Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 26(3), 440-447, 2020

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Doğrusal sismik izolasyon parametrelerinin karga arama algoritması ile optimizasyonu

Optimization of linear seismic isolation parameters via crow search algorithm

Ali Erdem ÇERÇEVİK[1*], *Özgür AVŞAR*[2]

[1]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye.
erdem.cercevik@bilecik.edu.tr

[2]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
ozguravsar@eskisehir.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 24.01.2019 Düzeltme Tarihi/Revision: 09.04.2020 doi: 10.5505/pajes.2019.93636
Kabul Tarihi/Accepted: 15.04.2019 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, karga arama algoritması (CSA) kullanılarak sismik izolatörlü bir yapının izolasyon parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bir kayma çerçevesi modeli ele alınarak tabanına izolasyon sistemi yerleştirilmiştir. Amaç, izolatör deplasman limitlerinin aşılmadan en düşük tepe ivmesini veren izolasyon sisteminin belirlenmesidir. Optimizasyon işlemleri için Matlab programı, yapısal analiz için ise SAP2000 programı kullanılmıştır. İki programın ortak çalışması için açık uygulama-programlama arayüzünden (OAPI) yararlanılmıştır. Yapısal analizler zaman tanım alanında yakın ve uzak saha etkilerine sahip gerçek deprem kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan sismik izolatörlü yapının gerçekleştirilen doğrusal analizleri sonucunda izolatör deplasmanları sınırlandırılarak optimum izolatör periyodu ve sönüm oranı belirlenmiştir. Analizler farklı izolatör deplasman limitleri ve sönüm oranı aralıkları için yapılmıştır. 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. Kullanılan karga arama algoritması ile elde edilen optimum izolatör parametreleri benzer bir çalışmanın sonuçları ile kıyaslanarak geçerlilikleri ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Sismik izolasyon, Optimizasyon, Karga arama algoritması, Yarı-Sezgisel algoritma, SAP2000 OAPI.

Abstract

In this study, isolation parameters of a seismic isolated structure were optimized via crow search algorithm (CSA). A shear frame model was generated with a base isolation system. The aim is to obtain isolation system parameters that result the minimum roof acceleration without exceeding the isolator displacement limits. The Matlab program was used for optimization operations and the SAP2000 program was used 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. Within the content of the study, linear isolator system parameters, which are the isolator period and damping ratio, were optimized through the linear time history analyses results by achieving the predefined aim. The analyses were performed for various isolation displacement limits and damping ratio ranges. The optimum results were determined at the range of various displacement limits and damping ratios by attaining the specified upper limits for displacement in all cases. Since higher damping ratios cause increased floor accelerations, optimum isolation parameters were achieved generally at the intermediate damping ratios well below the upper limits. Therefore, optimum isolation parameters are crucial for obtaining minimum floor accelerations. The verification of the optimum isolator parameters, which are achieved by the crow search algorithm employed, was made by comparing them with the results of a previous study.

Keywords: Seismic isolation, Optimization, Crow search algorithm, Metaheuristic algorithm, SAP2000 OAPI.

1 Giriş

Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımında, depremin yıkıcı etkilerine karşı yapı güvenliğini sağlayabilmek için yapılar yeterli rijitlik, dayanım ve süneklik özelliklerine sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Deprem yer hareketinin şiddetine bağlı olarak farklı seviyelerde oluşabilecek yapısal ve yapısal olmayan hasarları kabul eden bu yaklaşım, özellikle deprem sonrasında işlevselliğini koruması gereken kritik yapılarda kabul edilebilir bir yaklaşım değildir. Hastaneler, itfaiye binaları, kamu yönetim binaları, veri merkezleri, vb. deprem sonrası hemen kullanımı gereken kritik yapılardaki yüksek teknolojili hassas cihazların güvenliğini ve bu yapıların operasyonel kalmasını sağlayacak yaklaşımlardan birisi de sismik izolasyon yöntemidir [1].

Sismik izolasyon yönteminde ana felsefe yapının tabanına enerji sönümleyici elemanlar yerleştirilerek, yapının zeminden gelen deprem kuvvetlerinden asgari düzeyde etkilenmesini sağlamaktır. Yerleştirilen esnek elemanlar, yapı periyodunu artırmakta, göreli kat ötelemelerini ve kat ivmelerini azaltmaktadırlar. Göreli kat ötelemelerinin azalması ile döşemeler arasındaki elemanların yapısal ve yapısal olmayan hasarları azaltılabilmektedir. Kat ivmelerinin azalması ile de yapıdaki tireşime duyarlı hassas cihazlar korunarak işlevsel kalabileceklerdir [2],[3].

Yapıya gelecek yıkıcı deprem etkilerinin en aza indirilmesi için en uygun sismik izolasyon elemanları tasarlanmalıdır. Yapı şartlarına ve ihtiyaçlara en uygun izolatörü tasarlamak için birçok çalışma yapılmıştır [4]-[6]. Geleneksel sismik izolatör tasarımı yapının tepkilerine göre deneme yanılma yöntemi ile

*Yazışılan yazar/Corresponding author

yapılmaktadır. Başlangıçta belirlenen izolasyon parametreleri ile yapı analizi yapılır. Yapı tepkisi değerlendirilerek daha uygun parametreler için çözüm yinelenir. İstenilen kriterler sağlanıncaya kadar analizler tekrarlanır [7]. Doğrusal izolasyon tasarımları için bu yöntem uygulanabilse de deprem etkileri göz önüne alındığında en uygun izolasyon elemanlarının belirlenesi bir optimizasyon problemidir.

