

Geri çekme düzensizliğine sahip çelik çerçevelerde optimum viskoz sönümleyici dağılımının incelenmesi

Investigation of optimum viscous damper distribution in steel frames with set back irregularities

Murat HİÇYILMAZ^{1*}, Mizan DOĞAN², Hasan GÖNEN³

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye.
murathicyilmaz@aku.edu.tr

^{2,3}İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
mizan@ogu.edu.tr, hgonen@ogu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 23.06.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 30.10.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.69094

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada geri çekme düzensizliğine sahip iki adet çelik çerçeve üzerinde optimum sönümleyici dağılımı incelenmiştir. Geri çekme düzensizliğine bağlı gerilme yığılmaları bulunan çelik çerçeveler üzerinde zaman-tanım alanında doğrusal analizler gerçekleştirilmiştir. Optimum viskoz sönümleyici dağılımının belirlenebilmesi için basitleştirilmiş sıralı arama algoritması kullanılmıştır. Analizler neticesinde kat kolonlarında oluşan en büyük eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri, katlar için göreceli kat yerdeğiştirme oranları ve taban kesme kuvvetleri incelenmiş olup, optimum dağılımın üniform dağılıma göre ne gibi farklılıklar yarattığı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Nümerik çalışma neticesinde, basitleştirilmiş sıralı arama algoritması ile yapılan optimum sönümleyici dağılımının, toplam sönümleyici büyüklüğü değişmediği halde üniform dağılıma göre daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Çelik çerçeveler, Viskoz sönümleyiciler, Geri çekme düzensizliği, Optimum sönümleyici dağılımı

Abstract

In this study the optimal damper distribution is investigated on two steel frames with set-back irregularities. Linear time-history analyses has been performed on steel frames with tensile strains due to set-back irregularities. A simplified sequential search algorithm is used to determine the optimal viscous damper distribution. As a result of analysis, maximum axial force, shear force and bending moment values in the columns, relative floor displacement rates for the floors, base shear forces are investigated and it has been attempted to show how the optimum distribution is different from the uniform distribution. As a result of numerical study it has been seen that the optimal damper distribution gives more positive results than the uniform distribution even though the total damper size does not change.

Keywords: Steel frames, Viscous dampers, Set-back irregularity, Optimum damper distribution

1 Giriş

Geleneksel yapılarda enerji, malzemelerin deformasyonu ile sönümlenir. Viskoz sönümleyiciler dinamik bir kuvvetin neredeyse tüm enerjisini absorbe ederler ve yapısal hareketlere direnç sağlarlar [1]. Geri çekme düzensizliği bulunan yapılarda belirli bir kattan itibaren planda ani veya orantılı bir daralma ile kütle ve rijitlik değişimi söz konusu olur. Bu da ilgili katlarda aşırı yanal deplasman ve gerilme yığılmalarına sebebiyet verir. Özmen ve diğ. [2], çok katlı yapılarda geri çekme düzensizliğinin yapının geometrisinden çok düşeyde rijitlik dağılımı dengesizliğine bağlı olarak ortaya çıktığı sonucuna varmışlardır. Karavasilis ve diğ. [3], çeşitli geri çekme düzensizliğine sahip 120 adet düzlem çelik çerçevenin plastik deformasyon talebini belirlemek için sismik analizler gerçekleştirmişlerdir. Geri çekmenin alt katlardan başladığı çerçevelerde en büyük deformasyon talebinin üst katta, diğer çerçevelerde ise geri çekmeye komşu katlarda olduğu görülmüştür. Mazza [4], geri çekme düzensizliğine sahip iki adet betonarme yapıya histeretik sönümleyiciler ilave etmiştir. Çalışmada sönümleyicilerin yüksek mod etkilerini de hesaba katan yerdeğiştirme esaslı bir çözüm prosedürü geliştirmiştir. Farklı güvenlik seviyeleri için çerçevelerin sismik tepkilerinde sönümleyici ilavesi ile iyileşme görülmüştür. Montazeri ve diğ. [5], çeşitli geri çekme düzensizliğine sahip 5 ve 10 katlı

