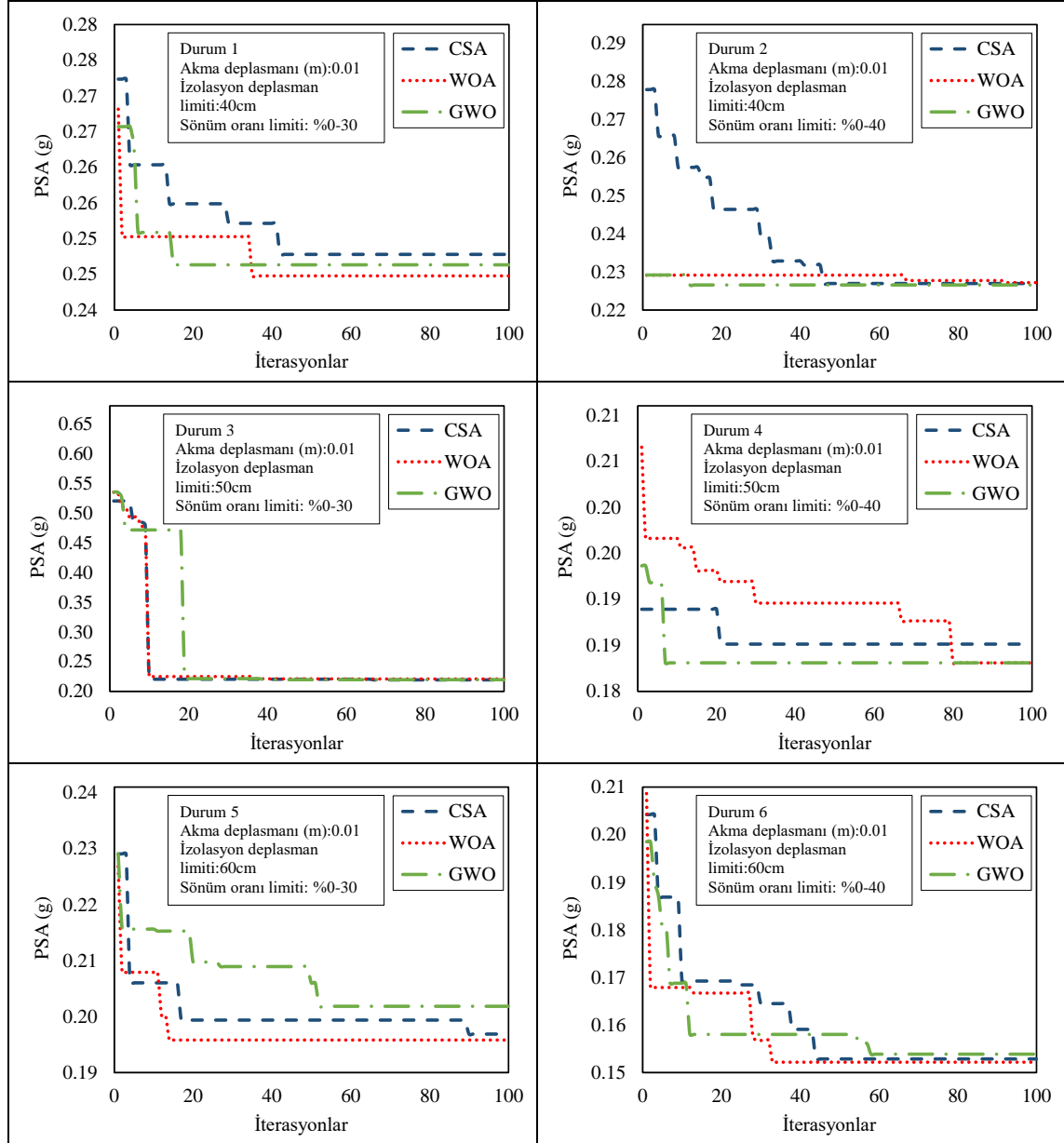
**Çizelge 4.18.** Köprü ayağı için sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal olmayan hesabı için kullanılan limitler.

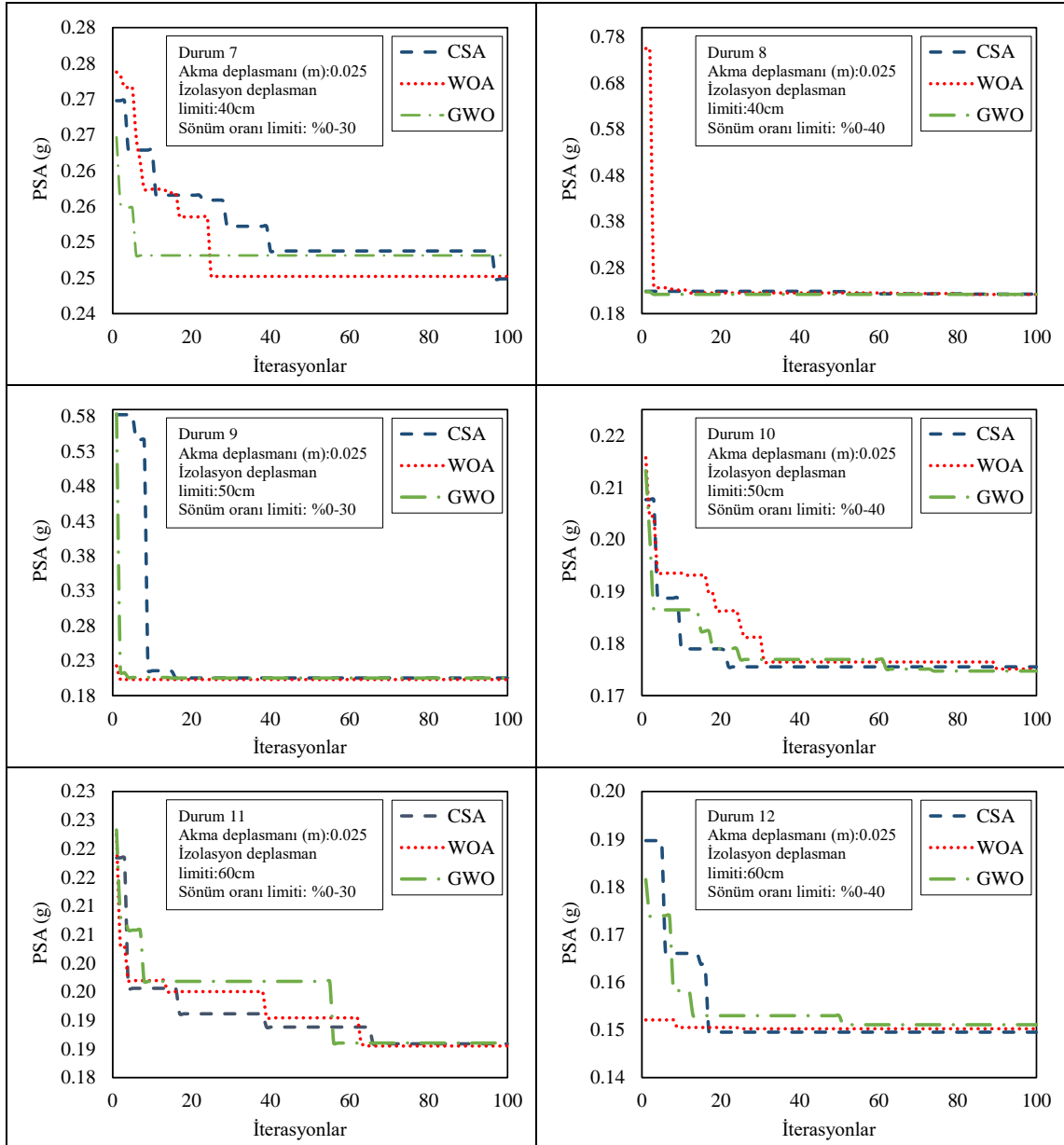
Durum	İzolatör Akma Deplasmanı (m)	Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)
1	0.01	40	0-30
2	0.01	40	0-40
3	0.01	50	0-30
4	0.01	50	0-40
5	0.01	60	0-30
6	0.01	60	0-40
7	0.025	40	0-30
8	0.025	40	0-40
9	0.025	50	0-30
10	0.025	50	0-40
11	0.025	60	0-30
12	0.025	60	0-40

Çizelge 4.18’de verilen limitler kullanılarak Bölüm 3.14’de açıklanan, sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal olmayan hesaba göre optimizasyonu için önerilen yöntemde açıklanan parametreler ve amaçlanan yapı tepkileri göz önüne alınarak optimum izolasyon parametreleri bulunmuştur.

#### 4.2.1.1. Köprü Ayağı Doğrusal Olmayan Hesaba Göre Yaklaşım Eğrilerinin Karşılaştırmalı Sonuçları

Köprü ayağı modelinde uygulanmış sismik izolasyon sisteminin doğrusal olmayan hesaba göre optimizasyonunda kullanılan CSA, WOA ve GWO algoritmalarının optimum sonuçlara yaklaşımları 12 farklı duruma göre Şekil 4.11’de sunulmuştur.





**Şekil 4.11.** Köprü ayağı için 12 farklı duruma ve 3 farklı algoritmaya göre yaklaşım eğrileri.

Şekil 4.11'den görüleceği gibi bu bölümde bulunan yaklaşım eğrileri, önceki bölümde sunulan doğrusal hesaba göre belirlenen sismik izolasyon parametrelerin optimizasyonunda bulunan yaklaşım eğrilerine göre biraz daha fazla iterasyon yapılarak optimum sonuçlara ulaşıldığı belirlenmiştir. Durum 8 ve 9'da başlangıç PSA değerlerinin yüksekte başlaması, ilk birkaç iterasyonda cezasız sonuç bulunamamasından kaynaklanmaktadır.

**4.2.1.2. Köprü Ayağı Doğrusal Olmayan Hesaba Göre Karga Arama Algoritması (CSA) ile Bulunan Optimizasyon Sonuçları**

Sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal olmayan hesaba göre optimizasyonu için Bölüm 3’te açıklanan CSA yöntemi kullanılarak yapılan optimizasyon sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

Köprü modelindeki doğrusal olmayan sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonunda  $PSA$  değerini minimum yapan  $k_e$ ,  $F_y$ ,  $R$  değerleri ve bu değerler kullanılarak bulunmuş  $PSA$  değerleri 12 farklı durum için Çizelge 4.19’da verilmiştir.

**Çizelge 4.19.** Köprü ayağı için CSA ile bulunan akma öncesi rijitlik, akma dayanımı, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ve  $PSA$  değerleri.

Durum	$U_y$ (m)	İzolatör Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	Akma Öncesi Rijitlik ( $k_e$ ) (kN/m)	Akma Kuvveti ( $F_y$ ) (kN)	$R$ ( $k_d/k_e$ )	$PSA$ (g)
1	0.01	40	0-30	50654.1	506.5	0.027	0.2478
2	0.01	40	0-40	60478.3	604.8	0.014	0.2220
3	0.01	50	0-30	44865.3	448.7	0.021	0.2192
4	0.01	50	0-40	51283.9	512.8	0.011	0.1891
5	0.01	60	0-30	39787.3	397.9	0.018	0.1959
6	0.01	60	0-40	40997.2	410.0	0.010	0.1528
7	0.025	40	0-30	18798.3	470.0	0.079	0.2449
8	0.025	40	0-40	25399.6	635.0	0.031	0.2224
9	0.025	50	0-30	17682.1	442.1	0.050	0.2053
10	0.025	50	0-40	19220.3	480.5	0.025	0.1705
11	0.025	60	0-30	16066.5	401.7	0.042	0.1859
12	0.025	60	0-40	16589.1	414.7	0.023	0.1495

Çizelge 4.19’a göre  $U_y$  değerleri 0.01m olan durumlar için bulunan sonuçlarda  $k_e$  ve  $PSA$  değerleri, 0.025m  $U_y$  değerlerli durumlara göre daha yüksek bulunmuştur.  $0 < (\xi_0) < 40$  sönüm oranlı durumlarda  $R$  ( $k_d/k_e$ ) oranı ve  $PSA$ ,  $0 < (\xi_0) < 30$  limitli durumlara göre daha düşük belirlenmiştir. Ayrıca deplasman limitinin arttığı durumlarda  $R$  ( $k_d/k_e$ ),  $F_y$  ve  $PSA$ ’nın azaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.19’da verilen, CSA ile elde edilmiş  $k_e$ ,  $F_y$  ve  $R$  değerleri kullanılarak hesaplanmış  $Q/W$  ve  $k_e$  değerleri Çizelge 4.20’de verilmiştir.

**Çizelge 4.20.** Köprü ayağı için CSA ile bulunmuş optimum  $k_e$ ,  $F_y$  ve  $R$  değerlerini kullanılarak hesaplanmış  $Q/W$  ve  $k_d$  değerleri.

Durum	Uy (m)	İzolator Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	Q/W	Akma Sonrası Rijitlik ( $k_d$ ) (kN/m)
1	0.01	40	0-30	0.116	1386.2
2	0.01	40	0-40	0.140	829.9
3	0.01	50	0-30	0.103	957.0
4	0.01	50	0-40	0.119	583.0
5	0.01	60	0-30	0.092	725.1
6	0.01	60	0-40	0.096	401.3
7	0.025	40	0-30	0.102	1489.1
8	0.025	40	0-40	0.145	789.6
9	0.025	50	0-30	0.099	883.4
10	0.025	50	0-40	0.110	488.0
11	0.025	60	0-30	0.090	682.2
12	0.025	60	0-40	0.095	376.5

Çizelge 4.20'ye göre  $0 < (\xi_0) < 30$  sönüm oranlı durumlarda  $Q/W$  oranı,  $0 < (\xi_0) < 40$  limitli durumlara göre daha düşük bulursa da akma sonrası rijitlik ( $k_d$ ) daha yüksek bulunmuştur. 40cm deplasman ve  $0 < (\xi_0) < 30$  durum haricindeki durumlarda,  $U_y$ 'nin 0.025 olduğu durumlarda 0.01 olan durumlara göre akma sonrası rijitlik ( $k_d$ ) daha düşük belirlenmiştir.

#### **4.2.1.3. Köprü Ayağı Doğrusal Olmayan Hesaba Göre Balina Algoritması (WAO) ile Bulunan Optimizasyon Sonuçları**

WAO algoritması kullanılarak köprü modelindeki sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal olmayan hesaba göre optimizasyon sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

12 farklı durum için köprü modelindeki doğrusal olmayan sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonunda  $PSA$  değerini minimum yapan  $k_e$ ,  $F_y$ ,  $R$  değerleri ve bu değerler kullanılarak bulunmuş  $PSA$  değerleri Çizelge 4.21'de verilmiştir.

**Çizelge 4.21.** Köprü ayağı için WOA ile bulunan akma öncesi rijitlik, akma dayanımı, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ve PSA değerleri.

Durum	Uy (m)	İzolatör Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	Akma Öncesi Rijitlik ( $k_e$ ) (kN/m)	Akma Kuvveti ( $F_y$ ) (kN)	R ( $k_d/k_e$ )	PSA (g)
1	0.01	40	0-30	50597.1	506.0	0.026	0.2448
2	0.01	40	0-40	60206.4	602.1	0.014	0.2222
3	0.01	50	0-30	44637.2	446.4	0.022	0.2205
4	0.01	50	0-40	50663.2	506.6	0.011	0.1862
5	0.01	60	0-30	39925.2	399.3	0.018	0.1948
6	0.01	60	0-40	40673.0	406.7	0.010	0.1522
7	0.025	40	0-30	18827.3	470.7	0.079	0.2433
8	0.025	40	0-40	25509.2	637.7	0.030	0.2218
9	0.025	50	0-30	17673.3	441.8	0.049	0.203
10	0.025	50	0-40	19099.1	477.5	0.026	0.1701
11	0.025	60	0-30	15973.4	399.3	0.042	0.1855
12	0.025	60	0-40	16632.9	415.8	0.023	0.1502

Çizelge 4.21'e göre WOA ile bulunan akma öncesi rijitlik ( $k_e$ ), akma kuvveti ( $F_y$ ) ve R ( $k_d/k_e$ ) sonuçları, CSA ile bulunan sonuçlarda tüm durumlar için paralellik göstermektedir ve CSA ile bulunan sonuçlarda gözlemlenen tartışmalar WOA ile bulunan sonuçlar için de geçerlidir.

Çizelge 4.21'de verilen WOA ile bulunmuş  $k_e$ ,  $F_y$  ve R değerleri kullanılarak hesaplanmış Q/W ve  $k_e$  değerleri Çizelge 4.22'de verilmiştir.

**Çizelge 4.22.** Köprü ayağı için WOA ile bulunmuş optimum  $k_e$ ,  $F_y$  ve  $R$  değerlerini kullanarak hesaplanmış  $Q/W$  ve  $k_e$  değerleri.

Durum	Uy (m)	İzolator Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	Q/W	Akma sonrası Rijitlik ( $k_d$ ) (kN/m)
1	0.01	40	0-30	0.116	1329.2
2	0.01	40	0-40	0.140	837.8
3	0.01	50	0-30	0.103	974.5
4	0.01	50	0-40	0.118	567.3
5	0.01	60	0-30	0.092	718.1
6	0.01	60	0-40	0.095	397.4
7	0.025	40	0-30	0.102	1494.6
8	0.025	40	0-40	0.145	775.6
9	0.025	50	0-30	0.099	859.8
10	0.025	50	0-40	0.109	488.4
11	0.025	60	0-30	0.090	674.5
12	0.025	60	0-40	0.096	381.5

#### **4.2.1.4. Köprü Ayağı Doğrusal Olmayan Hesaba Göre Gri Kurt Algoritması (GWO) ile Bulunan Optimizasyon Sonuçları**

Bölüm 3’te açıklanan GWO yöntemi kullanılarak sismik izolasyonlu örnek köprü modeli için yapılan doğrusal olmayan izolasyon parametreleri optimizasyon sonuçları aşağıda verilmiştir. Minimum yapılmaya çalışılan  $PSA$  değerleri ve bu  $PSA$  değerlerini veren  $k_e$ ,  $F_y$ ,  $R$  izolasyon parametreleri 12 farklı durum için Çizelge 4.23’te verilmiştir.

**Çizelge 4.23.** Köprü ayağı için GWO ile bulunan akma öncesi rijitlik, akma dayanımı, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ve  $PSA$  değerleri.