Sismik kaynakların yapıya olan mesafesine bağlı olarak yakın saha ya da uzak saha depremler sismik izolasyonlu yapıların tepkilerini oldukça farklı seviyede etkilemektedir. İzolasyonlu yapılar için ana ilke yapı periyodunun uzatılması olduğu için, bu yapılar izolatör seviyesinde çok büyük yer değiştirmeler yapmaktadır. İlave sönüm ile özellikle yakın saha deprem etkisinde oluşabilecek büyük yer değiştirmeler sınırlandırılabilirken, diğer taraftan yüksek sönüm özellikle uzak saha deprem etkilerinde kat ivmelerinde artışa neden olabilmektedir. Bu sebeple de uzak ve yakın saha deprem etkileri göz önüne alındığında problemin bir optimizasyon problemi olduğu açıktır. İzolasyon sönüm ve deplasmanı, uzak ve yakın saha etkiler göz önüne alınarak birçok çalışma yapılmıştır [8]-[10].

Sismik izolasyonlu yapıların istenilen performansı karşılayabilecek şekilde tasarımı için son dönemde farklı metotların kullanılması önerilmiştir. önerilen metotlardan bir tanesi izolasyon parametrelerinin belirli koşullara göre optimize edilmesidir. İzolasyon parametrelerinin en uygun çözümü için veri madenciliği [11], uygunluk kriteri metodu [12], yapay sinir ağları [13], stokastik analizi [14] gibi farklı yöntemlerin kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların haricinde problemlerin global optimum noktalarını bulmak için geliştirilmiş yarı-sezgisel algoritmaların kullanıldığı çalışmalar da yapılmıştır. Sismik izolasyonlu yapıların genetik algoritma ile çözüldüğü [7], [15]-[19], optimum izolasyon parametrelerinin armoni arama algoritması [8] ve benzetimli tavlama algoritmasının [20] kullanılarak belirlenen çalışmalar vardır. Bu çalışmalar, genellikle kat ivmelerinin minimize edildiği ya da maliyet minimizasyonu yapılan çalışmalardır.

Bu çalışma kapsamında doğrusal analizler ile sismik izolatörlü bir yapının optimizasyonu yapılmıştır. İzolasyon periyodu, rijitlik ve sönüm oranı, izolatör tasarımında önemli değişkenlerdendir. Eşdeğer izolasyon periyodu (T_0), üst yapının da rijit davrandığı varsayımıyla [21],

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{M_s}{k_0}} \tag{1}$$

eşitliği ile belirlenir. k_0 izolasyon sisteminin eşdeğer rijitliğini ve M_s yapı toplam kütlesini temsil etmektedir. İzolasyon sisteminin sönüm oranı (ξ_0) ise,

$$\xi_0 = \frac{c_0 . T_0}{4 . \pi . M_s} \tag{2}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada, c_0 izolasyon sistemindeki etkin sönüm katsayısıdır.

Bu çalışmada gerçek deprem kayıtlarının etkidiği izolasyonlu bir yapıda, belirli bir izolatör deplasman limiti, ve sönüm oranı ve periyot aralığında kalan ve minimum tepe ivmesini veren izolasyon parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2 Yöntem

2.1 Karga arama algoritması (CSA)

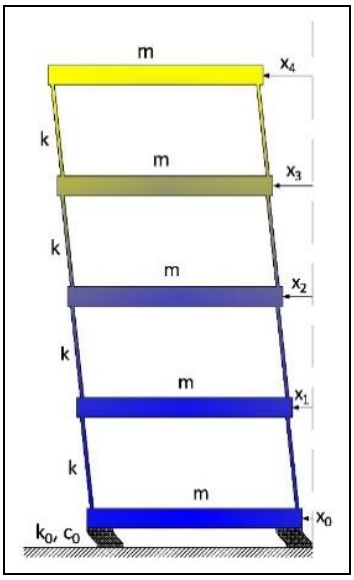
Karga arama algoritması (CSA), optimizasyon problemlerini çözmek için Askarzadeh (2016) tarafından geliştirilen etkin bir yarı-sezgisel algoritmadır [22]. Kargaların doğadaki akıllı davranışlarından esinlenilmiştir. Kargalar daha iyi besin kaynakları elde etmek için birbirlerini takip ederler. Diğer 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, matematiksek model olarak tasarlandığında kargalar arayıcıları, çevre arama uzayını, karganın her pozisyonu bir çözümü, besinin kalitesi amaç fonksiyonunu ve en iyi sonuç da global en iyi sonucu ifade etmektedir. CSA, öznitelik seçimi [23], kesirli optimizasyon [24], doğrusal olmayan optimizasyon problemleri [25], ve farklı mühendislik [26]-[28] problemleri gibi birçok alandaki problemin çözümünde uygulanmıştır.