modeller üzerinde çalışmışlardır. Modellerin doğal titreşim periyotları farklı yönetmeliklerde verilen ampirik formüllerle ve modal analiz ile ayrı ayrı hesap edildiğinde, ampirik formüllerin geri çekme etkilerini yansıtmayacak şekilde modifiye edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Sönümleyicilerin yapı üzerinde optimum dağılımının belirlenmesi için transfer fonksiyonlarına, aktif kontrol teorisine vb. dayanan metotlar geliştirilmiştir. Bununla birlikte sönümleyici tasarımı için de gradyan tabanlı, genetik algoritma tabanlı aktif kontrol teorisi tabanlı metotlar vardır. Takewaki [6] yerdeğiştirme-ivme eşzamanlı kontrolünde rijitlik-sönüm eşzamanlı optimizasyonu için iki adımlı bir yaklaşım önermiştir. Takewaki [7] stokastik tepki indeksi ile amaç fonksiyonunu maksimize edecek yeni bir olasılıkçı kritik uyarılma metodu geliştirmiştir. Gluck ve diğ. [8] yapılarda istenmeyen titreşim etkilerini azaltan sönümleyicilerin optimum kontrol teorisine dayanan tasarımı için bir yöntem önermişlerdir. Viskoz, visko-elastik ve Adas gibi pasif sönümleyiciler için uygulanabilir olan bu yöntem optimum kontrol için doğrusal kuadratik regülatör (LQR) kullanılmaktadır. Loh ve diğ. [9] aktif kontrol algoritması ve tek modlu yaklaşım tekniği kullanarak pasif kontrol elemanlarının tasarımı üzerine çalışmışlardır. Aydın [10] çelik yapılarda optimum viskoz sönümleyici dağılımının belirlenmesi için yeni bir performans fonksiyonu önermiştir. Optimizasyon kriterleri Lagrange çarpanları metodu ile türetilmiş ve elde edilen

denklemler en dik yön algoritması ile çözümlenmiştir. Cimellaro [11] yerdeğiştirme ivme ve taban kesme kuvvetlerini içeren bir transfer fonksiyonu geliştirmiştir. Yumuşak kat davranışı gösteren 6 katlı bir bina üzerinde nümerik çalışmalar yapmıştır. Levy ve Lavan [12] doğrusal ve doğrusal olmayan yapılarda gerçek ivme kayıtları altında sınırlandırılmış katlar arası performans indislerini kullanarak optimum sönümleyici tasarımı üzerine çalışmışlardır. Nümerik çalışma sonuçları gradyan temelli optimizasyon sonuçları ile uyumluluk göstermiştir. Singh ve Moreschi [13] doğrusal yapı sistemlerinde optimum sönümleyici boyutunu ve konumunu belirleyen bir genetik algoritma önermişlerdir. Silvestri Trombetti [14] genetik algoritma tabanlı nümerik bir yaklaşım yoluyla viskoz sönümleyici ilave edilen sistemlerde optimum sönümleyici performansı üzerine çalışmışlardır. Garcia [15], sönümleyici yerleşiminde kullanılan optimizasyon tekniklerinin, her katta farklı büyüklükte sönümleyici kullanılması sebebiyle yeterince basit ve uygulanabilir olmadığı düşüncesi ile yeni bir yöntem geliştirmiştir. SSSA (basitleştirilmiş sıralı arama algoritması) adını verdiği yöntem Zhang ve Soong'un [16] ortaya koyduğu sıralı arama algoritmasının geliştirilmiş halidir. Garcia ve Soong [17], farklı titreşim periyodu, kat adedi ve sönümleyici dağılımı olan binalara doğrusal sönümleyiciler ilave etmiş ve farklı yer ivmeleri altında analizler gerçekleştirmişlerdir. SSSA metodu ile özellikle düşük ve orta katlı binalar için, kat adedinin 1.5-2 katı kadar sönümleyici kullanılması durumunda oldukça verimli sonuçlar alındığını ve elde edilen verimin kullanılan yer hareketinin karakteri ile yakından ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Bu çalışmanın amacı geri çekme düzensizliğine sahip çelik çerçevelerde optimum sönümleyici dağılımının basitleştirilmiş sıralı arama algoritması (SSSA) ile belirlenmesidir. Bununla beraber bu tür düzensizliğe sahip çelik çerçevelerde viskoz sönümleyici ilavesinin etkileri de ortaya konulmaya çalışılmıştır. Nümerik çalışmada iki adet 11 katlı çelik çerçeve ele alınmıştır. Model I'de geri çekme 8. kattan, Model II'de ise 2. kattan itibaren tanımlanmıştır. Böylelikle üst katlarda ve alt katlarda görülen düzensizlikler için ayrı değerlendirme yapılması mümkündür. Geri çekme düzensizliği kriterlerine uyan bu çerçevelere viskoz sönümleyiciler ilave edilerek, sönümleyici varlığının ve düşey dağılımının, çerçevenin sismik tepkilerini ne şekilde etkilediği incelenmiştir. Düşeyde üniform dağılım (her kata bir adet sönümleyici) sonucu elde edilen sonuçlar ile optimum dağılım sonucu elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma geri çekme düzensizliği bulunan çelik çerçevelerde sönümleyici varlığının etkilerini ortaya koymak açısından önem taşımaktadır. Bununla beraber toplam sönümleyici büyüklüğünü değişmediği halde, optimum dağılımda sönümleyicilerin daha verimli çalışması ve dolayısıyla yapıdaki sönüm kapasitesinin artırılması temel hedeflerdir.