Durum	Uy (m)	İzolatör Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	Akma Öncesi Rijitlik ( $k_e$ ) (kN/m)	Akma Kuvveti ( $F_y$ ) (kN)	R ( $k_d/k_e$ )	PSA (g)
1	0.01	40	0-30	50858.3	508.6	0.027	0.2463
2	0.01	40	0-40	60202.9	602.0	0.014	0.2216
3	0.01	50	0-30	44624.8	446.2	0.021	0.2194
4	0.01	50	0-40	50616.0	506.2	0.011	0.1871
5	0.01	60	0-30	40210.8	402.1	0.019	0.2008
6	0.01	60	0-40	40759.9	407.6	0.010	0.1539
7	0.025	40	0-30	19225.7	480.6	0.080	0.2481
8	0.025	40	0-40	25628.3	640.7	0.030	0.2217
9	0.025	50	0-30	17890.1	447.3	0.049	0.2050
10	0.025	50	0-40	19231.2	480.8	0.025	0.1669
11	0.025	60	0-30	16113.8	402.8	0.043	0.1860
12	0.025	60	0-40	16578.2	414.5	0.024	0.1511

Çizelge 4.23’te de GWO ile bulunan izolasyon parametreleri ve  $PSA$  değerleri CSA ve WOA’yı destekler niteliktedir. Ancak optimizasyon felsefesi gereği sonuçlar küçük bir miktar değişiklik göstermektedir.

Çizelge 4.23’de verilen GWO ile bulunmuş  $k_e$ ,  $F_y$  ve R değerleri kullanılarak hesaplanmış Q/W ve  $k_e$  değerleri Çizelge 4.24’de verilmiştir.

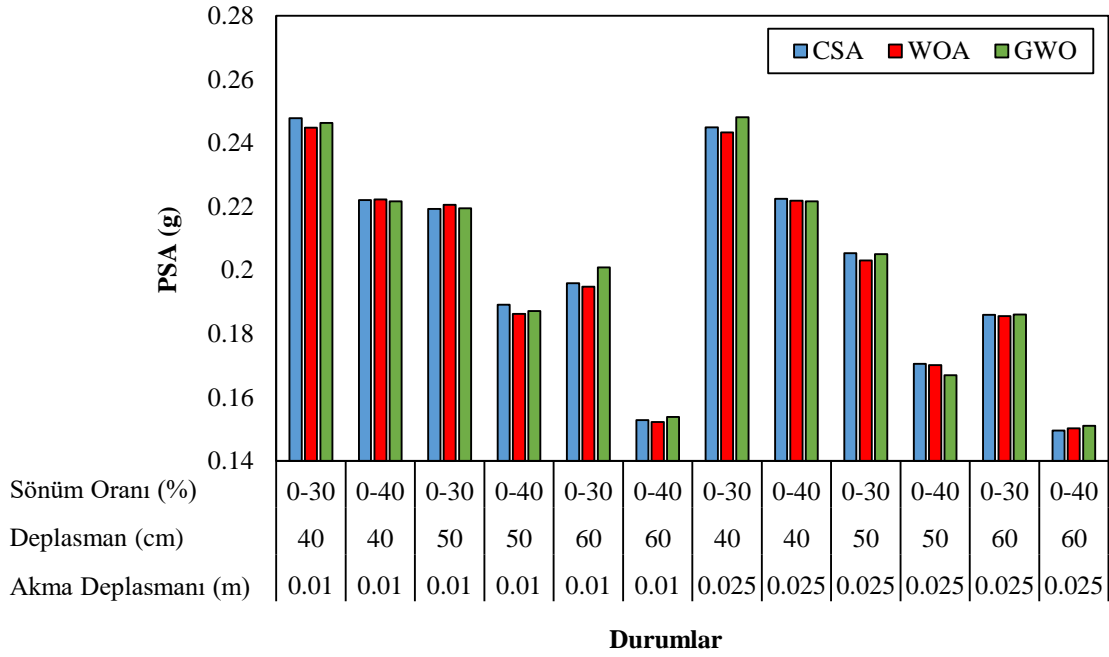
**Çizelge 4.24.** Köprü ayağı için GWO ile bulunmuş optimum  $k_e$ ,  $F_y$  ve R değerlerini kullanılarak hesaplanmış Q/W ve  $k_e$  değerleri.

Durum	Uy (m)	İzolator Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	Q/W	Akma Sonrası Rijitlik ( $k_d$ ) (kN/m)
1	0.01	40	0-30	0.116	1351.4
2	0.01	40	0-40	0.140	829.3
3	0.01	50	0-30	0.103	957.3
4	0.01	50	0-40	0.118	575.8
5	0.01	60	0-30	0.093	761.2
6	0.01	60	0-40	0.095	409.8
7	0.025	40	0-30	0.104	1533.2
8	0.025	40	0-40	0.146	767.9
9	0.025	50	0-30	0.100	874.4
10	0.025	50	0-40	0.110	485.8
11	0.025	60	0-30	0.091	685.7
12	0.025	60	0-40	0.095	389.8

Çizelge 4.24'te GWO ile bulunmuş parametrelerden hesaplanan Q/W ve akma sonrası rijitlik değerleri CSA ve GWO ile bulunan sonuçlara benzer çıkararak, köprü yapıları için doğrusal olmayan hesaplama bulunan izolasyon parametre sonuçlarının 3 ayrı algoritmada da yakın sonuçlar vererek birbirlerini desteklediği ortaya konulmuştur.

#### **4.2.1.5. Köprü Ayağı Doğrusal Olmayan Hesaba Göre Karşılaştırmalı Sonuçlar**

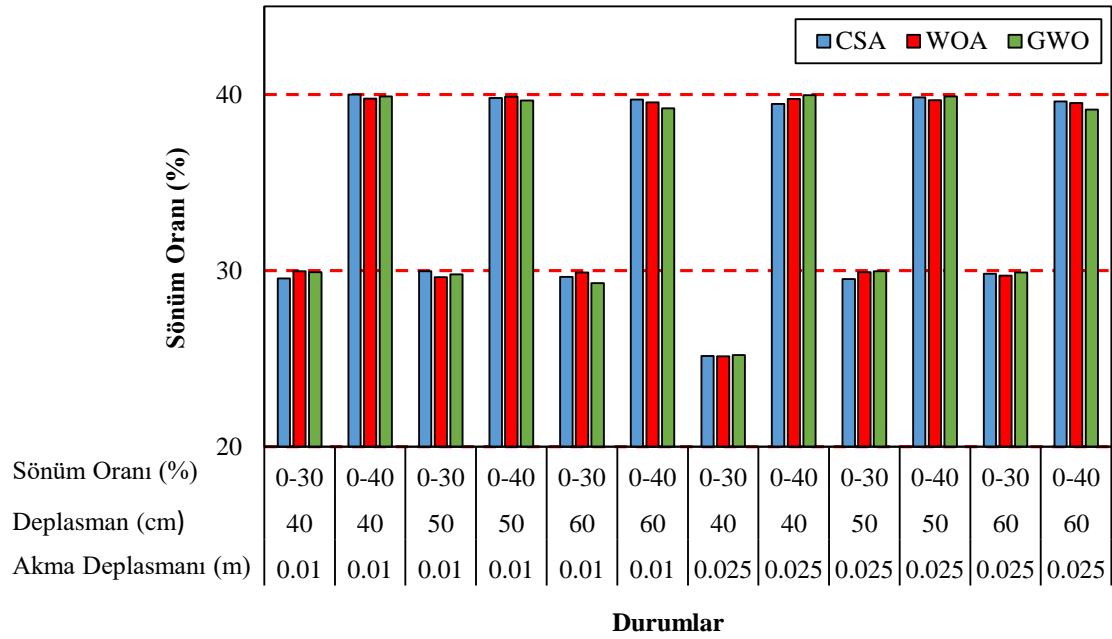
Bu bölümde, 3 farklı optimizasyon algoritması ile sismik izolasyon sistemlerinin doğrusal olmayan hesaba göre bulunan optimum  $k_e$ ,  $F_y$  ve R değerleri kullanarak yapılmış analiz sonuçları sunulmuştur. Çalışmada optimum izolasyon parametrelerini bulmak için minimum yapılmaya çalışılan PSA sonuçları 12 farklı durum için Şekil 4.12'de verilmiştir.



**Şekil 4.12.** Köprü ayağı için durumlara göre optimum izolasyon parametreleri ile bulunan PSA sonuçları.

Şekil 4.12’de amaç fonksiyonu olan *PSA* değerleri her üç algortmada da yakın bulunan akma dayanımı, akma öncesi rijitlik ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı değerleri neticesinde yakın değerler belirlenmiştir. İzolatör akma deplasmanı değerlerine göre tüm deplasman ve sönüm oranı limitlerindeki artışla *PSA* azalma eğilimi göstermektedir. Akma deplasmanındaki değişiklik sonuçlara ciddi bir etki etmese de yüksek akma deplasmanının *PSA* değerini bir miktar azalttığı gözlemlenmiştir. En düşük *PSA* değerini 60cm, %0<( $\xi_0$ )<%40 limitlerinde ve akma deplasmanı 0.025m olan durum vermektedir.

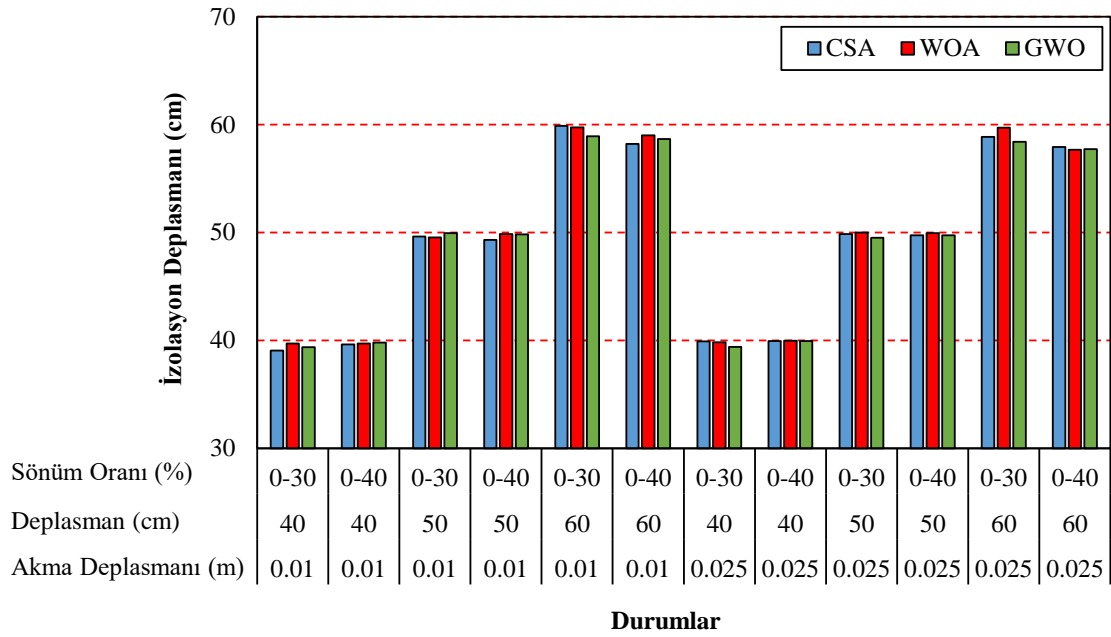
Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan sönüm oranı değerlerinin durumlara göre sonuçları Şekil 4.13’te sunulmuştur.



**Şekil 4.13.** Köprü ayağı için durumlara göre optimum izolasyon parametreleri ile bulunan sönüm oranı sonuçları.

Şekil 4.13'te verilen sönüm oranı sonuçlarına göre  $U_y$ 'nin 0.025m, 40cm deplasman limiti ve  $0 < (\xi_0) < 30$  sönüm oranı limiti haricinde tüm durumlarda limit sönüm oranı değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca bu durum hariç diğer tüm durumlarda sönüm oranının üst limitlere ulaşması optimizasyon işleminde sönüm oranının kısıt olarak çalıştığını göstermektedir.

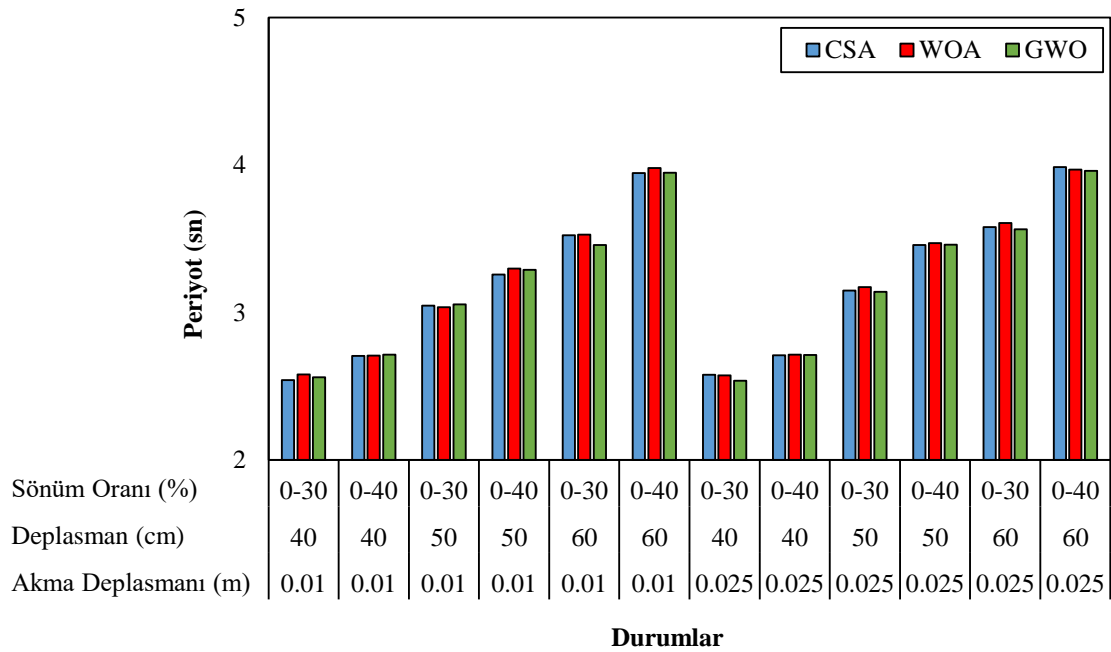
Köprü ayağı için optimum izolasyon parametreleri ile bulunan izolasyon deplasman değerleri sonuçları farklı durumlar için Şekil 4.14'te sunulmuştur.



**Şekil 4.14.** Köprü ayağı için durumlara göre optimum izolasyon parametreleri ile bulunan izolasyon deplasman sonuçları.

Köprü modeli için doğrusal olmayan sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonunda ele alınan tüm limit durumlarında deplasmanların üst limitlere ulaştığı Şekil 4.14'te gözlemlenmiştir. Sadece 60cm deplasman ve  $0 < (\xi_0) < 40$  sönüm limitlerinde,  $U_y$ 'nin 0.01m ve 0.025m olması durumlarında deplasman üst limite tam ulaşmamaktadır.

Doğrusal olmayan hesaba göre ve köprü modeli için optimum izolasyon parametreleri kullanılarak izolasyon deplasmanına karşılık gelen efektif periyot değerlerinin farklı durumlar için sonuçları Şekil 4.15'te sunulmuştur. Efektif periyot değerleri Eşitlik 1.10 kullanılarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.15.** Köprü ayağı için durumlara göre optimum izolasyon parametreleri ile bulunan efektif periyot sonuçları.

Şekil 4.15'te bulunan periyot sonuçlarına göre tüm durumlar için deplasman limiti ve sönüm oranı limitleri arttıkça deplasman artışı ile birlikte periyot değerleri de artmaktadır. Hatta ( $d_0$ )<60cm limitlerinde periyot değerleri üst limit olan 4 saniyeye oldukça yaklaşmaktadır.

#### **4.2.1.6. Köprü Ayağı Doğrusal Olmayan Hesaba Göre Etkin Deprem Kayıtları**

Çalışmada 3 farklı algoritma ve 12 farklı durum için de aynı 6 yer ivme kaydı kullanılmış, analizler sonucunda en büyük izolasyon deplasmanı ve en büyük PSA değerini veren ivme kayıtları Çizelge 4.25'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.25.** Köprü ayağı modelinde 12 farklı durum için optimum sonuçları veren deprem ivme kayıtları

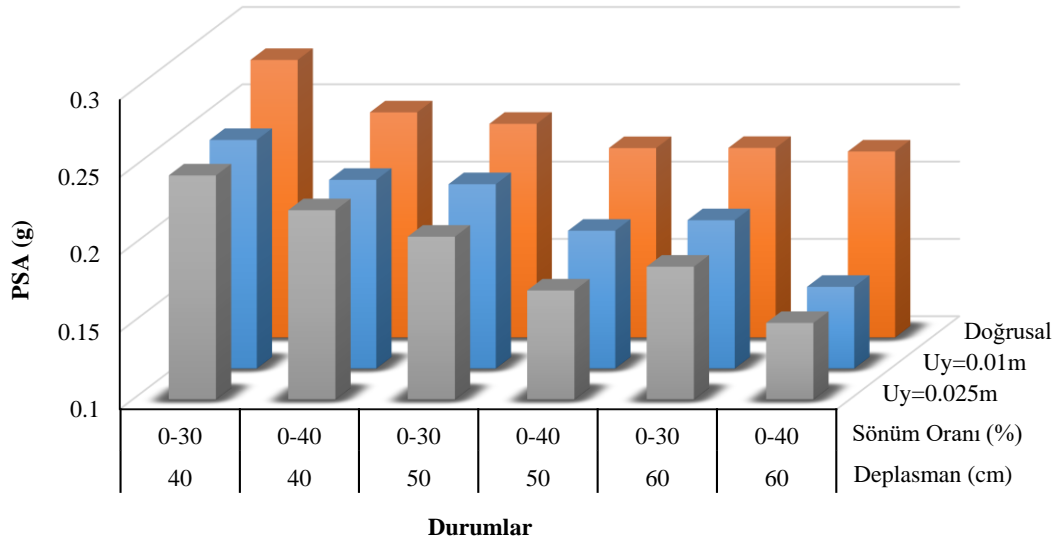
Durum	Akma Deplasmanı (m)	Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	En Büyük Deplasmanı Veren Deprem			En Büyük PSA Veren Deprem		
				CSA	WOA	GWO	CSA	WOA	GWO
1	0.01	40	0-30	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
2	0.01	40	0-40	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
3	0.01	50	0-30	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
4	0.01	50	0-40	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
5	0.01	60	0-30	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
6	0.01	60	0-40	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
7	0.025	40	0-30	Tabas	Tabas	Tabas	Loma Prieta	Tabas	Loma Prieta
8	0.025	40	0-40	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
9	0.025	50	0-30	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
10	0.025	50	0-40	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta
11	0.025	60	0-30	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas	Tabas
12	0.025	60	0-40	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta	Loma Prieta

Çizelge 4.25'e göre kayma çerçevesi ve köprü modelinin doğrusal izolasyon çözümlerinde olduğu gibi köprülerin doğrusal olmayan sonuçlarına göre de etkin ivme kayıtları Tabas ve Loma Prieta'dır.  $U_y$ 'nin 0.01 olduğu tüm durumlarda Tabas depremi hem en büyük deplasmanı hem de PSA'yı veren deprem olduğu görülmüştür.  $U_y$ 'nin 0.025 olduğu durumlarda ise düşük deplasmanlı ve düşük sönümlü durumlar için en büyük deplasmanı veren deprem yine Tabas olurken yüksek sönümlü ve yüksek deplasmanlı durumlarda Loma Prieta baskın deprem olmaktadır. Bu sonuçlarla birlikte izolatör akma deplasmanının değişiminin hem en büyük deplasmanı hem de en büyük PSA veren depremleri etkilediği görülmüştür. Depremlerin kendilerine has karakteristikleri gereği deplasman ve PSA değerlerinin yanı sıra izolatör akma deplasman değeri de köprülerde farklı tepkiler oluşturmaktadır. Yine  $U_y$ 'nin 0.025 olduğu durumlarda  $0 < (\xi_0) < 30$  sönüm limitlerinde genellikle Tabas depremi,  $0 < (\xi_0) < 40$  sönüm oranı limitli durumlarda ise Loma Prieta depreminin etkin depremler olduğu belirlenmiştir.