Optimizasyon kodlaması hesaplama temelli bir yazılım platformu olan Matlab'da yapılmıştır [29]. Matlab programının kodlamada seçilmesinin nedeni optimizasyon çalışmalarında hızlı analiz yapılabilmesi ve SAP2000 programıyla OAPI sayesinde ortak çalışabilmesidir. OAPI, SAP2000 yazılımını geliştiren Computers and Structures firması tarafından hazırlanan, Matlab ve benzeri birkaç programda SAP2000 ile modelleme, analiz vb. pek çok işlemin yapılabileceği kodu içeren bir arayüzdür [30]. OAPI ile birçok yeni model tasarlanabileceği gibi önceden hazırlanmış modellerde de birçok değişiklik yapılarak Matlab yardımı ile tekrarlı analizler yaptırılabilmekte, sonuçlar yine OAPI yardımı ile Matlab'a çağırılabilmektedir. Bu özellikleri ile OAPI, optimasyon çalışmalarındaki tekrarlı çözümler için oldukça uygun bir arayüzdür.

2.2 Analitik model

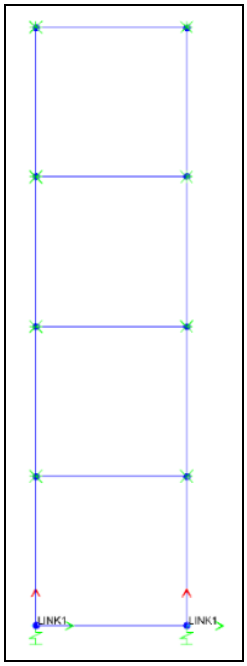
Kayma çerçeveleri, belirli bir periyoda ve rijitlik dağılımına sahip olan yapıları temsil etmek üzere her kat seviyesinin sonsuz rijit olarak tanımlandığı prototip iki boyutlu yapı modelleridir. Buna göre, yapı sadece kat seviyesinde yatay öteleme serbestlik derecelerine sahiptir. Niğdeli ve diğ. (2014) çalışmasında ele alınan sismik izolasyonlu 4 katlı kayma çerçevesinin izolatör parametrelerinin optimizasyonu bu çalışma kapsamında yapılacaktır. Yapı sönüm oranı tüm modlar için %5'tir. Sayısal analizlerde kullanılacak olan kayma çerçevesi Şekil 1'de verilmiştir.

Kayma çerçevesi SAP2000 programında modellenmiştir (Şekil 2) [30]. Kullanılacak modelde her katın nominal kütlesi aynıdır ve 1 ton olacak şekilde kat düğüm noktalarına eşit olarak tanımlanmıştır. 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. Analitik modele yayların elastik özellikleri olarak Denklem (1) ve (2)'de kullanılan eşdeğer rijitlik ve sönüm katsayıları tanımlanmıştır.



Şekil 1. Analizlerde kullanılan kayma çerçevesi modeli [8].

Figure 1. The shear frame model used in analysis [8].

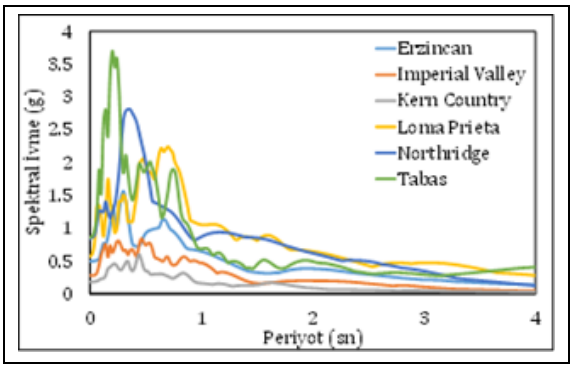


Şekil 2. SAP2000'de oluşturulan izolasyonlu kayma çerçevesi modeli.

Figure 2. Seismically isolated shear frame model developed in SAP2000.

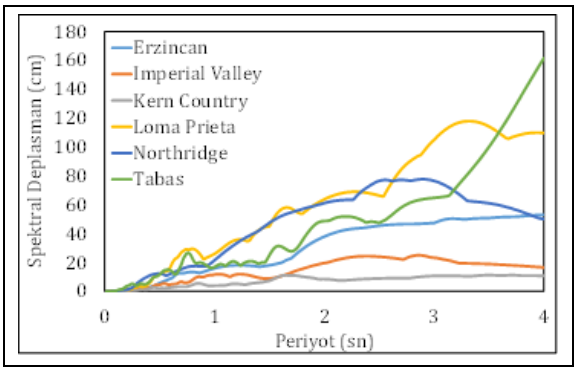
2.3 Deprem ivme kayıtları

Niğdeli ve diğ. (2014) çalışması sonuçları ile karşılaştırma yapabilmek için, bu çalışmada da aynı deprem ivme kayıtları kullanılmıştır. Bu kayıtlarından El Centro ve Taft ivme kayıtları uzak saha deprem kayıtları iken diğerleri yakın saha deprem kayıtlarıdır. Kayıtlar PEER Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı'ndan alınmıştır [31]. Çalışmada kullanılan 6 depremin isimleri, kayıt adları, kodları, tarihleri, pik yer ivmeleri (PGA), pik yer hızları (PGV) ve pik yer değiştirmeleri (PGD) Tablo 1'de verilmiştir. Analizlerde kullanılan ivme kayıtlarının ivme ve deplasman spektrumları Şekil 3 ve Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 3. Deprem ivme kayıtlarına ait %5 sönümlü ivme spektrumları [31].