2 Basitleştirilmiş sıralı arama algoritması

Bu metotta sönümleyici ilave edilmemiş yapının sismik tepkileri zaman-tanım alanında analiz ile hesap edilir. Sönümleyiciler en büyük kat yerdeğiştirmesinin ya da kat hızının görüldüğü seviyeye (optimum yerleşim indisinin en büyük olduğu kat seviyesi) birer birer konularak işlemler tekrar edilir. SSSA'da optimum yerleşim indisi Denklem (1) ile hesaplanabilir.

$$\gamma_i = \alpha_1 \delta_i + \alpha_2 \dot{\delta}_i \quad (1)$$

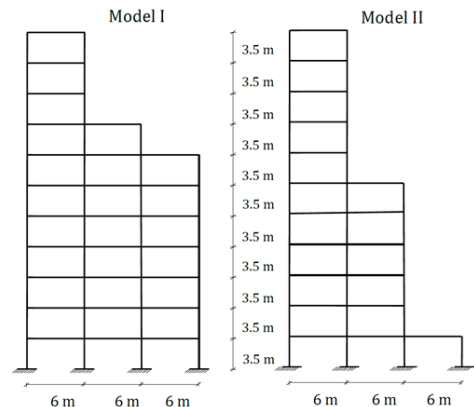
Burada γ_i optimum yerleşim indisini, α_1 , α_2 sabit katsayıları, δ_i i. kat en büyük yerdeğiştirme değerini, $\dot{\delta}_i$ i. kat en büyük hız değerini göstermektedir [17]. Bu çalışmada sadece yer değiştirmeye ($\alpha_1=1$, $\alpha_2=0$) bağlı değerlendirme yapılmıştır. Tasarım değişkeni sadece sönümleyici olduğundan, çalışma sürekli optimizasyon problemi olarak adlandırılabilir. SSSA yönteminin doğrusal elastik sınırlar içinde geçerli olduğu bilinmektedir. Bu sebeple performans hedefi olarak uniform sönümleyici dağılımında katlar arası en büyük görece yerdeğiştirme değeri 1.5 cm olarak belirlenmiş ve buna bağlı olarak tüm yer ivmeleri bu hedefi sağlayacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Optimum dağılımın belirlenebilmesi için kullanılan algoritma akışı şu şekildedir;

- 1) Ölçeklenmiş yer ivmesi altında boş çerçevenin zaman tanım alanında doğrusal analizi yapılır,
- 2) Denklem (1) ile verilmiş olan optimum yerleşim indisi kullanılarak ilk sönümleyicinin hangi kata ilave edileceği belirlenir,
- 3) İlk sönümleyici ilave edilerek doğrusal analiz tekrarlanır ve ikinci sönümleyicinin hangi kata ilave edileceği belirlenir,
- 4) Optimum dağılımda kullanılması gereken azami sönümleyici adedine ulaşıncaya kadar bu prosedüre devam edilir,
- 5) Optimum dağılım işlemi tamamlandıktan sonra bir sonraki yer ivmesi için algoritma başa döner.

Sönümleyicilerin optimum dağılımlarının belirlenebilmesi için birçok metod vardır. Bu çalışmada SSSA metodunun seçilmesinin sebebi algoritmanın sade ve anlaşılır olması, verimlilik bakımından diğer karmaşık yöntemlerde elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermesi ve pratikte çerçeveler üzerinde kolaylıkla uygulanabilir olmasıdır.

3 Kullanılan çelik çerçeveler

Bu çalışmada kullanılan iki adet çerçevenin tasarımı DBYYHY'e [18] uygun olarak yapılmıştır. Model I ve Model II her ikisi de 11 katlı ve üç açıklıklıdır. Çerçevelere etki eden g sabit yükü normal katlar ve çatı katı için 20 kN/m, q hareketli yükü ise 10 kN/m kabul edilmiş ve katlara düzgün yayılı yük olarak etkiltilmişlerdir. Çerçeveler Fe52 yapı çeliğinden imal edilmiş ve her kat kendi içinde rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Hareketli yük katılım katsayısı 0.3, etkin yer ivmesi katsayısı 0.4, bina önem katsayısı 1.0, taşıyıcı sistem davranış katsayısı 8.0, yerel zemin sınıfı Z3 olarak tanımlanmıştır. Çerçevelere ait görünüm Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Çerçevelere ait görünüm.

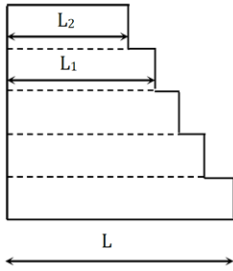
41 adet yükleme kombinasyonu [18] kullanılarak Sap2000 [19] yapısal analiz programında yapılan analizler neticesinde Model I-II kiriş ve kolonlarında kullanılması uygun görülen enkesitler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Analizler neticesinde seçilen kesitler.