### 4.3. Köprü Modeli için Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Hesaba göre Bulunan Optimizasyon Sonuçlarının Karşılaştırması

Kayma çerçevesi modelinin optimizasyonu doğrusal hesaba göre yapılarak literatürdeki başka bir çalışma ile karşılaştırıldığında uygun sonuçlar elde edildiğinden önerilen sezgisel algoritmali yöntem gerçek boyutlu bir köprü ayağı modeline uygulanmıştır. Bulunan doğrusal hesaba göre sonuçların haricinde yine sadece köprü ayağı modeli için doğrusal hesaba göre bir yöntem önerilip sonuçlar sunulmuştur. Köprü ayağı modeli için önerilen doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre bulunan sonuçlar bu bölümde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar, doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre sonuçlar kendi içlerinde birbirlerine çok yakın bulunduğundan bu bölümdeki karşılaştırmalar sadece CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap sonuçları üzerinden yapılmıştır. Köprü ayağı için WOA ve GWO ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap sonuçları karşılaştırmaları bu bölümde sunulan karşılaştırmalar ile oldukça benzer olacaktır. Karşılaştırmalar, doğrusal ve doğrusal olmayan ( $U_y=0.01m$ ,  $U_y=0.025m$ ) olduğu sonuçlar arasında aynı limit durumlarında *PSA*, sönüm oranı, izolatör deplasmanı ve periyot değerleri için yapılmıştır. İki hesap yöntemi için aynı limitler;  $(d_0)<40cm$ ,  $(d_0)<50cm$  ve  $(d_0)<60cm$  deplaman limitleri ve  $\%0<(\xi_0)<\%30$  ve  $\%0<(\xi_0)<\%40$  sönüm oranı limitleri olduğundan, bu limitlerin birbirleri ile kombinasyonlandığı toplam 6 durum için karşılaştırma yapılmıştır.

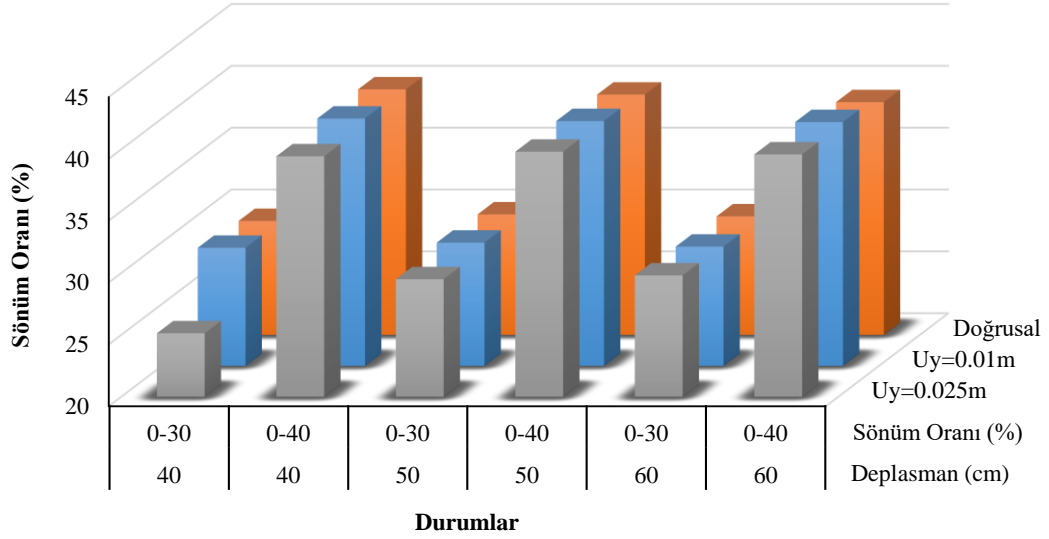
CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için *PSA* sonuç karşılaştırmaları Şekil 4.16'da verilmiştir.



**Şekil 4.16.** CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için *PSA* sonuç karşılaştırmaları.

Şekil 4.16'ya göre *PSA* sonuçları doğrusal olmayan hesaba bulunan sonuçlar için her durumda daha düşük çıkmıştır. Doğrusal olmayan hesap sonuçlarında izolatör akma deplasmanı  $U_y$ 'nin 0.01m ve 0.025m olması *PSA* sonuçlarında küçük farklar oluştursa da özellikle ( $d_0$ )<60cm ve  $0 < (\xi_0) < 40$  olan durumda doğrusal hesap *PSA* sonuçlarına göre doğrusal olmayan *PSA* sonuçlarının %25 daha düşük olduğu görülmüştür.

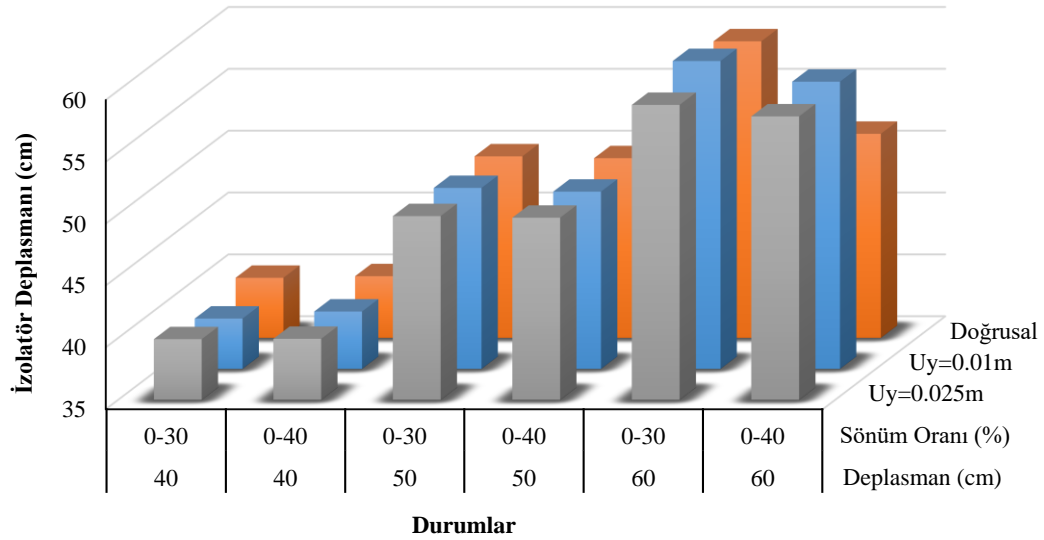
CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için sönüm oranı sonuç karşılaştırmaları Şekil 4.17'de sunulmuştur.



**Şekil 4.17.** CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için sönüm oranı sonuç karşılaştırmaları.

Doğrusal ve doğrusal olmayan sönüm oranı değerlerinin karşılaştırıldığı Şekil 4.17'ye göre  $U_y=0.025m$ ,  $(d_0)<40cm$  ve  $0<(\xi_0)<30$  durumu haricindeki tüm durumlarda, doğrusal ya da doğrusal hesap fark etmeksizin üst sönüm oranı limitine ulaşıldığı, doğrusal ve doğrusal olmayan hesap sönüm oranı sonuçlarının birbirlerine paralel çıktığı belirlenmiştir. Doğrusal olmayan hesap sonuçlarına göre  $U_y$ 'nin değişiminin sönüm oranı üzerinde ciddi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bu sonuçlara bakılarak köprü modelinde sönüm oranının doğrusal ve doğrusal olmayan hesap için limitleyici olduğu düşünülmektedir.

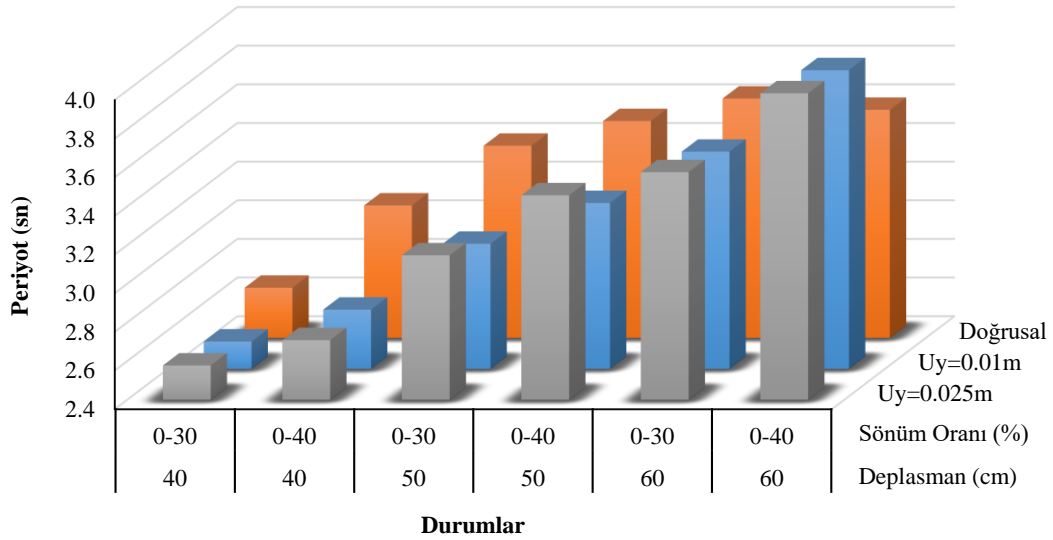
CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için izolatör deplasmanı sonuç karşılaştırmaları Şekil 4.18'de verilmiştir.



**Şekil 4.18.** CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için izolatör deplasmanı sonuç karşılaştırmaları.

İzolatör deplasman sonuçlarına göre doğrusal ve doğrusal olmayan sonuçlar birbirlerine benzer şekilde limit değere genellikle ulaşıldığı 4.18'den görülmektedir. Özellikle  $(d_0) < 60\text{cm}$  ve  $0 < (\xi_0) < 40$  durumunda doğrusal ve doğrusal olmayan sonuçlar limit değere ulaşamayarak doğrusal sonuçlara göre 51.5cm ve doğrusal olmayan sonuçlara göre 58cm'de kalmıştır. Doğrusal olmayan hesabın özellikle yüksek deplasman ve sönüm oranı limitlerinde, izolatör deplasman limitlere daha çok yaklaştırdığı görülmüştür.

CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için periyot sonuç karşılaştırmaları Şekil 4.19'da sunulmuştur.



**Şekil 4.19.** CSA ile bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesaba göre 6 farklı durum için periyot sonuç karşılaştırmaları

Şekil 4.19'a göre doğrusal olmayan hesabın bulduğu periyot sonuç değerleri, doğrusal hesaba göre düşük deplasman ve düşük sönüm oranı limitleri için daha düşük, yüksek deplasman ve yüksek sönüm oranı limitleri için daha yüksek belirlenmiştir. Doğrusal olmayan hesaba göre  $U_y$ 'nin 0.01 olduğu durumlarda  $U_y$ 'nin 0.025 olduğu durumlar için daha düşük periyot değerleri bulunmuştur. Özellikle  $(d_0) < 40$ cm ve  $0 < (\xi_0) < \%40$  durumunda doğrusal hesap periyot sonuçları doğrusal olmayan hesap periyot sonuçlarına göre 0.3sn daha fazla çıkarırken  $(d_0) < 60$ cm ve  $0 < (\xi_0) < \%40$  durumunda doğrusal olmayan hesap periyot sonuçlarına göre limit değer olan 4sn'ye ulaşarak doğrusal hesap periyot sonuçları 0.4sn daha fazla çıktığı görülmüştür.

#### 4.4. Sismik İzolasyon Parametrelerinin Optimizasyonu için Algoritmalar Arası Performans Karşılaştırması

Bu bölümde sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonu için kullanılan CSA, WOA ve GWO sezgisel algoritmaları arasında performans karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırma kayma çerçevesi için PRA/PGA ve köprü ayağı için PSA parametrelerini uygulanan 36 farklı durum için en düşük bulan algoritma üzerinden yapılmıştır. Her bir durum için algoritmalar kullanılarak optimizasyon işlemi 3 kez tekrar

edilmiş, bulunan en iyi sonuçlar kullanılarak algoritmalar arası sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonu için en iyi sonuçları veren durum adetleri ve yüzdeleri Çizelge 4.26’da verilmiştir.

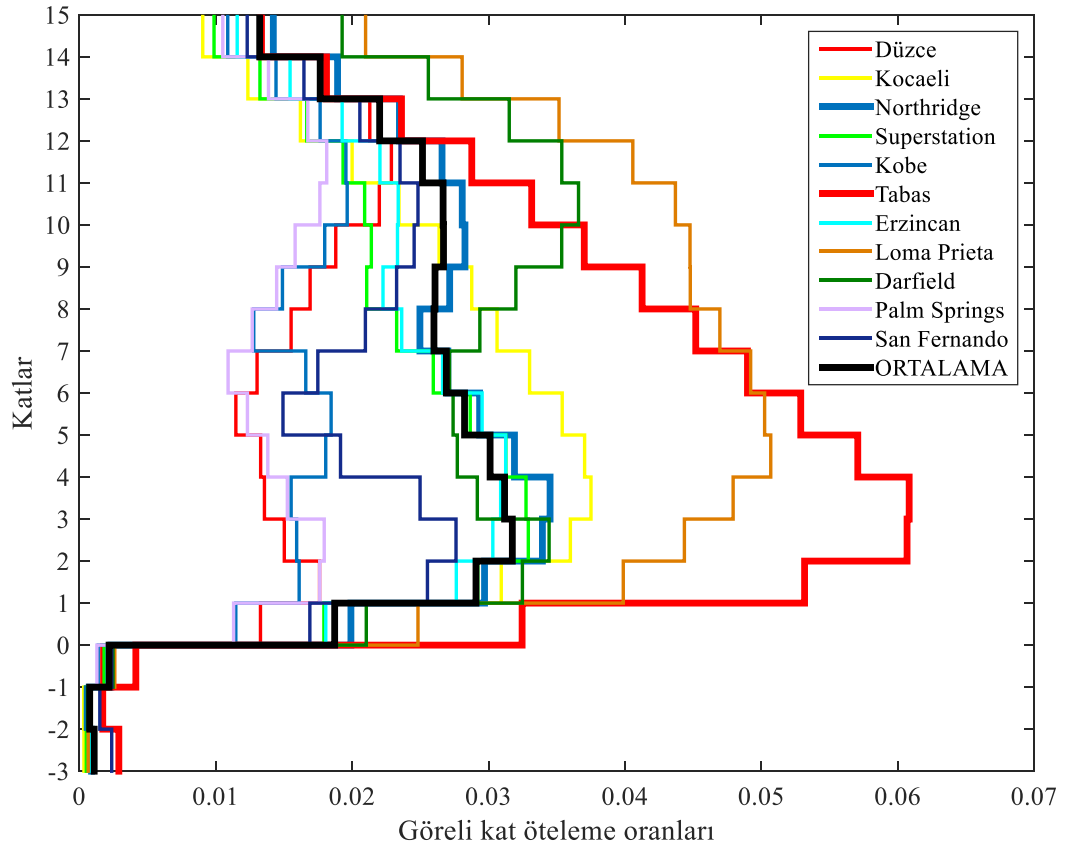
**Çizelge 4.26.** Algoritmalar arası sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonu için en iyi sonuçları veren durum adetleri ve yüzdeleri.

Model	Çözüm Yöntemi	Toplam Durum	Algoritma Tipi		
			CSA	WOA	GWO
Kayma Çerçevesi	Doğrusal	9	4	2	3
	Doğrusal Olmayan	12	2	7	3
Köprü Ayağı	Doğrusal	15	3	7	5
	Doğrusal Olmayan	12	2	7	3
Toplam		36	9	16	11
Yüzde (%)		100	25	44	31

Çizelge 4.26’ya göre toplam sonuçlara %44 oranla ile en yüksek performansı veren algoritma WOA’dır. WOA’dan sonra ikinci en iyi performans %31 ile GWO’dur. CSA ise %25 ile kullanılan algoritmalar arasında düşük performansa sahip algoritma olarak belirlenmiştir.

#### 4.5.15 Katlı Yapı Modelinde Optimum Viskoz Sönüm Duvarı Yerleşiminin Bulunması

Bölüm 3’te özellikleri sunulan 15 katlı yapı modeli viskoz sönüm duvarı optimizasyonu için kullanılmıştır. Yapı açıklıklarına yerleştirilen viskoz sönümleme duvarı optimizasyonu için Bölüm 3’te sunulan 11 ivme kaydı seti kullanılmıştır. Bu 11 ivme kaydı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne (TBDY, 2018) uygun şekilde ölçeklendirilmiştir. Ancak işlem süresi göz önüne alınarak 11 ivme kaydının tamamı optimizasyon işlemine sokulmamış, kritik olduğu belirlenen 2 tanesi ile analizler yapılarak bulunan optimum yerleşim ile 11 ivme kaydının yapıda oluşturduğu tepkiler hesaplanarak elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Bu 2 ivme kaydının seçimi için viskoz sönüm duvarı olmadan 11 ivme kaydı ile analiz yapılmıştır. Analiz sonucu belirlenen görel kat öteleme oranları ve ortalamaları Şekil 4.20’de verilmiştir.