Figure 3. 5% damped acceleration response spectra of the earthquake ground motions [31].



Şekil 4. Deprem ivme kayıtlarına ait %5 sönümlü deplasman spektrumları [31].

Figure 4. 5% damped displacement response spectra of the earthquake ground motions [31].

2.4 Optimizasyon yöntemi

Bu çalışmada izolatörlü yapının pik tepe ivmesi (PRA)/deprem pik yer ivmesi (PGA) değerini minumum yapan izolasyon parametreleri belirlenmiştir. Değişken parametreler, izolasyon periyodu (T_0) ve izolasyon sönüm oranıdır (ξ_0). İzolasyon sisteminin eşdeğer rijitliği (k_0) ve eşdeğer sönüm katsayısı (c_0) Denklem (1) ve (2) kullanılarak hesaplanmıştır. İzolasyon periyodu, genellikle sismik izolasyonlu yapılarda karşılaşılan 2 ve 4 sn. arasında limitlenmiştir [8], [32]. Ayrıca bu çalışmada da Niğdeli ve diğ. (2014)'te kullanılan izolasyon sisteminin sönüm oranı limitleri %0<(ξ_0)<%30, 0<(ξ_0)<%40 ve 0<(ξ_0)<50 olacak şekilde, 3 farklı aralıkta analiz yapılmıştır [8]. İzolasyon deplasman limitleri ise (x_0)<40cm, (x_0)<50 cm ve (x_0)<60 cm olacak şekilde optimizasyon yapılmıştır. Her sönüm oranı ve her deplasman limiti için farklı analizler yapılmış, toplam 9 farklı durum için optimizayon sonuçları sunulmuştur.

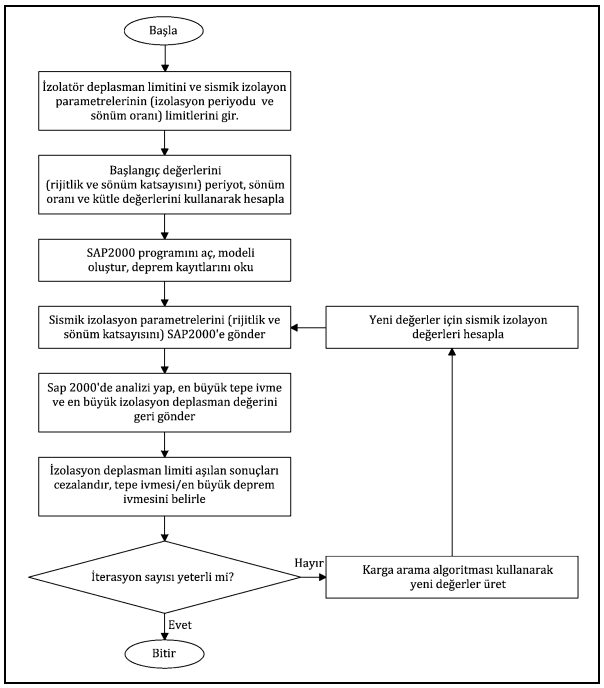
Ele alınan izolatörlü kayma çerçevesinin SAP2000 bilgisayar programı ortamında analizinin yapılabilmesi için iki değişken programa girilmiştir.

Bu değerler eşdeğer izolatör rijitliği (k_0) ve sönüm katsayısı (c_0) değerleridir. İzolasyon sisteminin rijitliği ve sönüm oranı ile yapının tepe ivmesi ve izolatör deplasmanı değerleri arasında bir ilişki vardır. Önerilen optimizasyon çalışması ile maksimum izolatör deplasmanı ve minimum tepe ivme değerleri için bu iki değer optimize edilmiştir. Çözüm için uygulanan algoritma Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 1. Deprem ivme kayıtları [31].

Table 1. Earthquake ground motion records [31].

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



Şekil 5. Doğrusal izolasyon sistemleri için önerilen optimizasyon yönteminin algoritması.

Figure 5. The flowchart of the optimization algorithm developed for linear isolation systems.

İzolasyon deplasmanı limiti aşılan durumlar için amaç fonksiyonu olan PRA/PGA değeri bir penaltı fonksiyonu ile çarpılarak uygunsuz sonuçlar cezalandırılmıştır.

$$f_{penaltı}(x) = \left(\kappa_1 + \frac{\delta}{l_b}\right)^{\kappa_2} \quad (3)$$

Burada, κ_1 ve κ_2 bu çalışma için sırasıyla 1 ve 2 alınmıştır δ değeri izolasyon deplasmanını, l_b değeri ise izolasyon deplasman limitini göstermektedir.

Bu çalışmada, tüm analizlerde popülasyon büyüklüğü 25, uçuş uzaklığı 2 ve farkındalık olasılığı 0.1 alınmıştır. İterasyon sayısı 100 adetle sınırlandırılmıştır. Yaklaşım eğrilerinden 100 iterasyonun yeterli olduğu görülmüştür.