Kat Seviyesi	Kolonlar	Kirişler
0-14 m	HE700A	HE450A
14-28 m	HE600A	HE400A
28-38.5 m	HE500A	HE340A

3.1 Düzensizlik kriterleri

Eurocode 8’e göre [20] simetrik olmayan geri çekmeli yapılarda birbirini takip eden katlar arasında plan boyutundaki fark en fazla %10 olmalıdır. Bununla beraber yine bu yapılarda en üst kat ile taban boyutları arasındaki fark %30 değerinin aşmamasıdır. Bu düzensizlik durumu Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Çekme düzensizliği kriteri.

$$L_1 - L_2 \leq 0.1L_1 \text{ ve } L - L_2 \leq 0.3L \quad (2)$$

Her iki model için birbirini takip eden katlar arasında plan boyutundaki farklar %50 ve %33.3, en üst kat ile taban boyutları arasındaki fark %66.7 olduğu için, modellerde geri çekme düzensizliği mevcuttur.

3.2 Zaman tanım alanında analiz

Her iki modele ait sismik tepkilerin belirlenebilmesi için zaman tanım alanında doğrusal analizler gerçekleştirilmiştir. Yerel zemin sınıfına uygun 7 adet yer ivmesi kullanılmıştır. P-delta etkileri ihmal edilmiş ve Rayleigh sönüm oranı kullanılmıştır.

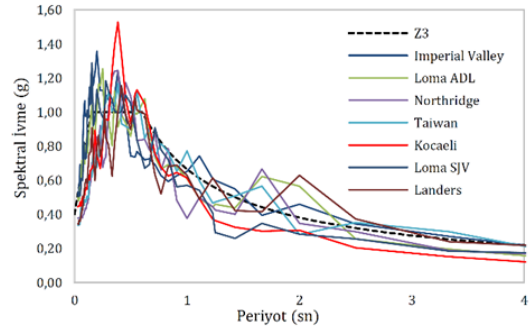
3.3 Yer ivmeleri

Bu çalışmada Fahjan’ın [21] yaptığı bir çalışma neticesinde ölçeklendirilerek deprem yönetmeliğinde verilen tasarım spektrumuna uygun hale getirilmiş olan 7 adet yer ivmesi kaydı kullanılmıştır. Pasifik Dep. Müh. Arş. Merkezi’nden [22] alınan kayıtlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Yer ivmesi kayıtları.

Kayıt İsmi	Tarih	İstasyon	Kayıt	Maks. İvme (g)	Ölçek
Imperial Valley	15.10.79	El Centro Array#12	HE12140	0.1449	8.46
Loma Prieta	18.10.89	Anderson Dam	ADL340	0.0781	14.82
Northridge	17.01.94	Neeenach-Sacatarra	NEE090	0.0558	16.92
Taiwan	14.11.86	Smart1	45I01NS	0.1401	5.97
Kocaeli	17.08.99	Duzce	DZC180	0.3119	3.53
Loma Prieta	18.10.89	Salinas-John Work	SJV160	0.0915	13.72
Landers	28.06.92	San Bernardino	HOS180	0.087	9.85

7 adet ivme kaydınının 1. derece deprem bölgesi ve Z₃ zemin şartları için elde edilen spektral ivme grafikleri Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3: Ölçeklendirilmiş spektral ivme grafikleri.

3.4 Rayleigh sönümü yaklaşımı

Çerçevelerde içsel sönümün hesabı için Rayleigh orantılı sönüm yaklaşımı kullanılmıştır. İlk iki moda ait sönüm oranları birbirine eşit ve $\xi_1 = \xi_2 = 0.03$ alınmıştır. Model I’e ait ilk iki mod açılal frekans değerleri $\omega_1 = 5.3597$ rad/sn, $\omega_2 = 12.003$ rad/sn. olduğundan $\alpha = 0.222$ ve $\beta = 0.00346$ ve Model II’ye ait ilk iki mod açılal frekans değerleri $\omega_1 = 5.1154$ rad/sn, $\omega_2 = 11.701$ rad/sn olduğundan $\alpha = 0.214$ ve $\beta = 0.00357$ olarak alınmıştır.

3.5 Sönümleyici katsayısı hesabı

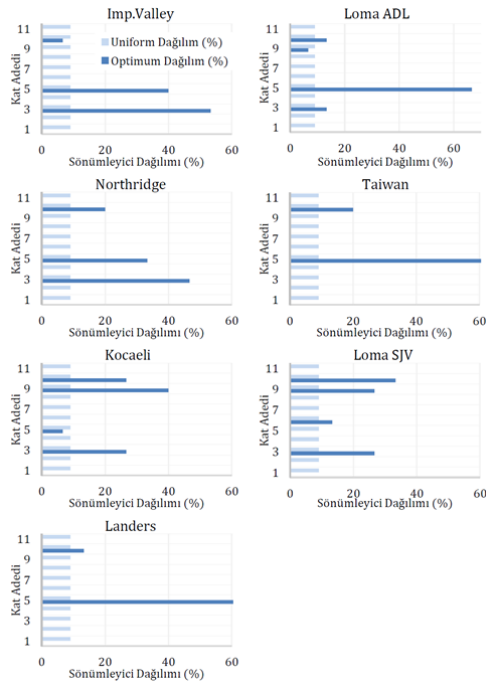
Doğrusal sönümleyiciler için sönümleyici katsayısı hesabı (efektif sönüm oranı) FEMA273 [23] şartnamesinden alınmıştır.