**Şekil 4.20.** Viskoz sönüm duvarı olmadan 11 ivme kaydının yapıda oluşturduğu görelî kat öteleme oranları.

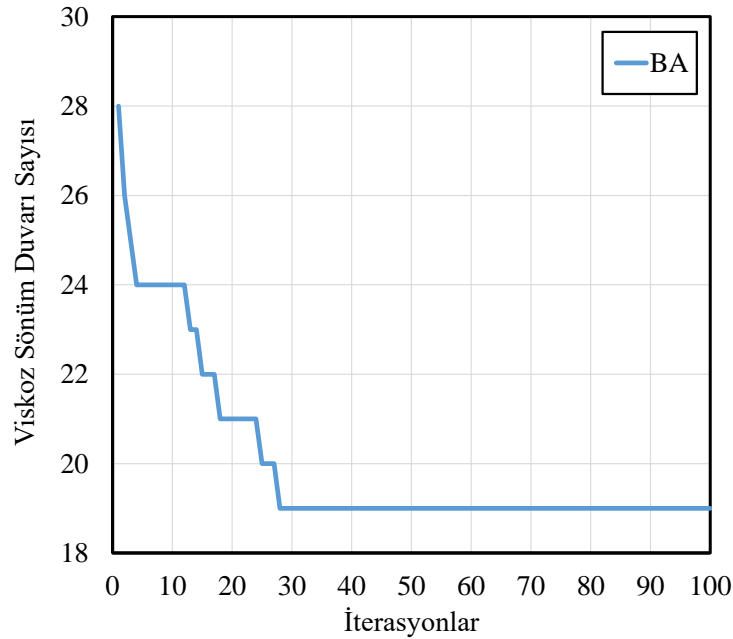
İşlem süresi göz önüne alınarak deprem seçme işlemi için en büyük görelî kat öteleme oranı veren ivme kaydı ve ortalamaya en yakın olan ivme kaydı seçilmiştir. Böylelikle yapılacak optimizasyon için gerekli olan analiz süresi önemli ölçüde azaltılmıştır. Şekil 4.20’de görüldüğü gibi en büyük görelî kat öteleme oranlarını veren ivme kaydı Tabas’tır. Ayrıca ortalamaya en yakın görelî kat öteleme oranı veren ivme kaydı ise Northridge ivme kaydıdır. Optimizasyon işlemi bu iki depremin zaman tanım alanında analizleri ile yapılmıştır.

Bölüm 3.15’te sunulan yöntemde limit olarak 2 parametre kullanılmıştır. Bu parametreler görelî kat öteleme oranı ( $s_{limit}$ ) ve en büyük kat ivme ( $a_{limit}$ ) değerleridir. TBDY (2018)’deki yüksek bina tasarımına göre kat öteleme oranları sınırlandırılmıştır. Buna göre 11 depremin ortalama değerine göre kat öteleme oranı %3’ten, en büyük görelî kat öteleme oranı değeri %4.5’ten küçük olması gerekmektedir. En büyük kat ivme limiti

literatürdeki çalışmalara uygun olarak  $10\text{m/sn}^2$  olarak seçilmiştir (Elenas ve Meskouris, 2001; Gunturi, 1993; Lagaros ve Mitropoulou, 2013). Literatürdeki çalışmalarda kat ivmelerinin, özellikle yapı tipine ve yapı kullanım amacına göre farklı değerlerde limitlenmesi gerekmele beraber farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bu çalışmada betonarme yüksek katlı bir örnek bina ele alındığından ve yapı özelliklerine göre uygun sayıda viskoz sönüm duvarı yerleştirmek açısından (yapılan ön çalışmalarla optimizasyon işleminin yeterliliğini gösterecek şekilde belirlenerek)  $10\text{m/sn}^2$  seçilmiştir. Ancak sezgisel algoritmaların kullanıldığı yöntemde, uygulanacak yapı tipine uygun en büyük görelî kat öteleme oranı limitini ve en büyük kat ivme limitini de istenilen seviyede uygulayarak viskoz sönüm duvarı sayı ve yerleşim optimizasyonu yapmak mümkündür.

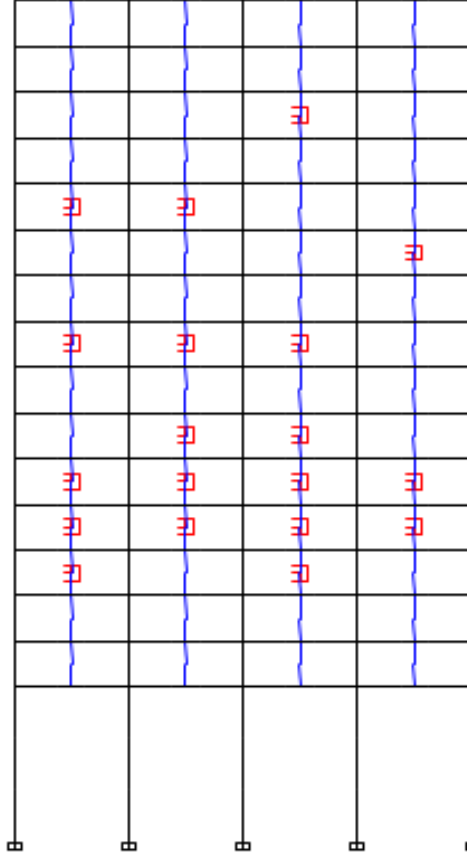
#### 4.5.1. Yarasa Algoritması (BA) ile Optimum Viskoz Sönüm Duvarı Yerleşiminin Bulunması

15 katlı yapı modelinde, belirlenen limitler aşılmadan minimum sayıda viskoz sönüm duvarı (VSD) kullanmak için VSD'lerin açıklıklardaki en uygun pozisyonlarını belirlemek için bu bölümde yarasa optimizasyon algoritması (BA) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bulunan yaklaşım eğrisi Şekil 4.21'de verilmiştir.



**Şekil 4.21.** Yarasa optimizasyon algoritması (BA) ile viskoz sönüm duvarı optimizasyonu yaklaşım eğrisi.

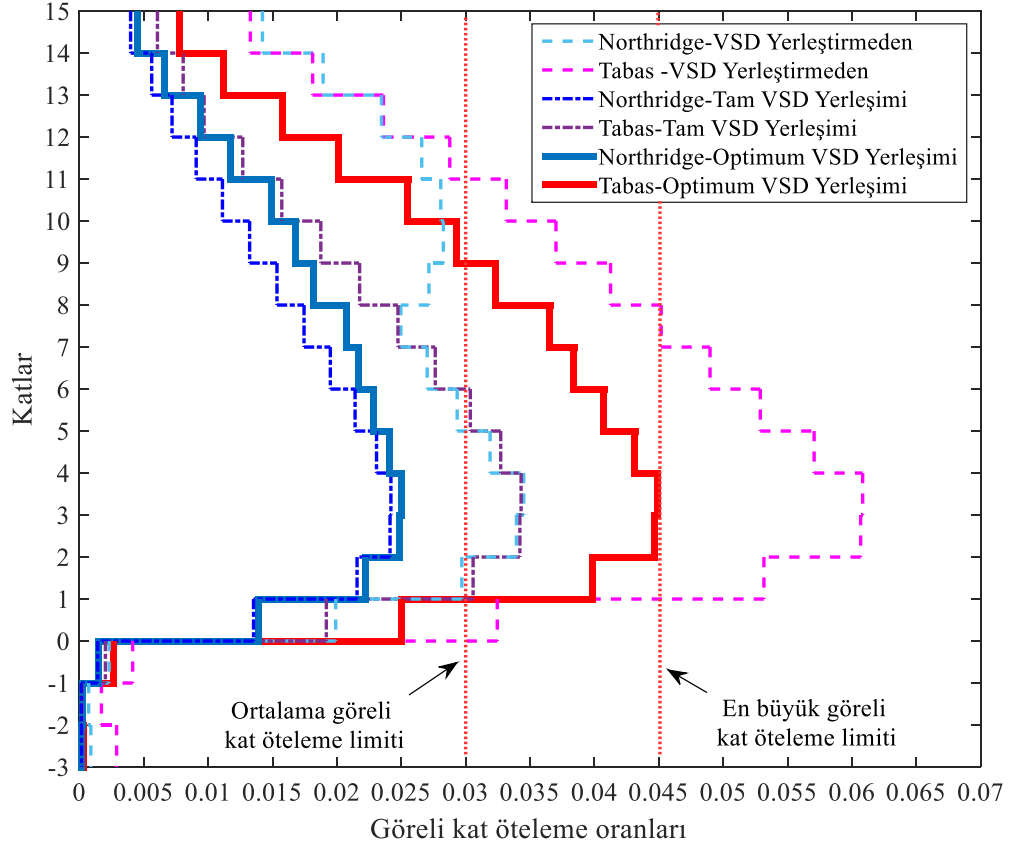
Şekil 4.21’de görüldüğü gibi örnek yapı için optimum viskoz sönüm duvarı sayısı 19 adet bulunmuştur. Başlangıç viskoz sönüm duvarı sayısı rastgele bir değer olduğu için 28 adet ile başlamış, 28. iterasyonda optimum sonuç bulunmuştur. Yarasa optimizasyon algoritması ile bulunan 19 adet viskoz sönüm duvarının yapı modeline optimum yerleşimi Şekil 4.22’de verilmiştir.



**Şekil 4.22.** Yarasa algoritması (BA) ile minimum adette bulunan viskoz sönüm duvarlarının yapı üzerindeki optimum yerleşim açıklıkları.

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi viskoz sönüm duvarları alt ya da üst katlara yerleşmemekte, genellikle yapının orta katlarına yerleşmektedir. Elde edilen optimum sonuçlar 15 katlı binada viskoz sönüm duvarı yerleştirilmeden ve ayrıca tüm açıklıklara viskoz sönüm duvarı yerleştirilerek (tam viskoz sönüm duvarı yerleşimi) elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylelikle 2 ekstrem durumda elde edilen yapı tepkileri optimum viskoz sönüm duvarı yerleşimi ile elde edilen yapı tepkileri ile kıyaslanabilmektedir. Şekil 4.23’de yarasa algoritması kullanılarak belirlenen yerleşim

durumlarına göre viskoz sönüm duvarlarının (VSD) yapıda oluşturduğu en büyük görelî kat öteleme oranları verilmiştir.

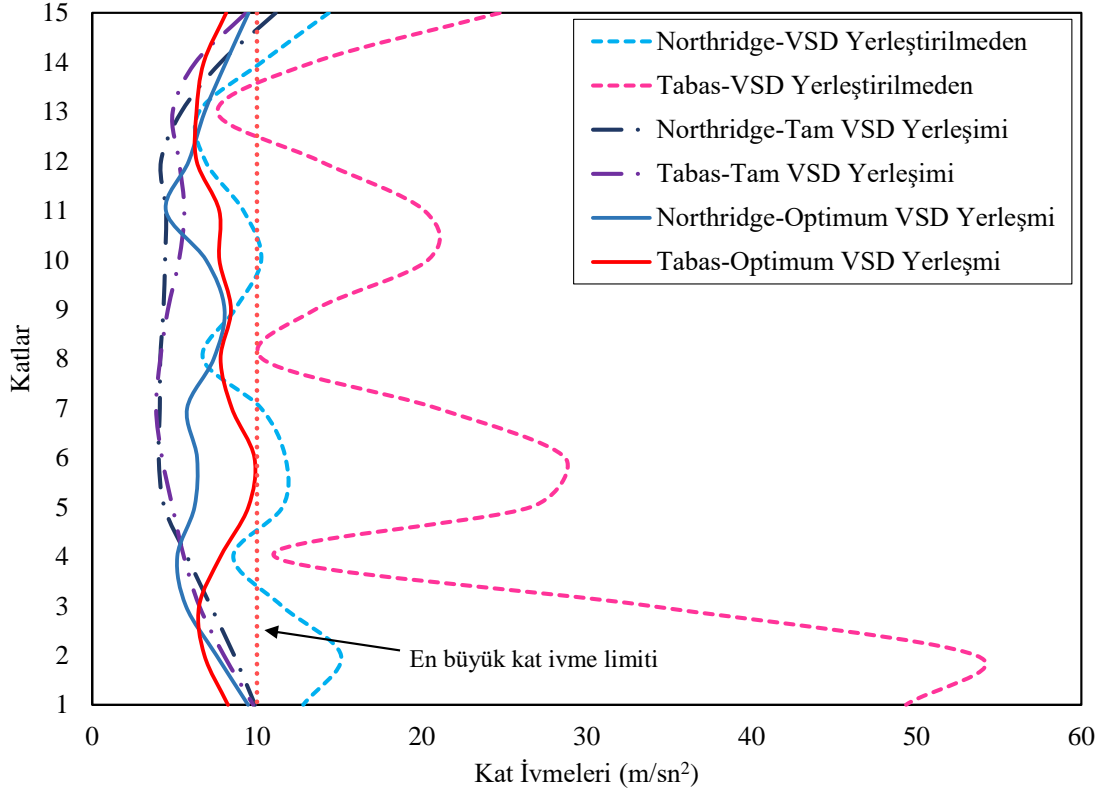


**Şekil 4.23.** Yarısa algoritması (BA) kullanılarak farklı VSD yerleşim durumları için oluşturulan yapı kombinasyonlarında en büyük görelî kat öteleme oranları.

Şekil 4.23’de Tabas ivme kaydının optimum viskoz sönüm duvarı yerleşiminde 4. katta limit değer olan %4.5’e kadar geldiği görülmektedir. Optimizasyon işlemine analizi yapılan diğer ivme kaydı olan Northridge’nin yapıda oluşturduğu en büyük görelî kat öteleme oranı ise limit değer olan 0.03’ü geçmeyerek 0.025’te kalmış, en büyük görelî kat öteleme oranı Tabas ivme kaydının oluşturduğu görelî kat öteleme oranına paralel şekilde 4. katta oluşmuştur. Ayrıca, viskoz sönüm duvarı olmadan oluşan Tabas depremi için en büyük görelî kat öteleme oranı 0.06 seviyesinden optimum viskoz sönüm duvarı yerleşimi ile limit seviye olan 0.045’e, Northridge depremi için en büyük görelî kat öteleme oranı 0.035 seviyesinden optimum viskoz sönüm duvarı yerleşimi ile limit

seviyenin altında olan 0.025'e inmiştir. Bu sonuçtan, viskoz sönüm duvarı optimum yerleşimi için belirleyici etkin depremin Tabas olduğu görülmüştür.

Şekil 4.24'te yerleşim durumlarına göre viskoz sönüm duvarlarının yapıda oluşturduğu en büyük ivme değerleri verilmiştir.

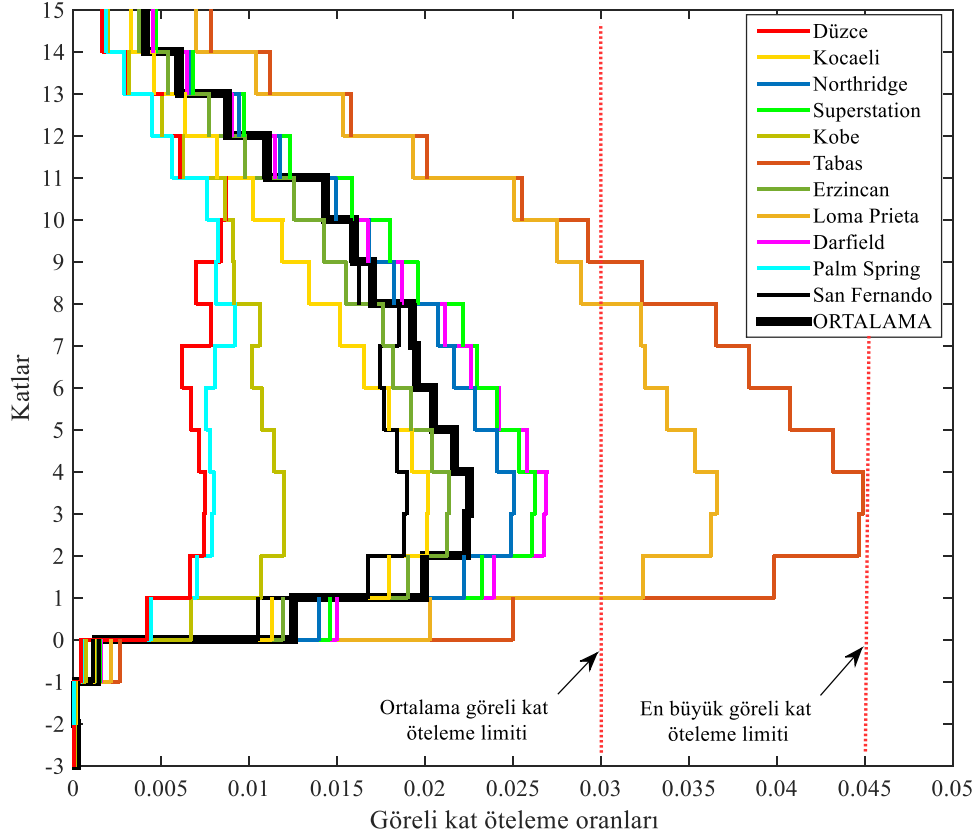


**Şekil 4.24.** Yarasa algoritması (BA) kullanılarak farklı VSD yerleşim durumları için oluşturulan yapı kombinasyonlarında en büyük kat ivme değerleri.

Viskoz sönüm duvarı olmadan tasarlanan yapıda ivme değerleri Şekil 4.24'te görüldüğü gibi  $50 \text{ m/sn}^2$ 'yi aşarken, yarasa algoritması kullanarak oluşturulan optimum VSD yerleşimli yapı için ivme değeri de limite yaklaşarak  $9.8432 \text{ m/sn}^2$  olarak Tabas ivme kaydında hesaplanmıştır. Optimum VSD yerleşimi için Tabas ivme kaydında en büyük ivme değeri 6. katta oluşmuştur. Ayrıca optimum VSD yerleşimi için Northridge ivme kaydı 15. katta  $9.4899 \text{ m/sn}^2$  ivme oluşturmuştur.