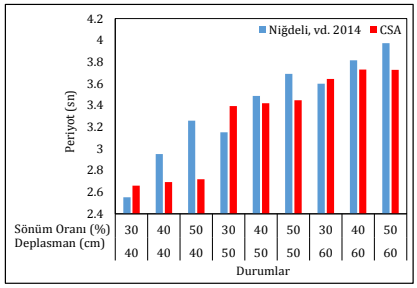
3 Bulgular

Analizler 3 deplasman limiti ve 3 sönüm oranı limiti için yapılmıştır. Toplam 9 durum için izolasyon parametreleri CSA ile optimize edilmiştir. Her durum için izolasyon periyodu 2-4s ile limitlenmiştir. 6 adet deprem ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal analizler yapılmıştır. 6 deprem kaydından en yüksek PRA/PGA değeri ve izolasyon deplasmanı her iterasyonda belirlenerek, ivme kayıtlarından her durum için en elverişsiz sonucu vereni değerlendirilmiştir. Her durum için optimizasyon çalışması üçer defa tekrarlanmış ve en iyi sonuçlar sunulmuştur. Tablo 2'de 9 durum için bulunan rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri, Niğdeli ve diğ. (2014) çalışmasında bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 2'de verilen 9 durum için sönüm oranı limiti %30 olan durumlar için rijitlik değerleri Niğdeli ve diğ. (2014)'te bulunan sonuçlardan daha düşük bulunurken, sönüm oranı %40 ve %50 limitleri için daha fazla bulunmuştur. Sönüm katsayıları için ise her durum için daha düşük belirlenmiştir.

Tablo 2'de bulunan eşdeğer rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri SAP2000'de hazırlanan 4 katlı sismik izolasyonlu çerçeve modeline uygulanmıştır. Niğdeli ve diğ. (2014) çalışmasında bulunan eşdeğer rijitlik ve sönüm katsayısı değerleri ile oluşturulan analitik modelin Tablo 1'de verilen tüm deprem kayıtları için zaman tanım alanı analizleri yapılmış ve sonuçlardan elde edilen en büyük izolasyon deplasmanı ve PRA/PGA oranı sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Çalışmada amaç fonksiyonu olarak belirlenen PRA/PGA oranı değerleri her durum için Niğdeli ve diğ. (2014)'ün yaptığı çalışmaya göre daha düşük belirlenmiştir. Sönüm oranları ise özellikle %50 sönüm oranı limitleri için %30 civarı daha düşük bulunmuştur. Yapılmış çalışmalarda deprem karakteristiğine göre yüksek sönümün kat ivmelerini artırdığı belirtilmiştir [9],[10]. 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 ve diğ. (2014)'te bulunan sonuçlara göre genellikle daha fazla bulunmuştur. Şekil 6'da belirlenen optimum rijitlik ve sönüm katsayısı değerlerine göre hesaplanan izolasyon periyot değerleri Niğdeli ve diğ. (2014)sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. Optimum sonuçlara göre hesaplanmış periyot değerleri.

Figure 6. Calculated isolation period values according to optimum results.

Tablo 2. CSA ile hesaplanan optimum izolasyon parametreleri.

Table 2. Calculated optimum isolation parameters with CSA.

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

Tablo 3. CSA ile hesaplanan optimum deplasman, sönüm oranı ve (PRA/PGA) değerleri.

Table 3. Optimum displacement, damping ratio and (PRA / PGA) values calculated with CSA.

Durum	Deplasman Limiti (cm)	Sönüm Oranı Limiti (%)	Niğdeli ve diğ. (2014) [14]			Bu Çalışma (CSA)			Farklar (%)		
			Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	PRA/PGA	Deplasman (cm)	Sönüm Oranı (%)	PRA/PGA	Deplasman	Sönüm Oranı	PRA/PGA
1	40	30	38.00	29.58	0.5183	39.42	29.82	0.5085	3.7	0.8	-1.9
2	40	40	38.56	39.72	0.5323	39.71	30.54	0.5050	3.0	-23.1	-5.1
3	40	50	40.01	48.51	0.5506	39.78	31.17	0.5033	-0.6	-35.7	-8.6
4	50	30	47.55	29.56	0.4795	49.75	29.61	0.4569	4.6	0.2	-4.7
5	50	40	49.08	39.42	0.4759	48.95	33.97	0.4485	-0.3	-13.8	-5.8
6	50	50	48.91	49.14	0.5123	49.84	33.96	0.4460	1.9	-30.9	-12.9
7	60	30	58.16	29.75	0.4315	59.95	28.65	0.4290	3.1	-3.7	-0.6
8	60	40	58.12	39.49	0.4474	59.96	32.99	0.4176	3.2	-16.5	-6.7
9	60	50	55.17	48.45	0.4936	59.49	33.54	0.4192	7.8	-30.8	-15.1

Periyot değerleri tüm durumlar için 2-4s arasında kalmıştır. %30 sönüm limiti hariç diğer sönüm oranları için Niğdeli ve diğ. (2014)'ün sonuçlarına göre düşük periyot değerleri bulunmuştur. Yapılan karşılaştırmada, özellikle düşük izolatör deplasman limitinde (40cm) ve yüksek sönüm oranı limitlerinde iki çalışma arasındaki fark artmaktadır.