$$\xi_{\text{eff}} = \xi + \frac{T \sum C_j \alpha^2 \cdot (\phi_j - \phi_{j-1})^2}{4 \pi \sum m_j \phi_j^2} \quad (3)$$

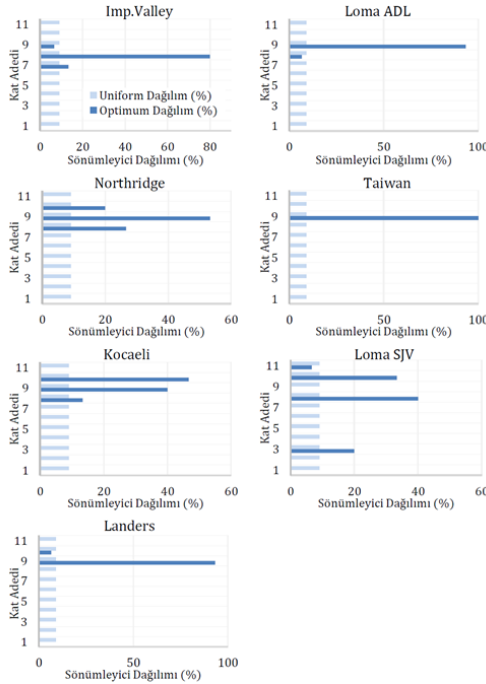
Burada, ξ_{eff} efektif sönüm oranı, ξ sistem sönüm oranı, T birinci doğal titreşim periyodu, C_j sönüm elemanı sönüm katsayısı, m_j kat kütlesi, ϕ_j j. kat 1. mod deplasman değerleri, α sönümleyici tipine bağlı katsayıdır. Buna göre üniform dağılımda %15 hedef sönüm oranını sağlayacak sönümleyici katsayıları Model I için C_{0.15} = 1902 $\frac{\text{kNsn}}{\text{m}}$, Model II için C_{0.15} = 1057 $\frac{\text{kNsn}}{\text{m}}$ olarak hesap edilmiştir.

4 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4’te analizlerde kullanılan 7 yer ivmesi için Model I’e ait sönümleyici dağılım yüzdeleri verilmiştir. Üniform dağılımda her kata bir adet sönümleyici yerleştirilirken, optimum dağılımda ise sönümleyici dağılımı SSSA yöntemine göre belirlenmiştir. İstenilen sönüm oranını sağlayan toplam sönümleyici büyüklüğü sabit tutularak, üniform dağılımda 11 adet sönümleyici kullanılırken, optimum dağılımda ise 15 adet sönümleyici kullanılmıştır [17]. Şekil 5’te Model II’e ait sönümleyici dağılım yüzdeleri verilmiştir. Model I’de optimum sönümleyici dağılımı genel anlamda alt ve orta katlarda yoğunlaşmış olmasına rağmen, Model II için dağılım üst katlarda yoğunlaşmıştır. Bunun iki sebebi olduğu düşünülmektedir. Birincisi geri çekme düzensizliği, ikincisi ise düzeyde seçilen kiriş ve kolon kesitlerinin 5. ve 9. katlarda küçülmesidir. Model I’de üst katlarda görülen geri çekme düzensizliğinin, çerçevdeki sönümleyici dağılımına etkisi fazla olmazken, özellikle 1. ve 6. katta geri çekme düzensizliğine sahip Model II’de durum farklı gelişmiştir. Özellikle 6. kattaki geri çekme neticesinde, üst katlardaki görel kat yerdeğıştirmelerinin artması, SSSA ile yerleştirilen sönümleyicilerin üst katlarda yoğun olarak yer almasına sebebiyet vermiştir.



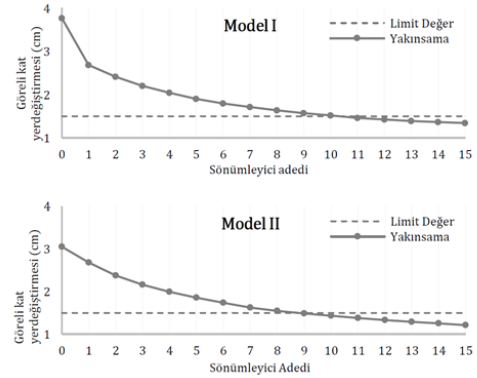
Şekil 4: Model I'e ait sönümleyici dağılım yüzdeleri.



Şekil 5: Model II'ye ait sönümleyici dağılım yüzdeleri.