Yarasa algoritmasının kullanıldığı yöntemle, yapı iki yüzünde toplam 38 (19+19 simetrik yerleşim) viskoz sönüm duvarını uygun yerlere yerleştirilerek Tabas ve Northridge ivme kayıtlarının yapıda oluşturduğu tepkiler önceden belirlenen limitler

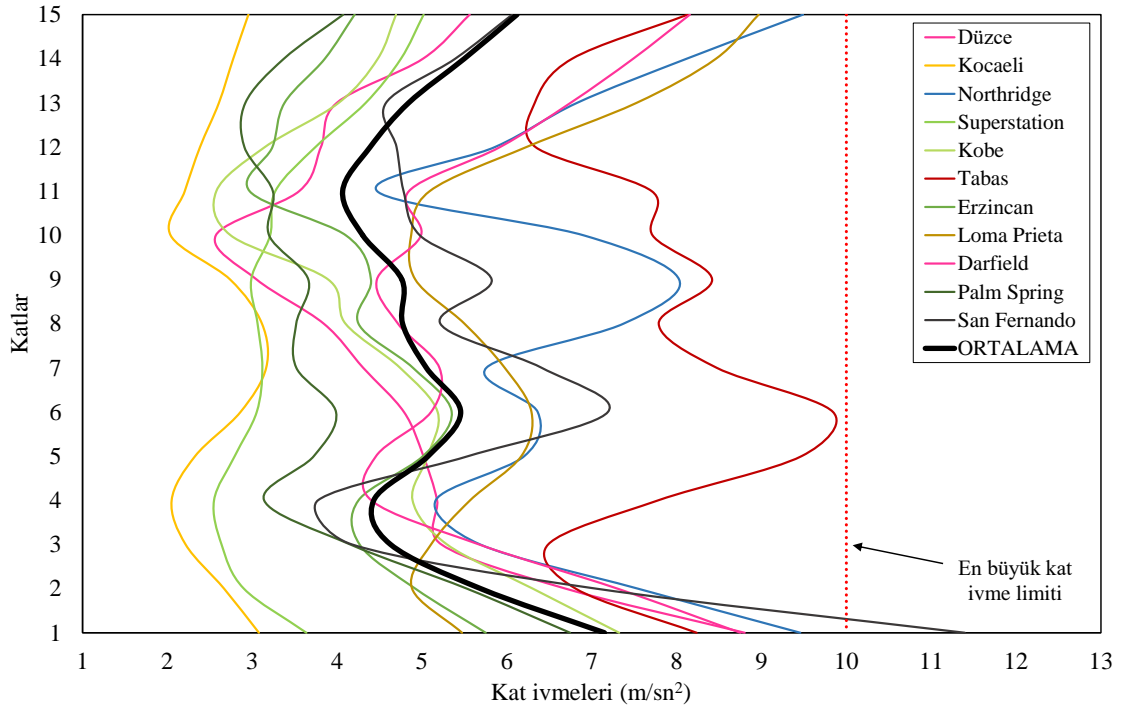
içinde olduğu tespit edilmiştir. Yarasa algoritması kullanarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük görelî kat öteleme oranlarının ortalamaları Şekil 4.25'te sunulmuştur.



**Şekil 4.25.** Yarasa algoritması (BA) kullanarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük görelî kat öteleme oranları ve ortalamaları.

Şekil 4.25'ten görüleceği üzere optimum VSD yerleşimine göre ortalama görelî kat öteleme oranı en çok 0.0225 olarak belirlenmiştir. Düzce depremi yapıda en düşük görelî kat öteleme oranını oluştururken optimizasyon işleminde kullanılan Tabas depremi en yüksek kat öteleme oranına ulaşmaktadır.

Yarasa algoritması kullanarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük kat ivmelerinin ortalamaları Şekil 4.26'da sunulmuştur.



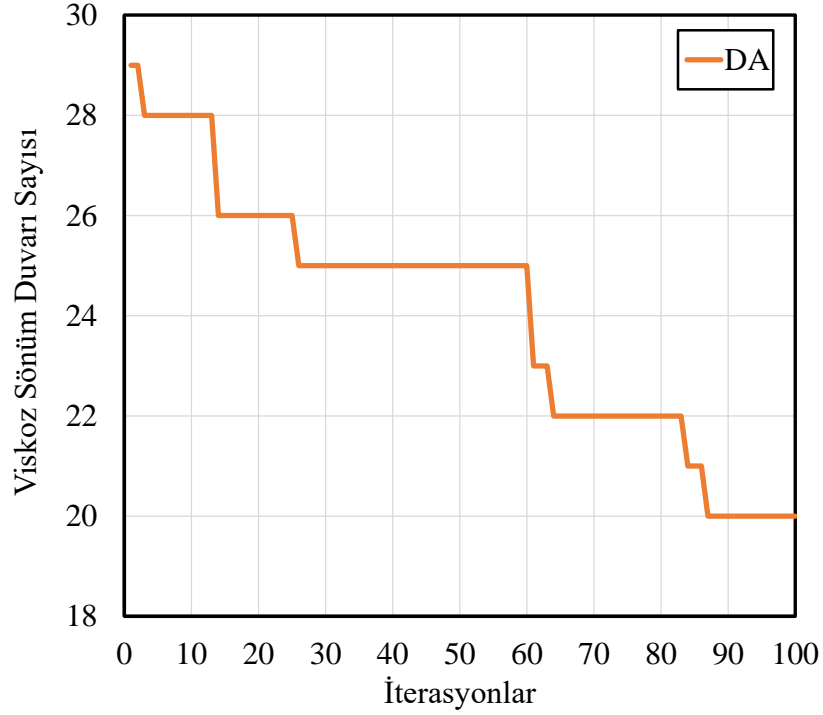
**Şekil 4.26.** Yarası algoritması kullanılarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük kat ivmeleri ve ortalaması.

Şekil 4.26'ya göre 11 depremin ortalama kat ivmelerinin en yüksek değeri 1. katta,  $7.7505 \text{ m/sn}^2$  olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sürecinde kullanılan Tabas depreminin en büyük kat ivmesi yaklaşık olarak  $10 \text{ m/sn}^2$  olarak hesaplanmış iken, San Fernando depremi  $11.3958 \text{ m/sn}^2$  ile Tabas depremi en büyük kat ivme değerini 1. Katta geçmektedir. San Fernando depremindeki bu durumun dışında ortalama deprem ve en büyük depremi seçerek optimizasyon işleminin kabul edilebilir olduğunu ve optimizasyon sürecini önemli ölçüde kısalttığı görülmüştür. Optimum VSD yerleşiminde ilk katlara VSD yerleşimi yapılmadığından ilk katlarda kat ivmelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Seçilen depremlerin yapılar üzerinde farklı tepkiler oluşturduğu belirlenmiştir.

#### 4.5.2. Yusufçuk Algoritması (DA) ile Optimum Viskoz Sönüm Duvarı Yerleşiminin Bulunması

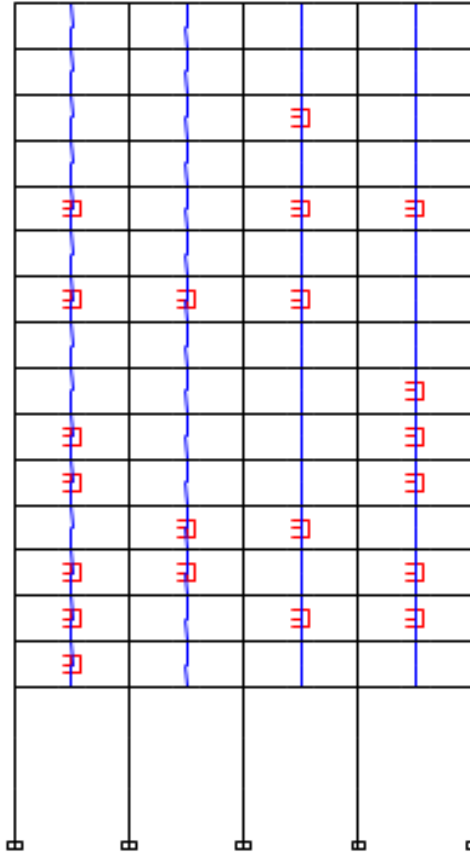
15 katlı yapı modelinde belirlenen limitler aşılmadan minimum sayıda viskoz sönüm duvarı (VSD) kullanmak için VSD'lerin açıklıklardaki en uygun pozisyonlarını

belirlemek için bu bölümde yusufçuk optimizasyon algoritması (DA) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bulunan yaklaşım eğrisi Şekil 4.27’de verilmiştir.



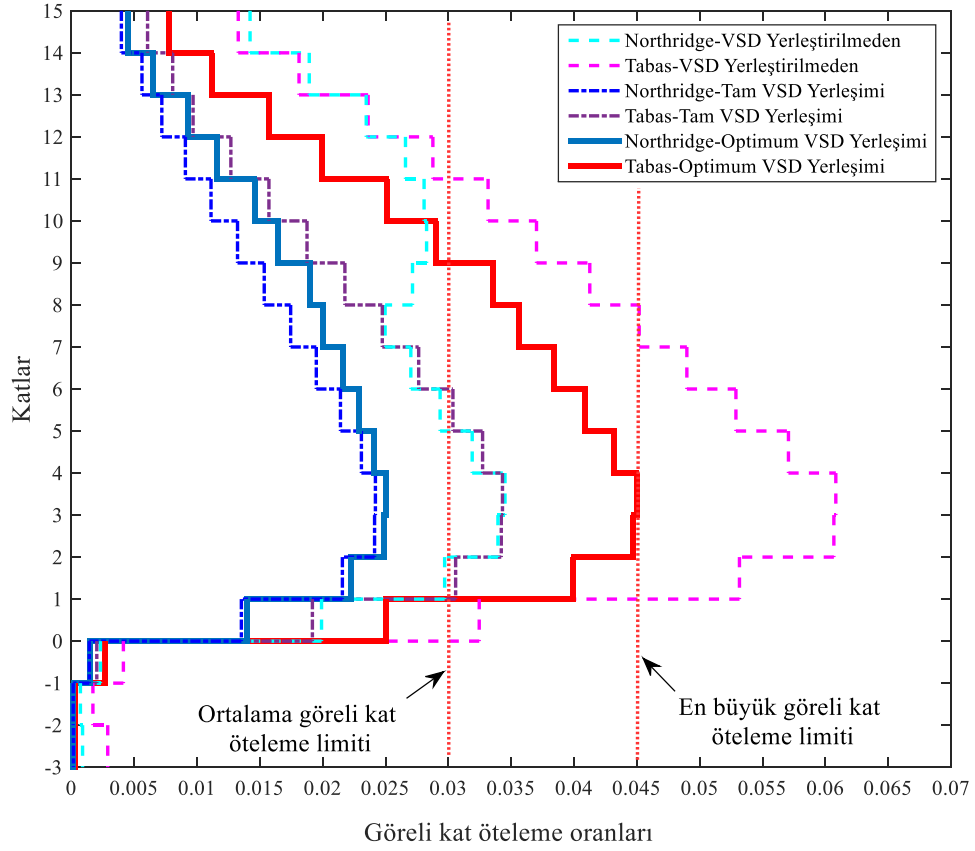
**Şekil 4.27.** Yusufçuk (DA) algoritması ile viskoz sönüm duvarı optimizasyonu yaklaşım eğrisi.

Şekil 4.27’de sunulduğu gibi örnek yapı için optimum viskoz sönüm duvarı sayısı 20 adet bulunmuştur. Başlangıç viskoz sönüm duvarı sayısı rastgele bir değer olduğu için 29 adet ile başlamış, 85. iterasyonda optimum sonuç bulunmuştur. Yusufçuk optimizasyon algoritması ile bulunan 20 adet viskoz sönüm duvarının yapı modeline optimum yerleşimi Şekil 4.28’de verilmiştir.



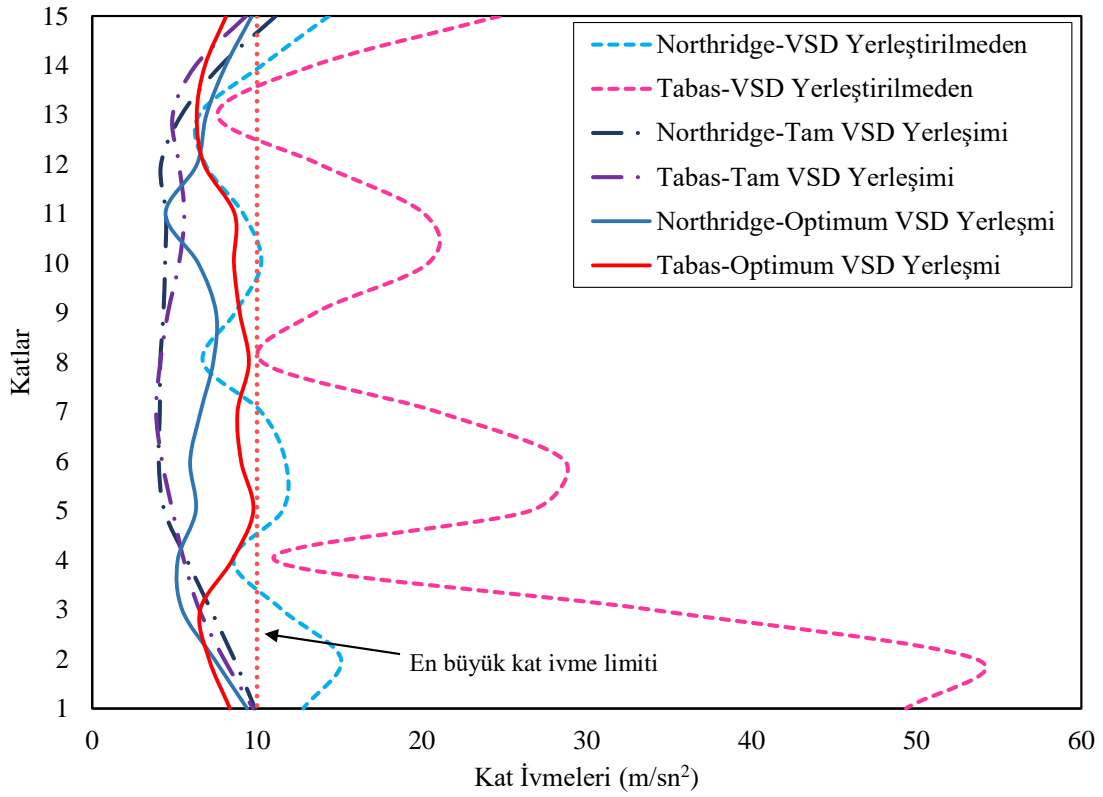
**Şekil 4.28.** Yusufçuk algoritması (DA) ile minimum adette bulunan viskoz sönüm duvarlarının yapı üzerindeki optimum yerleşimi.

Şekil 4.28’de görüldüğü gibi viskoz sönüm duvarları üst katlara yerleşmemekte, genellikle yapının orta katlarına ve alt katlarına yerleşmektedir. Yusufçuk algoritması sonuçlarına göre yarasa algoritması 1 adet az VSD kullanmıştır. Ayrıca yarasa algoritması sonuçlarında 1. ve 2. katlarda hiç VSD yerleşimi bulunmazken yusufçuk algoritmasında bu iki kata toplam 4 adet VSD yerleşimi mevcuttur. Şekil 4.29’da yusufçuk algoritması kullanarak belirlenen yerleşim durumlarına göre viskoz sönüm duvarlarının (VSD) yapıda oluşturduğu en büyük görelî kat öteleme oranları verilmiştir.



**Şekil 4.29.** Yusufçuk algoritması (DA) kullanılarak farklı VSD yerleşim durumları için oluşturulan yapı kombinasyonlarında en büyük görel kat öteleme oranları.

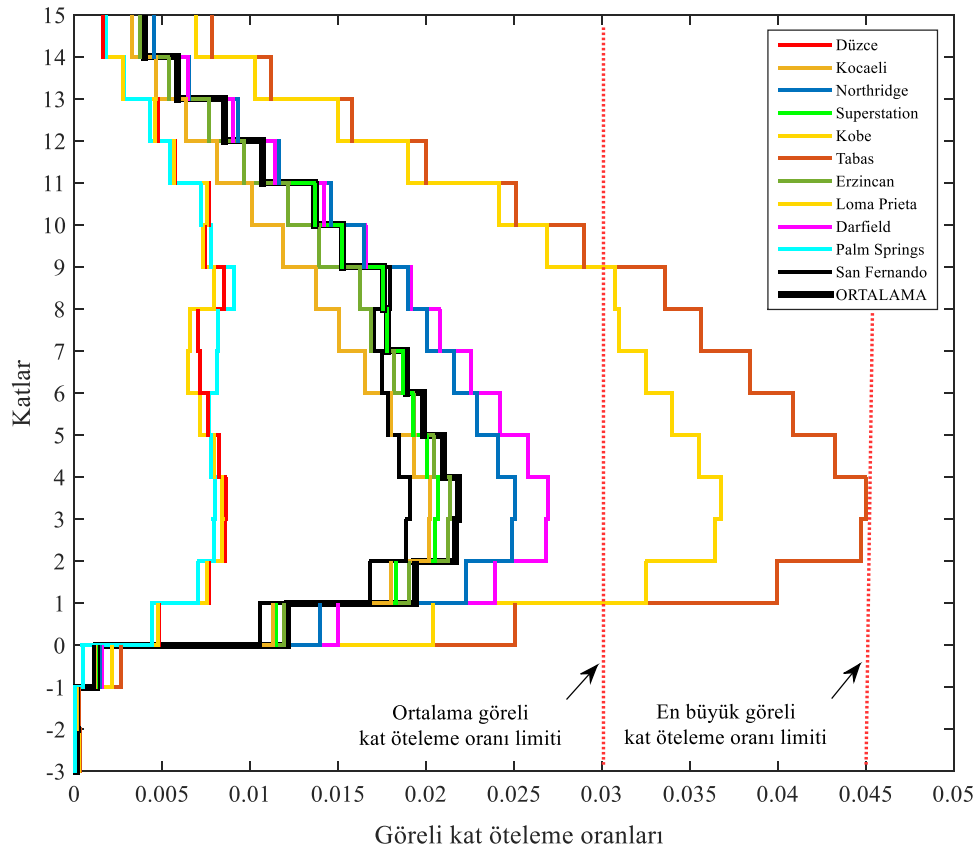
Şekil 4.29’da sunulduğu gibi Tabas ivme kaydının optimum viskoz sönüm duvarı yerleşiminde yarsa algoritması sonuçlarına paralel olarak 4. katta limit değere kadar geldiği görülmektedir. Şekil 4.30’da yerleşim durumlarına göre viskoz sönüm duvarlarının yapıda oluşturduğu en büyük ivme değerleri verilmiştir.



**Şekil 4.30.** Yusufçuk algoritması kullanılarak optimum yerleşim açıklıklarına yerleştirilmiş VSD'lerin, VSD yerleştirilmeden ve olası tüm açıklıklara VSD yerleştirilerek oluşturulan yapı kombinasyonlarında en büyük kat ivme değerleri.

Yusufçuk algoritması kullanarak oluşturulan optimum VSD yerleşimli yapı için en büyük kat ivme değeri de limite yaklaşarak  $9.7768 \text{ m/sn}^2$  olarak Tabas ivme kaydında hesaplanmıştır. Optimum VSD yerleşimi için Tabas ivme kaydında en büyük kat ivme değeri 5. katta oluşmuştur. Ayrıca optimum VSD yerleşimi için Northridge ivme kaydı 15. katta  $9.6877 \text{ m/sn}^2$  ivme oluşturmuştur.