Ayrıca Tablo 3'ten de görüleceği üzere Niğdeli ve diğ. (2014)'un çalışmasında doğrusal izolatör parametreleri çoğunlukla belirlenen sönüm üst limit değeri tarafından kontrol edilirken, CSA ile yapılan bu çalışmada optimum parametrelerin elde edilmesinde deplasman üst limiti belirleyici faktör olmuştur. İki çalışma arasındaki bu önemli fark neticesinde, Niğdeli ve diğ. (2014)'ün ortaya koymuş olduğu optimum sonuçlarda aynı deplasman üst limiti ve farklı sönüm üst limitleri için farklı deplasman değerleri bulunurken, CSA ile yapılan bu çalışmada farklı sönüm üst limitleri için de deplasman üst limitine yakın optimum deplasman değerleri elde edilmiştir. Aynı deplasman üst limit değeleri için, CSA ile elde edilen optimum deplasman değerlerinin yakın olması benzer izolasyon rijitlik değerlerine (Tablo 2) ve dolayısıyla da benzer izolasyon periyot değerlerine ulaşılmasını sağlamıştır. Çalışmada kullanılan 6 deprem kaydının 9 duruma göre en büyük deplasman ve en büyük PRA/PGA oranını veren depremler Tablo 4'te sunulmuştur.

Analiz sonuçlarında farklı sismik karakteristik özelliğe sahip olan 6 depremden Loma Prieta ve Tabas depremi en etkili depremler olarak belirlenmiştir. Herhangi bir durum için en büyük deplasman değerini oluşturan deprem ve en büyük PRA/PGA değerini oluşturan deprem farklı olabilmektedir. Çalışma kapsamında 6 deprem için de en büyük değerler alınarak belirlenen limitlerde kalınması sağlanmıştır. Sismik izolasyonlu yapılarda titreşime duyarlı cihazların gerek güvenlikleri gerekse de işlevselliklerini koruyabilmeleri için kat ivmelerinin belirli limitlerde tutulması gerekmektedir. En kritik kat ivmesi genellikle yapı tepe noktasında oluştuğundan bu çalışmada da pik tepe ivme değerinin minimum değerini verecek optimum izolatör parametreleri belirlenmiştir.

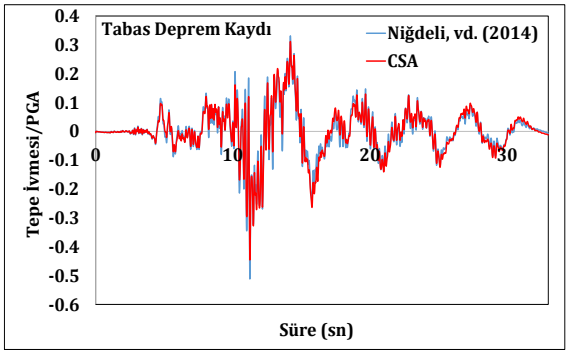
Tablo 4. 9 farklı durum için optimum sonuçları oluşturan etkin deprem kayıtları.

Table 4. Dominant earthquake records that control the optimum results for 9 different cases.

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

Gerçekleştirilen optimizasyonun geçerliliğini kontrol edebilmek için aynı yapı için yapılan önceki çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda CSA ile yapılan optimizasyon çalışmasında amaç fonksiyonu olan Tepe ivmesinin en büyük yer ivmesine oranı Durum 6 için en elverişsiz değerleri veren Tabas ivme kaydı analiz sonuçları için Şekil 7'de kıyaslanmıştır.

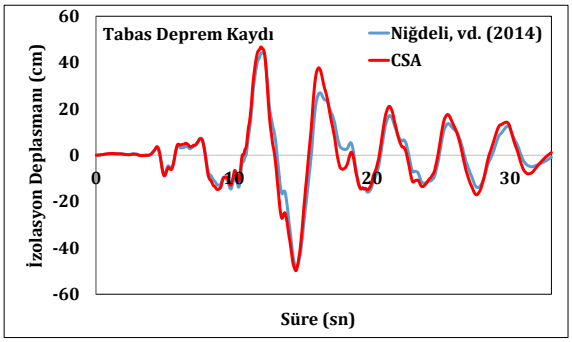
Tablo 3'ten de görüldüğü üzere 6. Durum için Niğdeli ve diğ. (2014)'te bulunan sonuçlarından %12.9 daha az PRA/PGA değeri bulunmuştur. Benzer şekilde Şekil 7'de görüldüğü üzere deprem kaydı süresi boyunca CSA ile optimize edilen izolatör parametreleri kullanılarak bulunan PRA/PGA değerleri çoğunlukla, Niğdeli ve diğ. (2014)'te bulunan değerlerden daha düşüktür.



Şekil 7. Durum 6, Tabas kaydı için tepe ivmesi/PGA oranı değişimi.

Figure 7. Case 6, the time variation of peak roof acceleration/PGA ratio for the Tabas record.

Sismik izolasyonlu yapı tasarımında, izolasyon deplasmanı en önemli parametrelerden biridir. İki farklı çalışma ile belirlenen optimum izolatör parametreleri kullanılarak analiz sonucu elde edilen izolasyon deplasmanları karşılaştırılmıştır. Şekil 8'de 6. Durum için Tabas deprem kaydı altında yapılan analiz sonucunda hesaplanan izolasyon deplasman değişimi karşılaştırılmıştır.