Model I'de sönümleyiciler çoğunlukla 3, 4 ve 5. katlarda, Model II'de ise 8, 9 ve 10. katlara dağılım göstermişlerdir. Her yer ivmesi kaydı, kaydın yapıldığı istasyonun fay hattına olan uzaklığı ve/veya yerel zemin koşulları vb. sebeplerle farklı karakterdedir. Bu yüzden ele alınan 7 kayıt için optimum dağılımların birebir aynı olması beklenmemelidir. Bununla beraber ek sönümleme oranları arttıkça sönümleyici konumlarının zemin hareketine duyarlılığının azaldığı literatürde yer almaktadır [17]. Yine de gerçek bir tasarım yapılması istendiğinde Şekil 4 ve Şekil 5'te verilen sonuçlara bakarak sönümleyicilerin yoğun olarak ilave edilmesi gereken katlar hakkında fikir sahibi olunabilir.

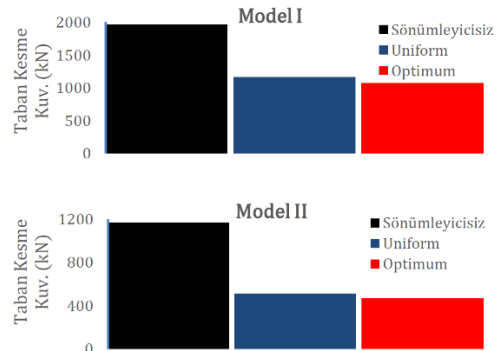
Optimum dağılımın daha iyi değerlendirilebilmesi için Şekil 6'da sonuçları görülen yakınsama analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6: SSSA ile yakınsama analizi.

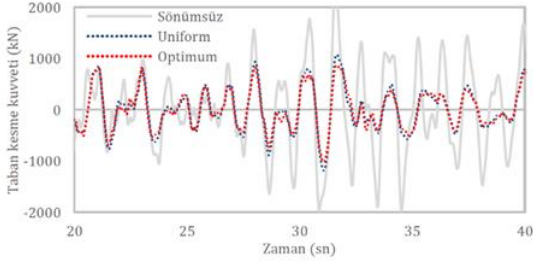
Bu grafikte 7 farklı yer ivmesi için yapılan analizlerden elde edilen ortalama değerler verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, uniform dağılımda ve optimum dağılımda toplam sönümleyici büyüklüğünün değişmediğidir. Örnek vermek gerekirse Model I için uniform dağılımda bir sönümleyicinin büyüklüğü $c_u = C_{0.15}/11$, optimum dağılımda ise $c_{opt} = C_{0.15}/15$ olarak belirlenmiştir. Ölçekli yer ivmeleri ile gerçekleştirilen SSSA analizi neticesinde Model I için 10 adet sönümleyici, Model II için ise 9 adet sönümleyici kullanılarak uniform sönümleyici dağılımında katlar arası en büyük görel yerdeğiştirme değeri 1.5 cm olarak belirlenmiş olan performans hedefine (limit değer) ulaşmak mümkün olmuştur. Bu değerler SSSA metodu ile yapılan sönümleyici dağılımda, uniform dağılıma göre daha az sönümleyici büyüklüğü ile aynı hedefin sağlanabileceğinin önemli bir göstergesidir.

Şekil 7'de tüm yer ivmeleri için hesaplanan taban kesme kuvveti değerlerinin ortalaması görülmektedir. Sonuçlar sönümleyicisiz, uniform dağılım ve optimum dağılım için ayrı ayrı verilmiştir. Böylece hem sönümleyici varlığının yapı davranışına olan katkısını hem de uniform ve optimum dağılım arasındaki farkı görmek mümkündür. Şekilden açıkça görülebildiği üzere taban kesme kuvveti değerlerinde, sönümleyicisiz duruma göre uniform dağılımda Model I ve Model II için sırasıyla %40.9 ve %56.3, optimum dağılımda ise sırasıyla %45.8 ve %59.9 oranında bir düşüş gözlenmiştir. Böylelikle SSSA sonucu elde edilen optimum dağılımın, taban kesme kuvvetleri bakımından uniform dağılıma oranla daha verimli olduğu söylenebilir.



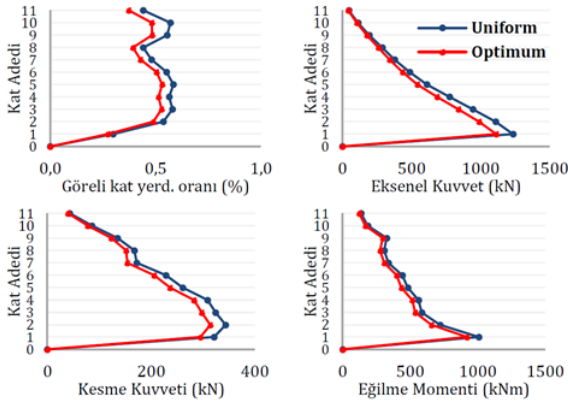
Şekil 7: Model I ve Model II için taban kesme kuvveti değerleri.

