

Sürtünme sönümlü elemanlı betonarme sistemlerin sismik performansı

Semra ŞİRİN*, Hasan BODUROĞLU

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul, TR

Özet

Bu çalışmada tek serbest dereceli betonarme sistemlerde hemen kullanım performans seviyesi için sürtünmeli sönüm elemanının rijitliği ve kayma yer değiştirme değerlerinin seçilmesine yönelik yapılan doğrusal olmayan dinamik analizlerin sonuçları sunulmuştur. Farklı betonarme sistem ve sönümleyici elemanların oluşturduğu 360 sistem için maksimum yer değiştirme ve taban kesme kuvveti performans kıstası olarak seçilmiştir. Mevcut betonarme sistemlerde iki farklı akma dayanım ve 0.1 sn-0.9 sn aralığında 9 farklı periyot değeri kullanılmıştır. Sönüm elemanlarında kullanılan dört farklı rijitlik ve beş farklı kayma yer değiştirme değerleri mevcut sistemin rijitlik ve akma yer değiştirme değerlerinin oranları olarak belirlenmiştir. Gevşek ve sıkı zemin profili için faya en fazla 15 km mesafedeki deprem kayıtları kullanılarak oluşan 14400 adet doğrusal olmayan dinamik analiz yapılması için algoritma geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan zemin koşuluna bağlı olarak betonarme sistemin özelliğine göre uygun sürtünmeli sönüm elemanının rijitliği ve kayma yer değiştirme değerleri performans kıstası temel alınarak belirlenmiştir. Optimum sürtünmeli sönüm elemanlarının özellikleri karşılaştırıldığında, aynı kayma yük seviyesinde sönüm elemanının rijitliğinin büyük olmasının yer değiştirme talebinde daha büyük azalmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir. Akma dayanımı düşük mevcut betonarme sistemler, daha yüksek seviyede kayma yer değiştirme değerine sahip sürtünme sönümlü elemanla birlikte performans kıstaslarını karşılayabilmiştir. Periyodu 0.5 sn'den büyük olan mevcut betonarme sistemler için, kayma yük seviyesi, sıkı zemin profili için azalırken gevşek zemin profili için aynı kalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji sönümleyici, doğrusal olmayan dinamik analiz, performans seviyesi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Semra ŞİRİN. sirinse@itu.edu.tr; Tel: (216) 341 99 95.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Sürtünme sönümlü betonarme çerçevelerde deprem parametrelerinin yer değiştirme talebine etkisi ve analiz yöntemlerinin değerlendirilmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 08.06.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 27.10.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Şirin, S., Boduroğlu, H., (2010) 'Sürtünme sönümlü elemanlı betonarme sistemlerin sismik performansı', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 9: 6, 169-177" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Seismic performance of RC systems with friction damper

Extended abstract

In recent years, researchers have modified masses, stiffness or damping in structures to control their vibration instead of using traditional method which provides dissipation of earthquake-induced energy by the inelastic response of the structural members. Damage due to this yielding action is usually repaired expensively or may be so serious that demolishing of building must be required. Here damping due to friction is considered as an energy dissipation method due to some advantages. Friction devices are generally capable of repeated cycles of displacement without loss of strength, stability or energy dissipation. In addition, since they are fabricated from traditional materials. They require little maintenance; their use in seismic design and retrofit applications appears to be very promising. The new significant feature in performance-based earthquake engineering is the selection of seismic performance level for a given earthquake ground motion. In this article, the effectiveness of friction dampers on reinforced concrete systems for immediate occupancy (IO) performance level is investigated considering the properties of the system and friction damper.

A number of studies toward deriving a reasonable criterion for optimal design of frames with supplemental dampers have been reported. Some of them have defined performance indexes which evaluate the performance of the system as the ratio of suitable parameters calculated for the damped brace frame to that for the unbraced frame. The others have used the acceptability limits for the structural response as performance criteria to select appropriate damper properties.

In this study, the selection of brace stiffness and slip displacement level of friction damper for SDOF RC systems having different period and strength ratio is made considering the peak response values for IO level obtained from the comprehensive nonlinear time history analyses. The reason of selecting IO performance level is that the structure is only slightly damaged and the capacities of force resisting systems have almost the same pre-earthquake ones in this level. Since both dynamic and inelastic response is modeled in nonlinear dynamic analysis

permitted to be used for structures without any restrictions, this procedure is used for the evaluation.

Nonlinear time history analyses are performed using the force displacement relationships of bare RC system and friction damped brace. Q-hyst model is considered for nonlinear dynamic response of RC system while elasto-plastic model is used to represent that of the damped brace here. Algorithm is developed to perform 14400 nonlinear dynamic analyses formed by 9 different periods (0.1s-0.9s), 2 strength ratios for bare RC system and 4 brace stiffness, 5 slip displacement values for friction damper using 40 earthquake records. The earthquake records are taken at stations whose closest distances are less than 15 km to the fault. The average peak ground acceleration of 20 unscaled earthquakes for each soil profile is 0.35 g.