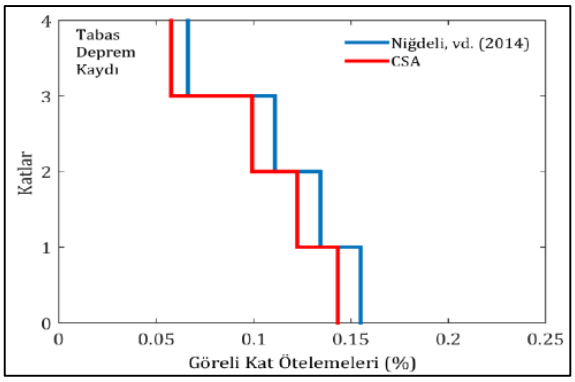
Şekil 8. Durum 6, Tabas kaydı için izolasyon deplasman değişimi.

Figure 8. Case 6, the time variation of isolation displacement for the Tabas record.

Tablo 3'te görülebileceği gibi 6. Durum için İzolasyon deplasmanı, Niğdeli ve diğ. (2014) çalışmasında bulunan sonuçlarından %3.1 daha fazla bulunmuştur ve sonuçlar birbirine çok yakındır. Bu sayede, izolasyon katı limitine daha çok yaklaşılmış, izolatör kapasitesi optimum düzeyde kullanılmıştır.

Yapısal güvenlik için önemli parametrelerden bir tanesi de göreli kat ötelemeleridir. Katlar arası oluşan göreli deplasmanlar tüm yapısal ve yapısal olmayan elemanları zorlayarak hasarlara neden olmaktadır. Sismik izolasyonlu yapılarda ana felsefe, yapıyı zeminden ayırarak neredeyse bir bütün halinde hareket etmesini ve göreli kat ötelemelerin düşük sevide kalmasını sağlamaktır. Şekil 9'da Durum 6 için Tabas deprem kaydı altında iki farklı çalışma sonuçları ile hesaplanan en büyük göreli kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır.

Bulunan optimum izolasyon parametreleri için göreli kat öteleme oranları %0.1 civarında bulunmuştur. İzolasyonlu yapı felsefesi gereği göreli kat öteleme oranları ele alınan tüm durumlar için Durum 6'daki gibi düşük çıkmaktadır. Niğdeli ve diğ. (2014) sonuçları ile karşılaştırıldığında daha düşük göreli kat öteleme oranları bulunmuştur.



Şekil 9. Durum 6, Tabas kaydı için en büyük göreli kat ötelemeleri oranları.

Figure 9. Case 6, the maximum inter-story drift ratios for the Tabas record.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada karga arama yarı-sezgisel algoritması (CSA) kullanılarak sismik izolatörlü bir yapının izolasyon parametreleri optimize edilmiştir. OAPI kullanılarak yapısal analiz programı SAP2000 ve Matlab programlama dili ortak çalıştırılmıştır. Taban seviyesine sismik izolasyon uygulanmış 4 katlı bir kayma çerçeve modeli kullanılmıştır. Hem yakın saha ve hem de uzak saha etkilerini barındıran gerçek deprem kayıtlarından oluşan bir veri seti kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal analizler yapılmıştır. İzolasyon deplasmanı sınırlandırılarak en düşük tepe ivmesini veren izolasyon periyodu ve sönüm oranı optimize edilmiştir. 3 farklı izolasyon deplasman limiti ve 3 farklı sönüm oranı limiti dikkate alınarak oluşturulan 9 farklı durum için CSA ile elde edilen optimum izolatör parametreleri benzer bir çalışmanın sonuçları ile kıyaslanarak yapılan optimizasyon çalışmasının geçerliliği ortaya konmuştur. Buna göre, beklendiği üzere yüksek sönüm oranının kat ivmelerinde artışa neden olması nedeniyle optimum izolasyon parametreleri en büyük sönüm oranı değerinde bulunmamıştır. İzolasyonlu bir yapının tasarımında en uygun izolasyon parametrelerinin belirlenmesinde CSA yöntemi ile yapılacak optimizasyonun yeterli olduğu ele alınan izolatörlü yapı kapsamında ortaya konmuştur.

5 Conclusions

In this study, isolation parameters of a seismically isolated structure were optimized by using crow search meta-heuristic algorithm (CSA). OAPI was employed to provide the interaction between the structural analysis program SAP2000 and Matlab programming language for optimization algorithm. A base isolated 4 story shear frame model was used. The linear time history analyses were performed using both recorded near- and far-fault earthquake ground motions. The linear isolator system parameters, which are the isolator period and damping ratio, were optimized to achieve minimum roof acceleration without exceeding the isolation displacement limits. The validity of the optimization study was demonstrated by comparing the optimum isolator parameters obtained with CSA for 9 different cases developed by considering 3 different isolation displacement limits and 3 different damping ratio limits with the results of a similar study. Accordingly, as the higher damping ratios cause increased floor accelerations, optimum isolation parameters were achieved generally at the intermediate damping ratios well below the upper damping ratio limits. Therefore, optimum isolation parameters are crucial for obtaining minimum floor accelerations. It has been demonstrated that the optimum isolation system parameters can be achieved by CSA method satisfactorily in the design of a seismically isolated structure.

6 Kaynaklar

[1] Alhan C, Sahin F. “Protecting vibration-sensitive contents: an investigation of floor accelerations in seismically isolated buildings”. *Bulletin of Earthquake Engineering,* 9, 1203-1226, 2001.

[2] Naeim F, Kelly JM. *Design of Seismic Isolated Structures: from Theory to Practice,* 1nd ed. New York, USA, John Wiley & Sons, 1999.