Şekil 8 Landers yer ivmesi altında 20-40 sn zaman aralığı için Model II'de oluşan taban kesme kuvvetlerini göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere taban kesme kuvvetlerinde optimum dağılımda uniform dağılıma oranla sürekli bir düşüş sağlanmıştır. Örneğin 32. saniyede uniform dağılım için taban kesme kuvveti değeri 863 kN iken optimum dağılımda bu değer %14.3'lük bir düşüşle 740 kN olarak ölçülmüştür.

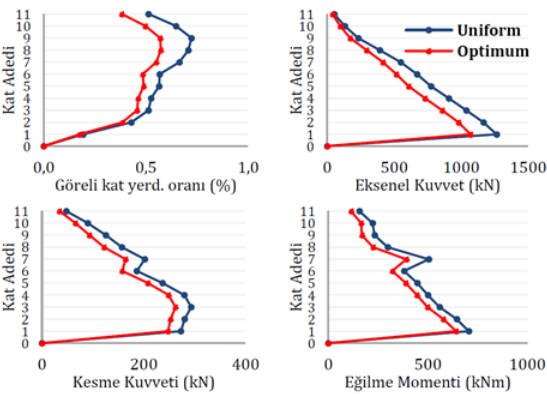


Şekil 8: Taban kesme kuvvetlerinin zamana göre değişimi.

Şekil 9 ve Şekil 10 sırasıyla Model I ve Model II için, dinamik etkiler sonucu oluşan en büyük görece kat yerdeğiştirme oranlarını ve iç kuvvet değerlerini (eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti) göstermektedir.



Şekil 9: Model I için görece kat yerdeğiştirme oranları ve iç kuvvet değerleri.



Şekil 10: Model II için görece kat yerdeğiştirme oranları ve iç kuvvet değerleri.

Değerler tüm yer ivmeleri için elde edilen sonuçların ortalamasıdır [18]. Kat seviyelerindeki görece kat yerdeğiştirme oranları azalma yüzdeleri Model I için alt ve üst katlarda birbirine oldukça yakındır. Model II'de ise sönümleyici yoğunluğunun üst katlarda olmasına bağlı olarak azalma yüzdeleri bu katlarda daha yüksektir. Geri çekme

düzensizliğine bağlı olarak Model I'de 9., Model II'de ise 7. kattaki görece kat yerdeğiştirmelerinin altlarındaki katlara göre arttığı görülmektedir.

Şekil 9 incelendiğinde görece kat yerdeğiştirme oranlarında ve iç kuvvet değerlerinde optimum dağılımın uniform dağılıma göre daha olumlu sonuç verdiği görülebilir. Tüm katlar için değerlendirme yapılacak olursa, iyileşme görece kat yerdeğiştirme oranlarında %8.6-15.5 aralığında, ekstenel kuvvetlerde %8.3-11.5, kesme kuvvetlerinde %7.7-10.5 ve eğilme momentlerinde %8.0-10.2 aralığında değişmektedir.

Model II için de benzer durum söz konusudur. Tüm katlar için değerlendirildiğinde iyileşme görece kat yerdeğiştirme oranlarında %9-25.5 aralığında, ekstenel kuvvetlerde %15.4-26.7, kesme kuvvetlerinde %9.1-27.4 ve son olarak eğilme momentlerinde %9.1-26.9 aralığındadır. Bu verilerden iki sonuç çıkarılabilir. Birincisi, uniform dağılım için hedeflenen sönüm oranının optimum dağılımda daha az sönümleyici büyüklüğü ile ulaşmak mümkündür. İkincisi ise uniform dağılım için hedeflenen sönüm oranının, toplam sönümleyici büyüklüğü değişmeksizin optimum dağılım ile artırılabilir.

5 Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada geri çekme düzensizliği bulunan iki adet çelik çerçeve üzerinde optimum sönümleyici dağılımı incelenmiştir. Optimum dağılım basitleştirilmiş sıralı arama algoritması (SSSA) ile gerçekleştirilmiştir. Sönümleyici ilavesi ile Model I ve Model II için SSSA ile yapılan optimum sönümleyici dağılımı, modellerin kendi içlerinde tutarlıdır. Yani kat kütlelerinin ve rijitliklerinin azaldığı seviyelerde yoğunlaşmışlardır. Sönümleyici dağılım grafikleri gerçek bir tasarım için sönümleyicilerin hangi katlara yoğunlaşması hususunda bilgi vermektedir. Her iki model için tüm yer ivme kayıtlarında görece kat yerdeğiştirme oranlarında ve iç kuvvet değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Rölaf olarak optimum dağılımda uniform dağılıma oranla Model I için görece kat yerdeğiştirme oranında %8.6-15.5, ekstenel kuvvet değerlerinde %8.3-11.5, kesme kuvveti değerlerinde %7.7-10.5 ve eğilme momenti değerlerinde %8.0-10.2 aralığında, Model II için görece kat yerdeğiştirme oranında %9.0-25.5, ekstenel kuvvet değerlerinde %15.4-26.7, kesme kuvveti değerlerinde %9.1-27.4 ve eğilme momenti değerlerinde %9.1-26.9 aralığında düşüş yüzdeleri gözlenmiştir. Özellikle kat yerdeğiştirmelerinde meydana gelen düşüşler iç kuvvetlerde de düşüşe olanak sağlamıştır. Her iki modelde de optimum dağılımda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin uniform dağılıma oranla düşük olduğu gözlenmiştir. Optimum dağılımda performans hedefine uniform dağılımdakinden daha az büyüklükte sönümleyici ile ulaşılmıştır. Sonuç olarak geri çekme düzensizliği bulunan bu iki çelik çerçevede, SSSA ile yapılan optimum sönümleyici dağılımı, toplam sönümleyici büyüklüğü değişmediği haddde, üniform dağılıma oranla daha olumlu sonuç vermiştir. Bu sebeple geri çekme düzensizliğine sahip çelik yapılarda, pratik, kolay uygulanabilir ve etkili olması bakımından SSSA metodu ile optimum sönümleyici dağılımı yapmak verimliliği arttıracaktır.