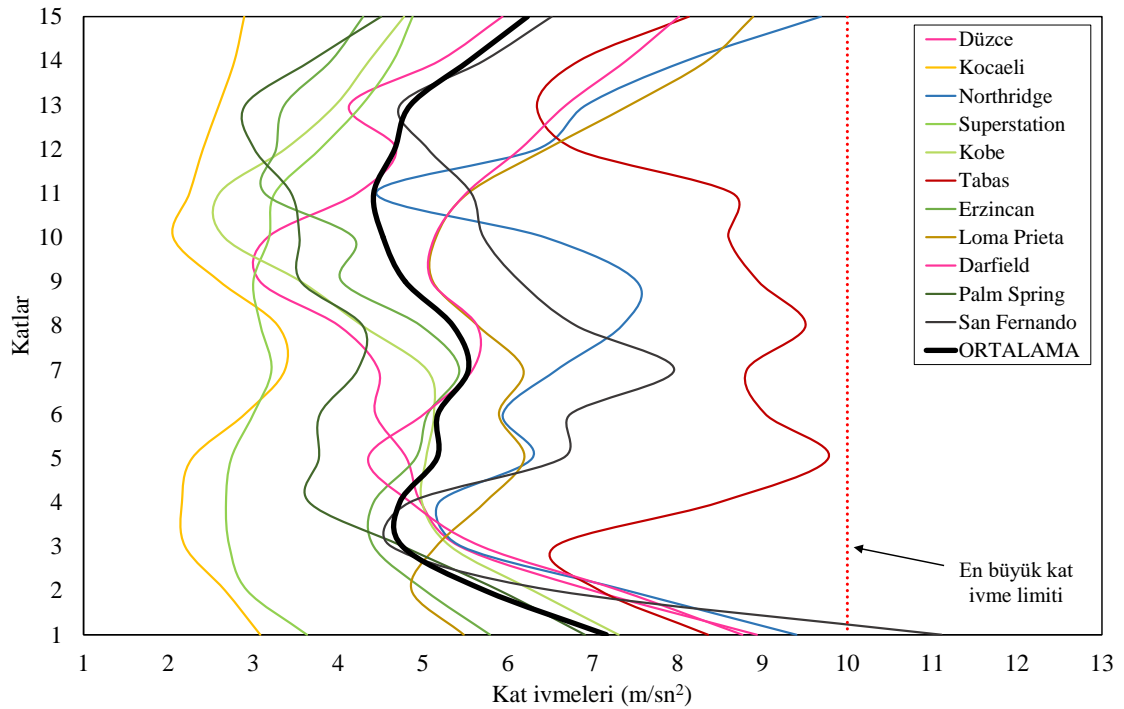
Yusufçuk algoritmasının kullanıldığı yöntemle, yapı iki yüzünde toplam 40 viskoz sönüm duvarı uygun yerlere yerleştirilerek Tabas ve Northridge ivme kayıtlarının yapıda oluşturduğu tepkiler önceden belirlenen limitler içinde kaldığı tespit edilmiştir. Yusufçuk algoritması kullanarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük görelî kat öteleme oranlarının ortalamaları Şekil 4.31'de verilmiştir.



**Şekil 4.31.** Yusufçuk algoritması kullanılarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük görel kat öteleme oranları ve ortalamaları.

Şekil 4.31'den görüleceği üzere optimum VSD yerleşimine göre ortalama görel kat öteleme oranı 0.0219 olarak belirlenmiştir. Düzce depremi yapıda en düşük görel kat öteleme oranını oluştururken optimizasyon işlemi kullanılan Tabas depremi en yüksek kat öteleme oranına ulaşmaktadır.

Yusufçuk algoritması kullanılarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük kat ivmelerinin ortalamaları Şekil 4.32'de sunulmuştur.



**Şekil 4.32.** Yusufçuk algoritması kullanarak belirlenen optimum yerleşime göre viskoz sönüm duvarlarının 11 ivme kaydı için analiz sonucu yapıda oluşturduğu en büyük kat ivmelerinin ortalamaları.

Şekil 4.32'ye göre 11 depremin ortalama kat ivmelerinin en yüksek değeri 1. katta, 7.7652 m/sn<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sürecinde kullanılan Tabas depreminin en büyük kat ivmesi yaklaşık olarak 10 m/sn<sup>2</sup> olarak hesaplanmış iken, San Fernando depremi yarasa algoritmasına benzer şekilde 11.1099 m/sn<sup>2</sup> ile Tabas depremi en büyük kat ivme değerini 1. katta geçmektedir.

#### 4.6. Viskoz Sönüm Duvarı Yerleşim ve Sayı Optimizasyonunda Yarasa (BA) ve Yusufçuk (DA) Algoritmaları Performans Karşılaştırması

Bu bölümde viskoz sönüm duvarı yerleşim ve sayı optimizasyonunda yarasa (BA) ve yusufçuk (DA) algoritmaları yerleşim açıklıkları, yaklaşım eğrileri, görelî kat ötelemeleri ve kat ivmeleri sonuçları üzerinden birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Öncelikle yarasa (BA) ve yusufçuk (DA) algoritmalarının yapı açıklıklarına yerleşimleri Şekil 4.33'te sunulmuştur.

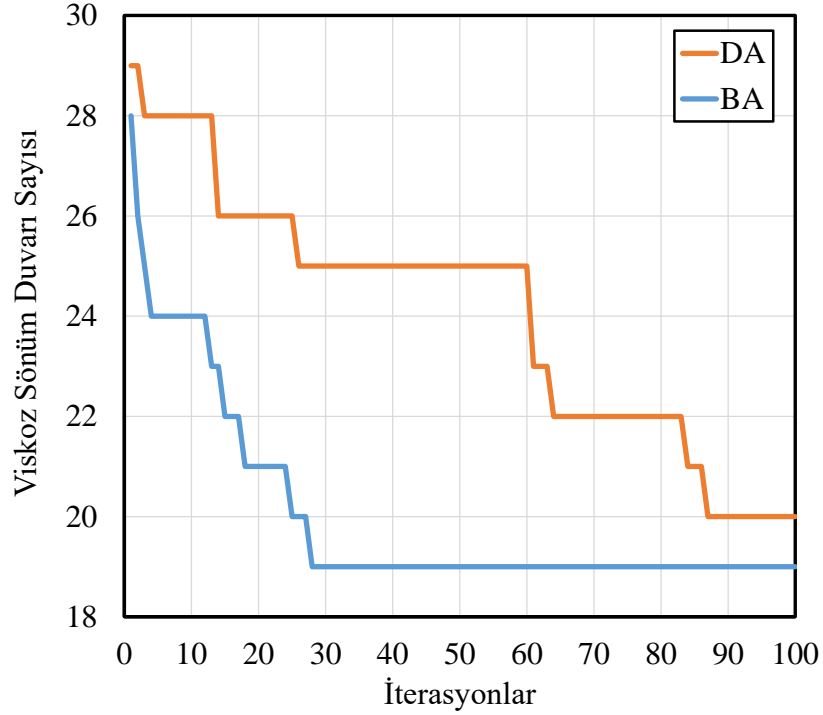
						KAT
						15
						14
			BA	DA		13
						12
BA	DA	BA			DA	11
					BA	10
	DA		DA		DA	9
BA		BA		BA		8
					DA	7
	DA	BA		BA	DA	6
BA	DA	BA		BA	BA	5
BA		BA	DA	BA	DA	4
BA	DA		DA	BA	DA	3
	DA			DA	DA	2
	DA					1
Bodrum Katlar						

**Şekil 4.33.** Yarasa (BA) ve yusufçuk (DA) algoritmalarının belirlediği optimum viskoz sönüm duvarı yerleşim açıklıkları karşılaştırması.

Şekil 4.33'e göre viskoz sönüm duvarı yerleşimleri karşılaştırmalarına göre birbirlerine yakın yerleşimler belirlenmiştir. Yarasa (BA) algoritmasının binanın bir yüzüne yerleştirdiği 19 viskoz sönüm duvarı 4, 5 ve 6. katlarda yoğunlaşırken, yusufçuk (DA) algoritmasının binanın bir yüzüne yerleştirdiği 20 viskoz sönüm duvarı 2, 3, 4, 5, ve 6. katlara yayıldığı görülmektedir. İki algoritma sonuçlarına göre de 12. kat ve üst katlarda sadece 13. katta aynı açıklıkta 1 adet viskoz sönüm duvarı yerleşimi olmuştur. Optimum yerleşim sonuçlarına göre iki algoritma arası en büyük fark yusufçuk algoritmasının (DA) yarasa algoritmasının aksine (BA) 1. ve 2. katlara 4 viskoz sönüm yerleşimi yapmasıdır. Yusufçuk algoritmasının (DA) alt katlara daha fazla viskoz sönüm

duvarı yerleştirmesi yarasa algoritmasından (BA) 1 adet fazla viskoz sönüm duvarı yerleşimi yaptığı düşünölmektedir.

Yarasa (BA) ve yusufçuk (DA) algoritmaları yaklaşım eğrileri karşılaştırması Şekil 4.34'te verilmiştir.



**Şekil 4.34.** Yarasa (BA) ve yusufçuk (DA) algoritmalarının optimizasyon sürecinde yaklaşım eğrileri karşılaştırması.

Şekil 4.34'e göre yarasa algoritması (BA) yusufçuk algoritmasına (DA) göre bina tek yüzündeki viskoz sönüm duvarı sayısı açısından 1 adet daha az bulduğu tespit edilmiştir. Yarasa algoritması (BA), yusufçuk algoritmasına (DA) göre optimum viskoz sönüm duvarı sayısına daha erken ulaşarak 28. iterasyondan sonra yatay bir seyir izlerken, yusufçuk algoritmasına (DA) 85. iterasyondan sonra yatay bir davranış göstermiştir. Bu sonuçlar önerilen yöntem ve yapı modelinde, viskoz sönüm duvarı yerleşim ve sayısını bulmak için yarasa algoritmasının (BA) daha uygun olduğu göstermektedir.

Optimum viskoz sönüm duvarı yerleşimi için viskoz sönüm duvarı yerleştirmeden, tüm olası açıklıklara viskoz sönüm duvarı yerleştirerek, yarasa ve

yusufçuk algoritması kullanarak optimum sayıda ve yerleşimde yapı tepkileri Çizelge 4.27’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.27.** Yerleşim durumlarına göre viskoz sönüm duvarlarının yapıda oluşturduğu en büyük tepkiler.

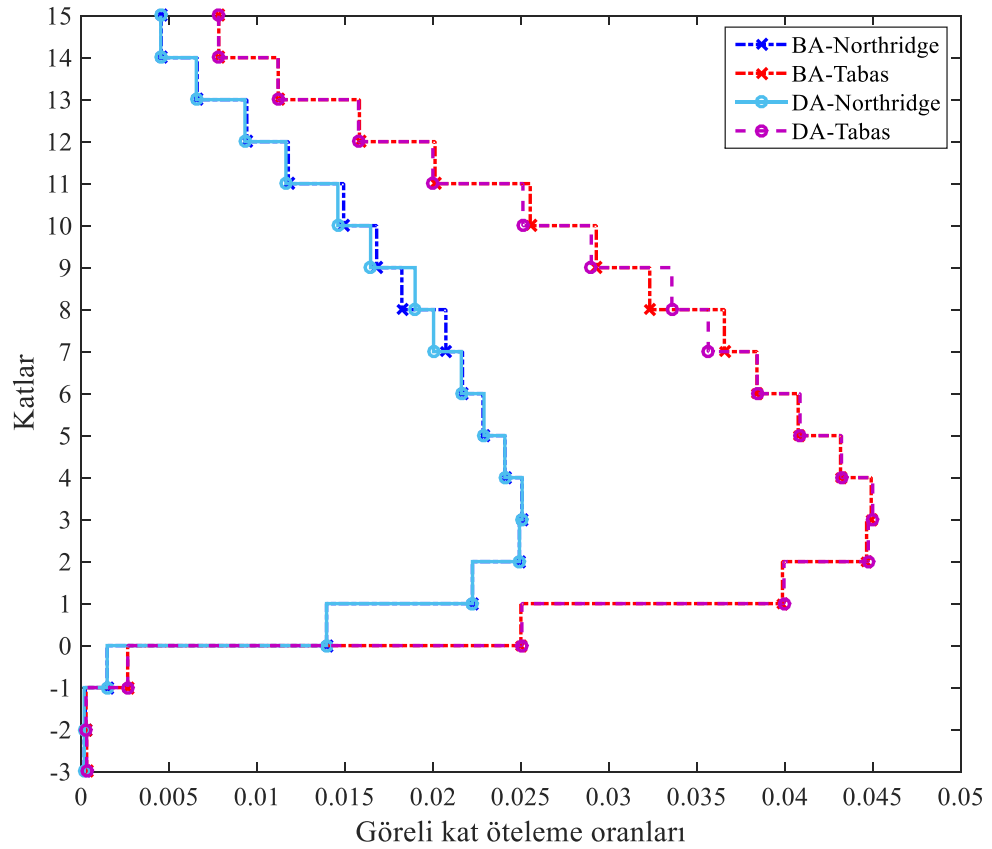
Yerleşim durumu	VSD adedi (Yapı iki yüzünde)	İvme kaydı	En büyük kat ivmesi (m/sn <sup>2</sup> )	En büyük görel kat öteleme oranı
Viskoz sönüm duvarı yerleştirmeden	0	Northridge	15.0938	0.0345
		Tabas	53.5979	0.0608
Tam viskoz sönüm duvarı yerleştirilerek	120	Northridge	11.1414	0.0242
		Tabas	9.7708	0.0343
BA ile optimum viskoz sönüm duvarı yerleştirilerek	38	Northridge	9.4899	0.0250
		Tabas	9.8432	0.0449
DA ile optimum viskoz sönüm duvarı yerleştirilerek	40	Northridge	9.6877	0.0251
		Tabas	9.7768	0.0450

Çizelge 4.27’de görüldüğü gibi yapıya viskoz sönüm duvarı yerleştirilmediğinde ivme değeri 53 m/sn<sup>2</sup> ve görel kat öteleme oranı 0.06’yı geçmektedir. Bu durumda etkili ivme kaydı Tabas’tır. Ancak yapıya iki yüzdeki mevcut toplam 120 viskoz sönüm duvarı yerleştirildiğinde etkili ivme kaydı Northridge olmaktadır. Bu durum için Tabas ivme kaydında görel kat öteleme oranı 0.0343’a düşmektedir.

BA kullanılarak 10 m/sn<sup>2</sup> ivme ve Tabas ivme kaydı için 0.045 görel kat öteleme limitli optimizasyon sonucunda ise Tabas ivme kaydı için görel kat öteleme oranı üst limite çok yakın bir değerle 0.0449 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde DA ile bulunan en büyük görel kat öteleme oranları 0.045’tir.

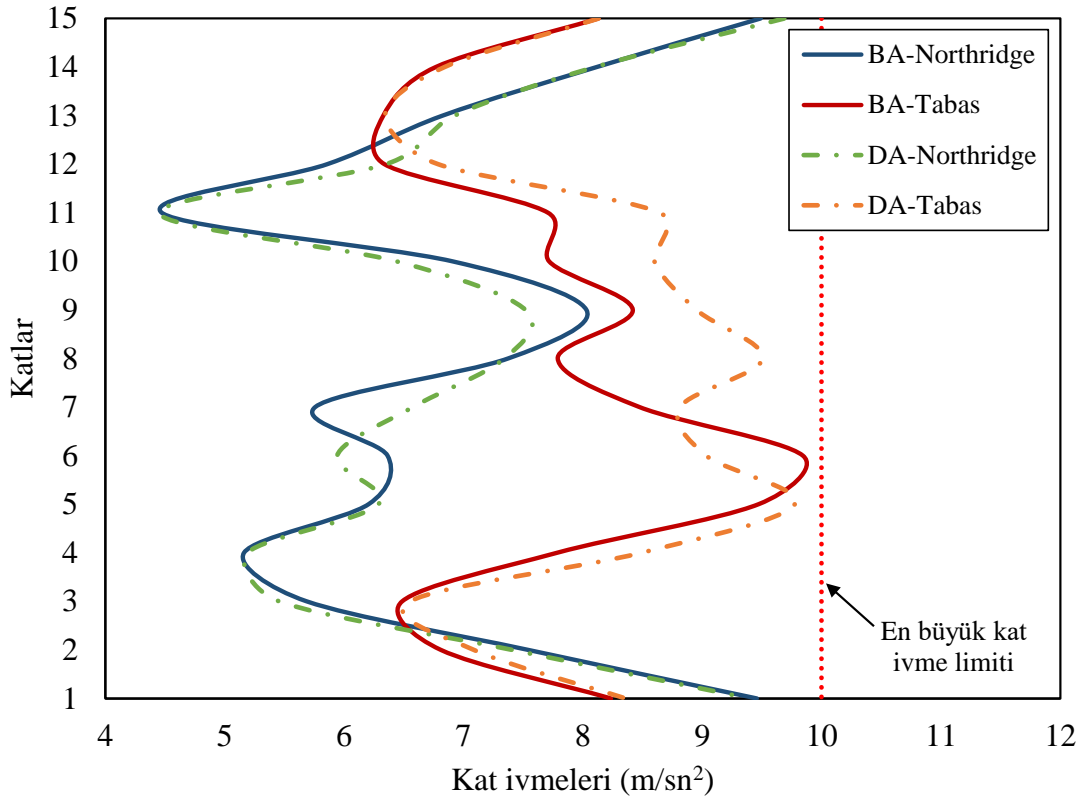
Bina optimizasyon çalışmasından elde edilen sonuçlara benzer şekilde 15 katlı binanın tüm açıklıklarına VSD yerleştirilmesi durumunda sönümün kayda değer artışıyla en büyük görel kat ivmelerinde özellikle Northridge depreminde artış gözlemlenmiştir. Dolayısıyla en düşük yapı tepkilerinin elde edilmesi için optimum yerleşimin belirlenmesi önemlidir. Aksi takdirde, yapıda yüksek sönüm oluşması sebebiyle istenmeyen yapı performansı ile karşılaşılabilir.

Şekil 4.35'te optimum viskoz sönüm duvarı yerleşimli yapı modeli için BA ve DA'nın katlara ve ivme kayıtlarına göre görel kat öteleme oranları karşılaştırması verilmiştir.



**Şekil 4.35.** Optimum yerleşime göre yarısa (BA) ve yusufçuk (DA) algoritmalarının görel kat öteleme oranları karşılaştırması.

Görel kat ötelemelerine göre Tabas ivme kaydının oluşturduğu görel kat öteleme oranları BA ve DA sonuçları için oldukça yakın çıktığı, sadece 8 ve 9. katlarda az bir miktar fark olduğu Şekil 4.35'te görülmektedir. Northridge ivme kaydında ise 7 ile 10 katları arasında DA ile bulunan sonuçlar için daha fazla görel kat öteleme oranları bulunsa da iki algoritma tipi için oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.36'da BA ve DA'nın katlara ve ivme kayıtlarına göre kat ivmeleri karşılaştırması sunulmuştur.