[3] Skinner RI, Robinson WH, McVerry GH. “Seismic isolation in New Zealand”. *Nuclear Engineering and Design,* 127(3), 281-289, 1991.

[4] Hameed A, Koo MS, Do TD, Jeong JH. “Effect of lead rubber bearing characteristics on the response of seismic-ısolated bridges”. *KSCE Journal of Civil Engineering,* 12(3), 187-196, 2008.

[5] Jangid RS. “Optimum lead-rubber ısolation bearings for near-fault motions”. *Engineering Structures,* 29(10), 2503-2513, 2007.

[6] Eltahawy W, Ryan KL, Cesmeci S, Gordaninejad F. “Parameters affecting dynamics of three-dimensional seismic isolation”. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-26, 2018 (Baskıda).

[7] Wang Q, Fang H, Zou XK. “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, 2010.

[8] Nigdeli SM, Bekdaş G, Alhan C. “Optimization of seismic isolation systems via harmony search”. *Engineering Optimization,* 46(11), 1553-1569, 2014.

[9] Providakis CP. “Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations”. *Engineering Structures*, 30(5), 1187-1198, 2008.

[10] Kelly JM. “The role of damping in seismic isolation”. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics,* 28(1), 3-20, 1997.

[11] Huang PC, Wan S, Yen JY. “A novel method of searching appropriate ranges of base isolation design parameters through entropy-based classification”. *Structural Control and Health Monitoring,* 16(4), 385-405, 2009.

[12] Zou XK. “Integrated design optimization of base-isolated concrete buildings under spectrum loading”. *Structural and Multidisciplinary Optimization,* 36(5), 493-507, 2008.

[13] Yucel M, Öncü-Davas S, Nigdeli SM, Bekdas G, Sevgen S. “Estimating of analysis results for structures with linear base isolation systems using artificial neural network model”. *International Journal of Control Systems and Robotics,* 3, 50-56, 2018.

[14] Fan J, Long X, Zhang Y. "Optimum design of lead-rubber bearing system with uncertainty parameters”. *Structural Engineering and Mechanics,* 56(6), 959-982, 2015.

[15] Pourzeynali S, Zarif M. “Multi-objective optimization of seismically isolated high-rise building structures using genetic algorithms”. *Journal of Sound and Vibration,* 311(3), 1141-1160, 2008.

[16] Fallah N, Zamiri G, "Multi-objective optimal design of sliding base isolation using genetic algorithm". *Scientia Iranica A*, 20(1), 87-96, 2013.
[17] Charmpis DC, Komodromos P, Phocas MC, "Optimized earthquake response of multi-storey buildings with seismic isolation at various elevations". *Earthquake Engng Struct. Dyn.* 41(15), 2289-2310, 2014.
[18] Mojolic C, Hulea H, Parv BR. "Automatic design optimization tool for passive structural control systems". *AIP Conference Proceedings*, 1863, 560036, 2017.
[19] Barakat SA, AlHamaydeh MH, Nassif OM. "Optimization of seismic isolation systems with viscous fluid dampers using genetic algorithms". *5th InternationalConference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering,* Crete Island, Greece, 25-27 May 2015.
[20] Moeindarbari, H, Taghikhany T. "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), 1-19, 2018.
[21] Chopra, AK. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 2nd ed. Hall, NJ, Pearson Education, 2001.
[22] Askarzadeh A. "A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: crow search algorithm". *Computers & Structures,* 169, 1-12, 2016.
[23] Sayed GI, Hassanien AE, Azar AT "Feature selection via a novel chaotic crow search algorithm". *Neural computing and applications,* 31(1), 171-188, 2017.
[24] Rizk-Allah RM, Hassanien AE, Bhattacharyya S. "Chaotic crow search algorithm for fractional optimization problems". *Applied Soft Computing,* 71, 1161-1175, 2018b.
[25] Mohit J, Asha R, Vijander S. "An improved crow search algorithm for high-dimensional problems". *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems,* 33(6), 3597-3614, 2017.
[26] Turgut OE. "Crow search based multi-objective optimization of irreversible air refrigerators". *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 6(2), 103-112, 2018.
[27] Tamilarasan A, Renugambal A, Manikanta D, Reddy GS, Sravankumar K, Sreekar B, Prasadreddy GV. "Application of crow search algorithm for the optimization of abrasive water jet cutting process parameters". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 390(1), 12-34, 2018.
[28] Jamshidi M, Askarzadeh A. "Techno-economic analysis and size optimization of an off-grid hybrid photovoltaic, fuel cell and diesel generator system". *Sustainable Cities and Society*, 44, 310-320, 2019.
[29] MathWorks MATLAB. "The language of technical computing". Version: R2015a. MathWorks, Natick, Massachusets, 2015.
[30] SAP2000. "Structural analysis program: Static and dynamic finite element analysis of structures". Version: 19. Computer and Structures. Berkeley, CA. 2018.
[31] Pacific Earthquake Engineering Research Center. "PEER Strong Motion Database". http://peer.berkeley.edu/smcat, (20.08.2018).
[32] Pan P, Zamfirescu D, Nakashima M, Nakayasu N, Kashiwa H. "Base-isolation design practice in Japan: Introduction to the Post-Kobe approach". *Journal of Earthquake Engineering,* 9(1), 147-171, 2005.