6 Kaynaklar

- [1] Constantinou MC, Soong TT, Dargush GF. "Passive energy dissipation systems for structural design and retrofit". Multidisciplinary Center For Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY, 1998.

- [2] Özmen G, Pala S, Yalçın K. "Çok katlı yapılarda geri çekme düzensizliğinin deprem hesabına etkisi". 4. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ankara, Türkiye, 17-19 Eylül 1997.
- [3] Karavasilis TL, Bazeos N, Beskos DE. "Seismic response of plane steel mrf with setbacks: estimation of inelastic deformation demands". *Journal of Constructional Steel Research* 64, 644-654, 2008.
- [4] Mazza F. "Nonlinear Seismic Analysis of rc. framed buildings with setbacks retrofitted by damped braces". *Engineering Structures*, 126, 559-570, 2016.
- [5] Montazeri SM, Khaledi F, Kheyroddin A. "A study on steel moment resisting frames with setbacks: dynamic properties". *The 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 24-28 September 2012.
- [6] Takewaki I. "Displacement-acceleration control via stiffness damping collaboration". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28, 1567-1585, 1999.
- [7] Takewaki I. "optimum damper placement for planar building frames using transfer functions". *Probabilistic Engineering Mechanics*, 15, 317-325, 2000.
- [8] Gluck N, Reinhorn AM, Gluck J, Levy R. "Design of supplemental dampers for control of structure". *Journal Struct Eng ASCE*, 122(12),1394-9, 1996.
- [9] Loh CH, Lin PY, Chung NH. "Design of dampers for structures based on optimal control theory". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 1307-1323, 2000.
- [10] Aydın E. "Optimal damper placement based on base moment in steel building frames". *Journal of Constructional Steel Research*, 79, 216-225, 2012.
- [11] Cimellaro GP. "Simultaneous stiffness-damping optimization of structures with respect to acceleration, displacement and base shear". *Engineering Structures*, 29, 2853-2870, 2007.
- [12] Levy R, Lavan O. "Fully stressed design of passive controllers in framed structures for seismic loadings". *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 32, 485-498, 2006.
- [13] Singh MP, Moreschi LM. "Optimum seismic response control with dampers". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 553-72, 2001.
- [14] Silvestri S, Trombetti T. "Physical and numerical approaches for the optimal insertion of seismic viscous dampers in shear-type structures". *Journal of Earthquake Engineering*, 11, 787-828, 2007.
- [15] Garcia DL. "A simple method for the design of optimal damper configurations in mdof structures". *Earthquake Spectra* 17(3), 387-398, 2001.
- [16] Zhang RH, Soong TT. "Seismic design of viscoelastic dampers for structural applications". *Journal of Structural Engineering ASCE*, 118(5), 1375-1392, 1992.
- [17] Garcia DL, Soong TT. "Efficiency of a simple approach to damper allocation in mdof structures". *Journal of Structural Control*, 9(1), 19-30, 2002.
- [18] DBYBHY. "Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik". TC. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 26454 Sayılı Resmi Gazete, Ankara, Türkiye, 2007.
- [19] Sap2000. "Yapısal analiz programı". Versiyon 16.1.1. Computers and Structures Inc. Berkeley-California, 2014.
- [20] Eurocode 8. "Design of Structures for Earthquake Resistance". 2004.
- [21] Fahjan YM. "Selecting and scaling of real earthquake records appropriate the acceleration design spectrum in Turkish earthquake code". *IMO Technical Journal*, 4423-4444, Article 292, 2008.
- [22] Pacific Earthquake Engineering Research Center. "PEER Strong Motion Database". <http://peer.berkeley.edu/smcat>, 2006.
- [23] FEMA 273. "Federal Emergency Management Agency Publication". NHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, DC, 1997.