**Şekil 4.36.** Optimum yerleşime göre BA ve DA'nın görel kat ivmeleri karşılaştırması.

Şekil 4.36'ya göre Northridge ivme kaydının oluşturduğu kat ivmeleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Tabas ivme kaydında ise özellikle 8. katta  $1.5 \text{ m/sn}^2$  bir fark oluşmaktadır. Özellikle 1. ve 2. katta VSD sayıları BA için toplam 1 adet ve DA için ise 4 olmasına rağmen ivmeler iki algoritma çözümü için oldukça yakın çıkmıştır. Bu durum zaman-tanım alanında yapısal analiz göz önüne alındığında VSD yerleşimi için sezgisel algoritmaların kullanımının etkinliğini ortaya koymaktadır.

## 5. SONUÇLAR

Yapıları depremin yıkıcı etkilerinden korumak amacıyla farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin başında yapıya ek sönüm kapasitesi sağlayarak deprem etkilerini azaltacak sistemlerin kullanılması gelmektedir. Yapıya ek sönüm sağlayabilecek sistemler arasında sismik izolasyon elemanları ve viskoz sönüm duvarları bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, sezgisel algoritmalar kullanılarak izolatörlü ve ek sönümleyicili köprü ve bina tipi yapıların sismik performanslarının artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda sismik izolatörlü bina, köprü ve ayrıca viskoz sönüm duvarlı yüksek katlı bir bina için optimizasyon yapılmıştır.

Depremler oluşturdukları etkiler sebebiyle yapısal elemanlarda ciddi hasarlara sebep olabilirler. Özellikle sismik performansı artırılarak yüksek ivmelerden korunan kritik yapılardaki hassas cihazlar, depremin oluşturduğu titreşimlerden korunmalı ve görevlerine bir aksama meydana gelmeden devam etmelidirler. Deprem sırasında titreşime duyarlı data merkezleri ve hastaneler ile deprem sonrasında hemen kullanılmaya devam etmesi gereken kamu binaları, itfaiye binaları ve köprülerin sismik tasarımları çok hassas analizlere dayalı olarak yapılmalıdır. Sismik izolasyon kullanarak tasarlanmış bir yapıda, yapının ya da izolatörün hesabında yapılacak küçük sapmalar, yapının tepkilerini büyük oranda etkileyebilir. Bu sebeple bu tez çalışmasının ilk bölümünde sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

Sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonunda öncelikle temel katına sismik izolasyon yerleştirilmiş 4 katlı bir kayma çerçevesi modeli kullanılmıştır. Bu modelde temel amaç en düşük tepe ivmesini veren izolasyon parametrelerini belirlenen izolasyon katı deplasman limitleri ve sönüm oranı limitleri içinde kalarak bulabilmektir. 6 deprem ivme kaydı ile zaman tanım alanında doğrusal analizler için SAP2000 kullanılmış, optimizasyon programının hazırlanıldığı matlab programında optimizasyon yapılmıştır. Sismik izolasyonlu model, farklı izolatör deplasman limitleri ve sönüm oranı aralıkları için analiz edilmiştir. İki programın ortaklaşa çalışması için OAPI'den yararlanılmıştır. Optimizasyon işlemi için CSA, WOA ve GWO algoritmaları kullanılmıştır. Optimizasyon sonucunda belirlenen izolasyon parametreleri kullanılarak analizler tekrar edilmiş, yapı tepkilerindeki değişim ortaya konulmuştur. Sismik

izolasyon parametrelerinin doğrusal hesabı yapılarak literatürdeki benzer bir çalışma ile karşılaştırılarak önerilen yöntemin ve sonuçların güvenilirliği ortaya konulmuştur.

Sismik izolasyonlu 4 katlı kayma çerçevesi modelinde izolasyon parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntem, algoritmalar, ivme kayıtlarının aynısı kullanılarak üst yapı ile köprü ayakları arasına izolasyon yerleştirilmiş bir köprü ayağı modelinde doğrusal ve doğrusal olamayan hesaplama ile izolasyon parametreleri optimizasyonu yapılmıştır. Doğrusal hesaplama ile izolasyon parametrelerinin belirlenmesinde amaç, izolasyon deplasman limitleri aşılmadan köprü üst yapısında en düşük ivmeyi verecek izolasyon parametrelerinin belirlenmesidir. Analizler farklı sönüm oranı aralıkları ve izolasyon deplasman limitleri için yapılmıştır. Kullanılan yöntemle sismik izolasyonlu bir köprünün izolasyon parametreleri optimum seviyede belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında sismik izolasyon sistem parametrelerinin optimizasyonu için bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1- Önerilen yöntemde CSA, WOA ve GWO algoritmaları sismik izolasyon parametrelerinin optimizasyonunda benzer sonuçlar vermiştir.

2- Sismik izolasyonlu 4 katlı kayma çerçevesinin doğrusal hesaba göre optimizasyon çalışmasında yüksek deplasman limitli durumlarda deplasman limite ulaşırken, düşük deplasman limitli durumlarda ise sönüm oranı limite ulaşmaktadır.

3- Farklı deplasman limitleri ve sönüm oranı aralıklarında belirlenen optimum sonuçlar, deplasman üst limitine ulaşılarak elde edilmiştir. Yüksek sönüm oranının kat ivmelerinde artışa neden olması nedeniyle optimum izolasyon parametreleri genellikle en büyük sönüm oranı değerinde bulunmamıştır. Dolayısıyla, en düşük kat ivme değerlerinin elde edilmesi için optimum izolasyon sistem parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

4- Sismik izolasyonlu 4 katlı kayma çerçevesinin doğrusal hesaba göre optimizasyon çalışmasında Niğdeli vd. (2014), minimum PRA/PGA değerlerinin belirtilen sönümleme oranı aralıklarının üst sınırlarında bulmuşlardır. Ancak bu çalışmada, üç sezgisel algoritma tarafından elde edilen optimum izolasyon sistemi parametrelerine göre, minimum PRA/PGA değerlerinin üst sınır değerleri yerine düşük sönümleme oranlarında elde edilmiştir. Bu sonuç, 2-4s izolasyon periyodu aralığında sönümleme oranı ile spektral ivmenin değişimi ile uyumludur. Buna göre, izolasyon

periyoduna bağılı olarak, spektral ivmeler, üst limit değerlerin oldukça altında olan % 25-35 sönüm oranı aralığında bulunmuştur.

5- Seçilen 6 deprem kaydı arasında, yakın-saha kayıtları olan Tabas ve Loma Prieta, optimizasyon sürecinde en elverişsiz sismik tepki parametrelerine yol açan en etkili kayıtlardır.

6- Sezgisel algoritmalar ile sismik izolasyon parametrelerinin doğrusal hesaba göre optimizasyonunda bulunan sonuçlar HS ile karşılaştırılmıştır. 3 farklı algoritma ile bulunan sonuçların, HS'ye göre daha düşük ivme sonuçları verdiği görülmüş ve kullanılan yöntemin uygunluğu ortaya konulmuştur.

7- Kayma çerçevesinde kullanılan yöntem ve sezgisel algoritmalar köprü ayağı için de kullanılarak üst yapı ivmesini deplasman sınırları içinde kalarak optimum izolasyon parametreleri belirlenmiştir.

8- Köprü ayağı modelinde sismik izolasyonların doğrusal hesaba göre elde edilen optimum sonuçlarına göre en düşük PSA değerleri 60 cm deplasman değerlerinde bulunmuştur. Sönüm oranı limitlerinin düşük olduğu durumlarda ise PSA'nın artış gösterdiği görülmüştür. Sismik izolasyon parametrelerinin bulunmasında doğrusal olmayan hesaba göre ise sönüm etkisinin PSA'yı benzer şekilde ancak daha yüksek oranda etkilediği belirlenmiştir.

9- Köprü ayağı modeli için doğrusal olmayan hesap ile bulunan PSA değerleri, doğrusal hesap ile bulunan PSA değerlerinden daha düşük bulunmuştur.

10-Üç algoritmanın (CSA, WOA ve GWO) da çok iyi yakınsama özelliklerine sahip oldukları belirlenmiştir. Başlangıç ivme değerleri 3 algortmada da rastgele değerlerden başlasa da sismik izolasyon parametrelerinin bulunmasında doğrusal hesap için 20 ila 40 iterasyonda optimum sonuçlara ulaşmaktadırlar. Diğer taraftan doğrusal olmayan hesap kullanıldığında algoritmaların optimum sonuçlara ulaşması için daha fazla iterasyon yapması gerekmiştir.

11-Üç algoritma (CSA, WOA ve GWO) tarafından elde edilen izolasyon sistemi parametrelerinin optimum değerleri arasında önemli bir farklılık yoktur. Ancak farklı model, limit ve analiz yönteminin oluşturduğu 36 farklı kombinasyondaki en düşük ivme sonuçlarını bulma kabiliyetine göre %44 ile WOA'nın optimum sonuçları bulma kabiliyeti yüksek ve %25 ile de CSA'nın optimum sonuçları bulma kabiliyetinin düşük olduğu sonucuna varılabilir.

Çalışmanın sonraki bölümünde viskoz sönümlü duvarlarının optimum tasarımı için sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Viskoz sönüm duvarları, yapılara ek sönüm kapasitesi kazandırarak kat ivmelerini ve görelî kat öteleme oranlarını azaltarak özellikle yüksek katlı yapılarda deprem etkilerine karşı yapısal hasarları azaltan elemanlardır. Bu elemanlar yapılarda açıklıklara yerleştirilerek katlar arasında deprem etkilerini sönümlemektedirler. Ancak viskoz sönüm duvarlarının doğru yapı açıklıklarına yerleşimindeki hassasiyet yapı sismik performansını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca maliyetleri sebebi ile kullanılan sönümleyici eleman sayısı mümkün olduğunca düşük sayıda tutulmalıdır.

Viskoz sönüm duvarlarının en az sayıda kullanımını sağlayacak açıklıkların bulunması için çalışma kapsamında sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. 3 boyutlu 15 katlı bir yapı modeli kullanılarak olası 120 açıklığa TBDY'ye göre belirlenen kat ivmeleri ve görelî kat ötelemeleri limitleri aşılmadan en az sayıda viskoz sönüm duvarının yerleşebileceği pozisyonlar bulunmuştur. Örnek modelin yapısal analizleri, Etabs programında 11 deprem ivme kaydının TBDY 2018'e göre ölçeklendirmeleri yapılarak zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Matlab programında BA ve DA algoritmaları hazırlanmış, OAPI kullanarak Matlab ve Etabs programının birlikte çalışması sağlanmıştır. Analizler sonucunda belirlenen limitler içinde minimum sayıda viskoz sönüm duvarının kullanımını sağlayacak kat açıklıkları belirlenmiştir.

Minimum sayıda viskoz sönüm duvarı bulunması için pozisyon optimizasyonu için bulunan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1- Viskoz sönüm duvarları minimum sayıda bulunması için pozisyon optimizasyonu için kullanılan BA ve DA algoritmaları belirlenen kat ivmeleri ve görelî kat öteleme limitleri içinde kalarak en az sayıda kullanılacak viskoz sönüm duvarını en uygun kat açıklıklarına yerleştirmeyi başarmıştır.

2- BA olası 120 pozisyondan uygun olarak belirlediği 38 tanesine, DA ise 40 tanesine viskoz sönüm duvarı yerleştirerek Tabas ivme kaydının görelî kat öteleme limiti olan %4.5 limiti tarafından limitlenmişlerdir.

3- BA ve DA rastgele viskoz sönüm duvarı yerleşimleri ve adedinden optimizasyon işlemine başlamışlar BA 28. DA ise 85. iterasyonda en az viskoz sönüm duvarı sayısı bulunmuştur.

4- Bulunan viskoz sönüm duvarı adedi ve iterasyon sayısı bakımından BA'nın daha iyi bir algoritma olduğu belirlenmiştir.

5- Kullanılan iki algoritma sonuçlarına göre viskoz sönüm duvarlarının yerleşim profiline bakıldığında genellikle orta katlara yerleşimin belirlendiği görülmüştür. Bu durum ise incelenen 15 katlı binada, en büyük görelî kat öteleme oranının orta katlarda oluşmasından kaynaklanmaktadır.

6- BA algoritması viskoz sönüm duvarlarını pozisyon olarak ilk 2 kata yerleştirmezken DA BA'nın aksine ilk 2 kata da viskoz sönüm duvarı yerleştirmiştir.

Sonuçta sismik izolasyon parametrelerinin belirlenmesinde sezgisel algoritmaların kullanılmasının izolatörün kapasitesinin tamamını kullanarak oldukça hassas bir hesap olduğu ortaya konulmuştur. Kullanılan sezgisel algoritmalar ile doğrusal ya da doğrusal olmayan hesaba göre bulunan sismik izolasyon parametreleri, yapı sismik performansını belirlenen limitler içerisinde bırakarak istenilen düzeye ulaştırmıştır. Ayrıca çalışmanın önemli sonuçlarından bir tanesinin yüksek sönümleme oranı kullanmanın her zaman yapı tepkilerini olumlu yönde etkilemeyeceği, yapı için en uygun sönüm oranının bulunmasının şart olduğu ortaya konulmuştur. Viskoz sönüm duvarlarının yerleşimini en uygun pozisyonlara getirerek sayısının azaltılması için sezgisel algoritmaların etkinliği çalışma kapsamında sunulmuştur. Yüksek katlı bir yapı için ek sönümleyici elemanların pozisyonlarının bulunmasında sezgisel algoritmaların oldukça etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında yenilikçi optimizasyon algoritmalarının ilk defa pasif kontrol sistemlerinin; parametrelerinin, yerleşimlerinin ve sayısının optimum tasarımında etkin bir şekilde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

## KAYNAKLAR

- AFAD. (2019). Türkiye deprem tehlike haritası. 22 Mart 2019 tarihinde <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> adresinden erişildi.
- Aldemir, Ü. ve Aydın, E. (2005). Depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni yaklaşımlar. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 435(1), 81–89.
- Alhan, C. ve Gavin, H. (2004). A parametric study of linear and non-linear passively damped seismic isolation systems for buildings. *Engineering Structures*, 26(4), 485–497. doi:10.1016/j.engstruct.2003.11.004
- Alhan, C. ve Öncü-Davas, S. (2016). Performance limits of seismically isolated buildings under near-field earthquakes. *Engineering Structures*, 116, 83–94. doi:10.1016/j.engstruct.2016.02.043
- Amer Hassan. (2017). *Optimization of Base Isolation Parameters*. LAMBERT Academic publishing (C. 1). <https://www.morebooks.de/store/gb/book/optimization-of-base-isolation-parameters/isbn/978-3-330-08579-4> adresinden erişildi.
- Amiri, S. N., Dicleli, M. ve Erhan, S. (2007). Köprülerde Kullanılan Sismik İzolatör Parametrelerinin Optimizasyonu. 1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu içinde .
- Arguc, S., Avsar, O. ve Ozdemir, G. (2017). Effects of Lead Core Heating on the Superstructure Response of Isolated Buildings. *Journal of Structural Engineering (United States)*, 143(10). doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001880
- Arima, F., Miyasaki, M., Tanaka, H. ve Yamasaki, Y. (1988). A study on building with large damping using viscous damping walls. *Ninth World Conference on Earthquake Engineering* içinde (ss. 821–826).
- Askarzadeh, A. (2016). A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm. *Computers and Structures*, 169, 1–12. doi:10.1016/j.compstruc.2016.03.001
- Banazadeh, M., Gholhaki, M. ve Parvini Sani, H. (2017). Cost-benefit analysis of seismic-isolated structures with viscous damper based on loss estimation. *Structure and Infrastructure Engineering*, 13(8), 1045–1055. doi:10.1080/15732479.2016.1236131
- Barakat, S. A., AlHamaydeh, M. H. ve Nassif, O. M. (2015). Optimization of seismic isolation systems with viscous fluid dampers using genetic algorithms. *COMPADYN 2015 - 5th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering* içinde (ss. 4086–4095).
- Bekdaş, G. ve Nigdeli, S. M. (2017). Metaheuristic based optimization of tuned mass dampers under earthquake excitation by considering soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 92, 443–461. doi:10.1016/j.soildyn.2016.10.019

### KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., Kayabekir, A. E. ve Yang, X. S. (2018). Optimization in civil engineering and metaheuristic algorithms: A review of state-of-the-art developments. *Computational Intelligence, Optimization and Inverse Problems with Applications in Engineering* içinde (ss. 111–137). doi:10.1007/978-3-319-96433-1\_6
- Bendsøe, M. P., Ben-Tal, A. ve Zowe, J. (1994). Optimization methods for truss geometry and topology design. *Structural Optimization*. doi:10.1007/BF01742459
- Brigham, R. M., Kalko, E. K. V, Jones, G., Parsons, S. ve Limpens, H. J. G. A. (2002). *Bat Echolocation Resaerch - tools, techniques and analysis*. *Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis*.
- Camp, C. V., Pezeshk, S. ve Hansson, H. (2003). Flexural design of reinforced concrete frames using a genetic algorithm. *Journal of Structural Engineering*, 129(1), 105–115. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:1(105)
- Caner, A. ve Shaban, N. (2019). Yapıların Deprem Korumasında Akılcı Bir Çözüm : Sönümleyiciler. *Sismolab*. 1 Ekim 219 tarihinde M.S. <http://www.sismolab.com/wp-content/uploads/2016/10/Alp-Caner-Yapıların-deprem-korunmasında-akılcı-bir-çözüm-Sönümleyiciler.pdf> adresinden erişildi.
- Charnpis, D. C., Komodromos, P. ve Phocas, M. C. (2012). Optimized earthquake response of multi-storey buildings with seismic isolation at various elevations. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41(15), 2289–2310. doi:10.1002/eqe.2187
- Chopra, A. K. (2001). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering, 2nd edition*. *Earthquake Spectra* (C. 17). doi:10.1193/1.1586188
- Coello, C. C., Hernández, F. S. ve Farrera, F. A. (1997). Optimal design of reinforced concrete beams using genetic algorithms. *Expert Systems with Applications*, 12(1), 101–108. doi:10.1016/S0957-4174(96)00084-X
- Cruciat, R., Pricopie, A. ve Cretu, D. (2013). Optimization of a Seismically Isolated Structure Using Genetic Algorithms. *International Conference on Earthquake Engineering* içinde . Skopje.
- Dicleli, M. (2006). Performance of seismic-isolated bridges in relation to near-fault ground-motion and isolator characteristics. *Earthquake Spectra*. doi:10.1193/1.2359715
- Dilsiz, A., Mohammed, M., Özüygür, A. R. ve Mohamed, M. (2018). Evaluation of Wall Damper Effectiveness on the Seismic Performance of High-Rise Buildings. *11th National Conference on Earthquake Engineering* içinde . Los Angeles.
- Dynamic Isolation Systems, I. (2019). *Viscous Wall Damper Modeling Guide*. [www.dis-inc.com](http://www.dis-inc.com) adresinden erişildi.

**KAYNAKLAR (Devam ediyor)**

- Elenas, A. ve Meskouris, K. (2001). Correlation study between seismic acceleration parameters and damage indices of structures. *Engineering Structures*, 23(6), 698–704. doi:10.1016/S0141-0296(00)00074-2
- Erbatur, F., Hasançebi, O., Tütüncü, İ. ve Kılıç, H. (2000). Optimal design of planar and space structures with genetic algorithms. *Computers and Structures*, 75(2), 209–224. doi:10.1016/S0045-7949(99)00084-X
- ETABS. (2018). Integrated Building Design Software, Computers and Structures, Inc: Berkeley, California.
- Fajfar, P. (1999). Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28(9), 979–993. doi:10.1002/(SICI)1096-9845(199909)28:9<979::AID-EQE850>3.0.CO;2-1
- Fallah, N. ve Zamiri, G. (2013). Multi-objective optimal design of sliding base isolation using genetic algorithm. *Scientia Iranica*, 20(1), 87–96. doi:10.1016/j.scient.2012.11.004
- Faris, H., Aljarah, I., Al-Betar, M. A. ve Mirjalili, S. (2018). Grey wolf optimizer: a review of recent variants and applications. *Neural Computing and Applications*. doi:10.1007/s00521-017-3272-5
- Fazli, H. ve Pakbaz, A. (2018). Performance-based seismic design optimization for multi-column rc bridge piers, considering quasi-isolation. *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, 8(4), 525–545.
- Fragiacomo, M., Rajgelj, S. ve Cimadam, F. (2003). Design of bilinear hysteretic isolation systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32(9), 1333–1352. doi:10.1002/eqe.276
- Ghasemi, M. R. ve Farshchin, M. (2011). Ant colony optimisation-based multiobjective frame design under seismic conditions. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, 164(6), 421–432. doi:10.1680/stbu.2011.164.6.421
- Goda, K., Lee, C. S. ve Hong, H. P. (2010). Lifecycle cost-benefit analysis of isolated buildings. *Structural Safety*, 32(1), 52–63. doi:10.1016/j.strusafe.2009.06.002
- Gunturi, S. K. V. (1993). *Building-specific earthquake damage estimation. ProQuest Dissertations and Theses*.
- Hameed, A., Koo, M.-S., Do, T. D. ve Jeong, J.-H. (2008). Effect of lead rubber bearing characteristics on the response of seismic-isolated bridges. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 12(3), 187–196. doi:10.1007/s12205-008-0187-9

**KAYNAKLAR (Devam ediyor)**

- Heaton, T. H., Hall, J. F., Wald, D. J. ve Halling, M. W. (1995). Response of high-rise and base-isolated buildings to a hypothetical M w 7.0 blind thrust earthquake. *Science*, 267(5195), 206–211. doi:10.1126/science.267.5195.206
- Hejazi, F., Shoaie, M. D., Tousi, A. ve Jaafar, M. S. (2016). Analytical Model for Viscous Wall Dampers. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 31(5), 381–399. doi:10.1111/mice.12161
- Hidayaty, E., Setio, H. D., Surahman, A. ve Moestopo, M. (2018). Numerical Analysis of Viscous Wall Dampers on Steel Frame. *MATEC Web of Conferences* içinde . doi:10.1051/matecconf/201814701001
- Huang, Z. S., Wu, C. ve Hsu, D. S. (2007). Semi-active fuzzy control of a MR damper on structures by genetic algorithm. *Civil-Comp Proceedings* içinde .
- Hwang, J. S. ve Chiou, J. M. (1996). An equivalent linear model of lead-rubber seismic isolation bearings. *Engineering Structures*, 18(7), 528–536. doi:10.1016/0141-0296(95)00132-8
- Jangid, R. S. (2004). Seismic response of isolated bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 9(2), 156–166. doi:10.1061/(ASCE)1084-0702(2004)9:2(156)
- Jangid, R. S. (2007). Optimum lead-rubber isolation bearings for near-fault motions. *Engineering Structures*, 29(10), 2503–2513. doi:10.1016/j.engstruct.2006.12.010
- Jangid, R. S. ve Kelly, J. M. (2001). Base isolation for near-fault motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30(5), 691–707. doi:10.1002/eqe.31
- Kalpakidis, I. V. ve Constantinou, M. C. (2009). Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearings. ii: Verification of theory. *Journal of Structural Engineering*, 135(12), 1450–1461. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000071
- Katebi, J., Shoaie-parchin, M., Shariati, M., Trung, N. T. ve Khorami, M. (2019). Developed comparative analysis of metaheuristic optimization algorithms for optimal active control of structures. *Engineering with Computers*. doi:10.1007/s00366-019-00780-7
- Kaveh, A., Farahmand Azar, B., Hadidi, A., Rezazadeh Sorochi, F. ve Talatahari, S. (2010). Performance-based seismic design of steel frames using ant colony optimization. *Journal of Constructional Steel Research*, 66(4), 566–574. doi:10.1016/j.jcsr.2009.11.006
- Kaveh, A. ve Zakian, P. (2018). Improved GWO algorithm for optimal design of truss structures. *Engineering with Computers*, 34(4), 685–707. doi:10.1007/s00366-017-0567-1

**KAYNAKLAR (Devam ediyor)**

- Kelly, J. M. (1999). The role of damping in seismic isolation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28(1), 3–20. doi:10.1002/(SICI)1096-9845(199901)28:1<3::AID-EQE801>3.0.CO;2-D
- Kelly, J. M. (1993). *Earthquake-Resistant Design with Rubber*. doi:10.1007/978-1-4471-3359-9
- Kilar, V. ve Koren, D. (2009). Seismic Assessment of Base Isolated Structures Using N2 Method. *Architecture*, (June), 22–24.
- Koumousis, V. K. ve Arsenis, S. J. (1998). Genetic algorithms in optimal detailed design of reinforced concrete members. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 13(1), 43–52. doi:10.1111/0885-9507.00084
- Kurashiki, K. (2019). [https://www.kuraka.co.jp/en/technology/develop/base\\_isolation/index.html](https://www.kuraka.co.jp/en/technology/develop/base_isolation/index.html).
- Lagaros, N. D. ve Mitropoulou, C. C. (2013). The effect of uncertainties in seismic loss estimation of steel and reinforced concrete composite buildings. *Structure and Infrastructure Engineering*, 9(6), 546–566. doi:10.1080/15732479.2011.593527
- Lu, H. ve Guo, X. (2011). Optimization of reinforced concrete tall buildings using a hybrid genetic algorithm. *Applied Mechanics and Materials* içinde (C. 94–96, ss. 815–819). doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.94-96.815
- Lu, X., Zhou, Y. ve Yan, F. (2008). Shaking table test and numerical analysis of RC frames with viscous wall dampers. *Journal of Structural Engineering*, 134(1), 64–76. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2008)134:1(64)
- Makris, N. (2019). Seismic isolation: Early history. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. doi:10.1002/eqe.3124
- Matlab, M. (2015). The language of technical computing. *Version: R2015a. MathWorks, Natick, Massachusetts, 2015*.
- Mayes, R. L. ve Naeim, F. (2001). Design of Structures with Seismic Isolation. *The Seismic Design Handbook* içinde (ss. 723–755). doi:10.1007/978-1-4615-1693-4\_14
- Miguel, L. F. F., Fadel Miguel, L. F. ve Lopez, R. H. (2015). A firefly algorithm for the design of force and placement of friction dampers for control of man-induced vibrations in footbridges. *Optimization and Engineering*, 16(3), 633–661. doi:10.1007/s11081-014-9269-3
- Mirjalili, S. (2016). Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems. *Neural Computing and Applications*, 27(4), 1053–1073. doi:10.1007/s00521-015-1920-1

**KAYNAKLAR (Devam ediyor)**

- Mirjalili, S. ve Lewis, A. (2016). The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95, 51–67. doi:10.1016/j.advengsoft.2016.01.008
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. ve Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61. doi:10.1016/j.advengsoft.2013.12.007
- Moeindarbari, H. ve Taghikhany, T. (2018). Novel procedure for reliability-based cost optimization of seismically isolated structures for the protection of critical equipment: A case study using single curved surface sliders. *Structural Control and Health Monitoring*, 25(1). doi:10.1002/stc.2054
- Mojolic, C., Hulea, R. ve Parv, B. R. (2017). Automatic design optimization tool for passive structural control systems. *AIP Conference Proceedings* içinde (C. 1863). doi:10.1063/1.4992719
- Naderzadeh, A. (2009). Application of seismic base isolation technology in Iran. *Menshin*, 63(2009.2), 40–47.
- Naeim, F. ve Kelly, J. (1999). *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons. [https://www.google.com/books?hl=tr&lr=&id=2Gqi9A29H\\_4C&oi=fnd&pg=PR13&dq=Design+of+Seismic+Isolated+Structures:+From+Theory+to+Practice+&ots=GZpIDFjmg&sig=7u4WKrYJDFIKbC3GCLby5BALLiI](https://www.google.com/books?hl=tr&lr=&id=2Gqi9A29H_4C&oi=fnd&pg=PR13&dq=Design+of+Seismic+Isolated+Structures:+From+Theory+to+Practice+&ots=GZpIDFjmg&sig=7u4WKrYJDFIKbC3GCLby5BALLiI) adresinden erişildi.
- Nath, R. J., Deb, S. K. ve Dutta, A. (2013). Base isolated rc building-performance evaluation and numerical model updating using recorded earthquake response. *Earthquake and Structures*, 4(5), 471–487. doi:10.12989/eas.2013.4.5.471
- Newell, J., Love, J., Sinclair, M., Chen, Y. N. ve Kasalanati, A. (2011). Seismic design of a 15 story hospital using viscous wall dampers. *Structures Congress 2011 - Proceedings of the 2011 Structures Congress* içinde (ss. 815–826). doi:10.1061/41171(401)72
- Nigdeli, S. M., Bekdaş, G. ve Alhan, C. (2014). Optimization of seismic isolation systems via harmony search. *Engineering Optimization*, 46(11), 1553–1569. doi:10.1080/0305215X.2013.854352
- Ohsaki, M., Kinoshita, T. ve Pan, P. (2007). Multiobjective heuristic approaches to seismic design of steel frames with standard sections. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36(11), 1481–1495. doi:10.1002/eqe.690
- Ohsaki, M., Tsuda, S. ve Hasegawa, T. (2016). Parameter optimization of tetrahedral tuned mass damper for three-directional seismic response reduction. *Engineering Structures*, 126, 667–674. doi:10.1016/j.engstruct.2016.08.014
- Ontiveros-Pérez, S. P., Miguel, L. F. F. ve Miguel, L. F. F. (2017). Optimization of location and forces of friction dampers. *REM - International Engineering Journal*, 70(3), 273–279. doi:10.1590/0370-44672015700065

### KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Ozdemir, G., Avsar, O. ve Bayhan, B. (2011). Change in response of bridges isolated with LRBs due to lead core heating. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(7), 921–929. doi:10.1016/j.soildyn.2011.01.012
- Ozdemir, G. ve Constantinou, M. C. (2010). Evaluation of equivalent lateral force procedure in estimating seismic isolator displacements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(10), 1036–1042. doi:10.1016/j.soildyn.2010.04.015
- Pan, P., Zamfirescu, D., Kashiwa, H., Nakayasu, N. ve Nakashima, M. (2008). Base-Isolation Design Practice in Japan: Introduction To the Post-Kobe Approach. *Journal of Earthquake Engineering*, 9(1), 147–171. doi:10.1080/13632460509350537
- PEER. (2019). Ground Motion Database. *Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regimes, NGA-West2*. <http://ngawest2.berkeley.edu/> adresinden erişildi.
- Pourzeynali, S., Lavasani, H. H. ve Modarayi, A. H. (2007). Active control of high rise building structures using fuzzy logic and genetic algorithms. *Engineering Structures*, 29(3), 346–357. doi:10.1016/j.engstruct.2006.04.015
- Pourzeynali, S. ve Salimi, S. (2015). Robust multi-objective optimization design of active tuned mass damper system to mitigate the vibrations of a high-rise building. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. doi:10.1177/0954406214531942
- Pourzeynali, S. ve Zarif, M. (2008). Multi-objective optimization of seismically isolated high-rise building structures using genetic algorithms. *Journal of Sound and Vibration*, 311(3–5), 1141–1160. doi:10.1016/j.jsv.2007.10.008
- Providakis, C. P. (2008). Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations. *Engineering Structures*, 30(5), 1187–1198. doi:10.1016/j.engstruct.2007.07.020
- Providakis, C. P. (2009). Effect of supplemental damping on LRB and FPS seismic isolators under near-fault ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(1), 80–90. doi:10.1016/j.soildyn.2008.01.012
- Quaranta, G., Marano, G. C., Greco, R. ve Monti, G. (2014). Parametric identification of seismic isolators using differential evolution and particle swarm optimization. *Applied Soft Computing Journal*, 22, 458–464. doi:10.1016/j.asoc.2014.04.039
- Rajeev, S. ve Krishnamoorthy, C. S. (1992). Discrete optimization of structures using genetic algorithms. *Journal of Structural Engineering (United States)*, 118(5), 1233–1250. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:5(1233)
- Rajeev, S. ve Krishnamoorthy, C. S. (1997). Genetic algorithms-based methodologies for design optimization of trusses. *Journal of Structural Engineering*, 123(3), 350–358. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1997)123:3(350)

### KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Rajeev, S. ve Krishnamoorthy, C. S. (1998). Genetic algorithm-based methodology for design optimization of reinforced concrete frames. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 13(1), 63–74. doi:10.1111/0885-9507.00086
- Rizzian, L., Léger, N. ve Marchi, M. (2017). Multiobjective sizing optimization of seismic-isolated reinforced concrete structures. *Procedia Engineering* içinde (C. 199, ss. 372–377). doi:10.1016/j.proeng.2017.09.044
- Robinson, W. H. (1982). Lead-rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 10(4), 593–604. doi:10.1002/eqe.4290100408
- Ryan, K. L. ve Chopra, A. K. (2004). Estimation of Seismic Demands on Isolators Based on Nonlinear Analysis. *Journal of Structural Engineering*, 130(3), 392–402. doi:10.1061/(asce)0733-9445(2004)130:3(392)
- Sabu, S. K., Chore, H. S. ve Patil, S. B. (2014). Effectiveness of Lead Rubber Base Isolators, for Seismic Resistance of Buildings, supported on different soil stratas. *International Journal of Electrical, Electronics and Computer Systems*, 2(4), 53–59.
- SAP2000. (2019). SAP2000 Version 20. *Structural Analysis Program: Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures*.
- Sharbatdar, M. K., Hoseini Vaez, S. R., Ghodrati Amiri, G. ve Naderpour, H. (2011). Seismic response of base-isolated structures with LRB and FPS under near fault ground motions. *Procedia Engineering* içinde (C. 14, ss. 3245–3251). doi:10.1016/j.proeng.2011.07.410
- Shoaei, P., Tahmasebi Orimi, H. ve Zahrai, S. M. (2018). Seismic reliability-based design of inelastic base-isolated structures with lead-rubber bearing systems. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 115, 589–605. doi:10.1016/j.soildyn.2018.09.033
- Sonmez, M., Aydin, E. ve Karabork, T. (2013). Using an artificial bee colony algorithm for the optimal placement of viscous dampers in planar building frames. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48(2), 395–409. doi:10.1007/s00158-013-0892-y
- Takahashi, A., Shibata, T., Motoyama, K. ve Misaji, K. (2017). Optimization of nonlinear vibration characteristics for seismic isolation rubber. *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 113(1), 1–14.
- Trifunac, M. (1993). How To Model Amplification of Strong Earthquake Ground Motions. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 22(3), 275.
- Wang, Q., Fang, H. ve Zou, X. K. (2010). Application of Micro-GA for optimal cost base isolation design of bridges subject to transient earthquake loads. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 41(5), 765–777. doi:10.1007/s00158-009-0470-5

**KAYNAKLAR (Devam ediyor)**

- Wesolowsky, M. J. ve Wilson, J. C. (2003). Seismic isolation of cable-stayed bridges for near-field ground motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32(13), 2107–2126. doi:10.1002/eqe.318
- Wu, S. J. ve Chow, P. T. (1995). Integrated discrete and configuration optimization of trusses using genetic algorithms. *Computers and Structures*, 55(4), 695–702. doi:10.1016/0045-7949(94)00426-4
- Xie, Y. ve Zhang, J. (2018). Design and Optimization of Seismic Isolation and Damping Devices for Highway Bridges Based on Probabilistic Repair Cost Ratio. *Journal of Structural Engineering (United States)*, 144(8). doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002139
- Xu, Y., Guo, T. ve Yan, P. (2019). Design optimization of triple friction pendulums for base-isolated high-rise buildings. *Advances in Structural Engineering*. doi:10.1177/1369433219849840
- Yang, X. S. (2010). A new metaheuristic Bat-inspired Algorithm. *Studies in Computational Intelligence* içinde (C. 284, ss. 65–74). doi:10.1007/978-3-642-12538-6\_6
- Yıldırım, S., Güler, M. D., Özer, C., Sütçü, F., Alhan, C. ve Erkuş, B. (2019). Sönümleyicili yapıların deprem tasarımı, Bölüm I: Uluslararası yönetmeliklerin incelenmesi. 5. *International Conference on Earthquake Engineering and Seismology ( 5ICEES )* içinde . Ankara.
- Zhou, Y., Chen, P., Zhang, D., Gong, S. ve Lu, W. (2018). A new analytical model for viscous wall dampers and its experimental validation. *Engineering Structures*, 163, 224–240. doi:10.1016/j.engstruct.2018.02.049
- Zou, X. K. (2008). Integrated design optimization of base-isolated concrete buildings under spectrum loading. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 36(5), 493–507. doi:10.1007/s00158-007-0184-5

## ÖZGEÇMİŞ



### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ali Erdem ÇERÇEVİK

Doğum Yeri ve Tarihi : Çayeli 31.08.1987

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Y. Lisans Öğrenimi : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2011-2019.

### İletişim

Adres : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

E-Posta Adresi : erdem.cercevik@bilecik.edu.tr

### Akademik Çalışmaları

- Çerçevik, A. E., Avşar Ö. (Baskıda). “Optimization of Linear Seismic Isolation Parameters via Crow Search Algorithm”, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, doi: 10.5505/pajes.2019.93636
- Çerçevik, A. E., Avşar Ö. (2019). “Sismik İzolasyon Parametrelerinin Karga Arama Algoritması İle Optimizasyonu”, 5th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES).
- Çerçevik, A. E., Avşar Ö. (2019). “Köprüler İçin Lineer Sismik İzolasyon Parametrelerinin Balina Algoritması İle Optimizasyonu”, 4.Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu.
- Çerçevik, A. E., Avşar Ö., Hasaıçebi O. (Baskıda). “Optimum design of seismic isolation systems using metaheuristic search methods”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering.

**Tarih: 27/12/2019**