Peak values of displacements and shear forces are stored. The limit value for average peak displacement is considered as the yielding displacement of bare RC system. The damper properties are selected from the cases providing this limitation with low base shear. As a conclusion, ductility and base shear demand are strongly dependent on the brace to the frame stiffness ratio, the device slip to the frame yield displacement ratio and the soil profile. Generally base shear increases with the ratio of the brace stiffness to the frame stiffness and the device slip to the frame yield displacement. On the other hand, these conditions are opposite for the displacement demands. Although high brace stiffness ratio and slip displacement ratio warrant the displacement limitation, dissipated energy by friction damper decreases and the behavior of the system shows similarity with braced one without any dissipation feature. Higher brace stiffness causes greater decrement in displacement demand under the same slip load which can be obtained by using different brace stiffness and slip displacement ratio. For the period of bare RC system higher than 0.5s, required slip load level decreases for stiff soil profile while almost same load level is required for soft soil profile. In addition, lower slip load level is required to obtain performance objective for lower strength ratio of bare RC system. The results obtained are limited since only IO level is aimed for sites whose closest distances are less than 15 km.

Keywords: Energy dissipators, nonlinear dynamic analysis, performance criteria.

Giriş

Deprem enerjisinin sönümlemesi yapının taşıyıcı sistemi yerine, yapıya yerleştirilen izolatörler veya sönümleyiciler tarafından sağlanmaktadır. Sönümlemenin miktarı yalnız mevcut yapı ve sönümleyici özelliklerine bağlı değil aynı zamanda maruz kalacağı deprem büyüklüğüne de bağlıdır. Bu sebeple de günümüze kadar yapılan çalışmalarda çeşitli yapılar üzerindeki sönümleyicilerin performansı irdelenmiştir. Önemli olan konu performansın değerlendirildiği kıstasların belirlenmesidir. Araştırmacıların bir kısmı sönümleyicili sistemdeki bazı parametrelerin mevcut sistemdekine oranını performans kriteri olarak ele alırken diğerleri takviye edilmiş yapının davranışını kıstas olarak ortaya koymuşlardır.

Filiatrault ve Cherry (1990) enerji alanı ile ilgili göreceli performans indeksini kriter olarak kullanmışlardır. Fu ve Kasai (1998) mevcut yapıdaki ivme ve yer değiştirme talebindeki azalımı kıstas olarak almışlardır. Belev (2000) bu iki terime ek olarak durumu ekonomik açıdan değerlendiren bir parametre düşünmüştür. Wanitkorkul ve diğerleri (2003) yapıya gelen sismik enerji ile sönümlenen enerji arasındaki farkı performans indeksi olarak kullanmışlardır. Grigorian ve Popov (1994) sönümlenen enerjinin yapıya gelen enerjiye oranının kıstas olarak alınmasının hataya neden olabileceği üzerinde durmuşlardır. Örneğin sönümleyiciye göre büyüklüğü az ama uzun süreli bir deprem, sönümleyicinin kayma yer değiştirme değerini aşmadığı için sönümleyici tarafından kullanılan enerji söz konusu olmayacaktır. Diğer taraftan aynı sistem için daha büyük zorlamalarda sönümlenen enerjinin yapıya gelen enerjiye oranı büyük olacaktır. Filiatrault ve diğerleri (2001) ivmesi yüksek depremlerin etkisi altında altı katlı bir yapı için sürtünme sönümleyicilerin performansını, maksimum katlar arası yer değiştirme ve katlardaki maksimum ivme değerlerini kıstas olarak incelemişlerdir.

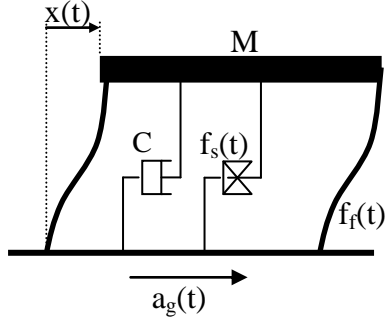
Son yıllarda performans dayalı analiz yöntemleri oldukça yaygın bir biçimde kullanılmaya

başlamıştır. ATC-40 (1996), FEMA-356 (2000) ve FEMA-440 (2005) prosedürleri yapıların sismik davranışını anlamada açık ve etkili araçlar sağlamaktadırlar. Bu dokümanlar, verilen bir deprem hareketi için yapıdan beklenen performans seviyesini ifade eden “sismik performans amacı” kavramını tanıtmışlardır. Bu çalışmada yapının yaklaşık olarak deprem öncesi kapasitesine sahip olduğu kabul edilen “hemen kullanım” (HK) performans seviyesi seçilmiştir. Hemen kullanım performans seviyesinde yapıda oldukça az yapısal hasar olup, yapı hemen hemen eski rijitlik ve dayanımına sahiptir ve yapısal olmayan elemanlar güvenlidir. Yer hareketi büyüklüğü olarak ortalama ivmeleri 0.35 g olan orijinal deprem kayıtları kullanılmıştır. (HK) performans seviyesi için performans kıstası olarak toplam sistemin maksimum yer değiştirme değerinin, mevcut betonarme sistemin akma değerine oranının 1 civarında olması öngörülmüştür. Böylece taşıyıcı sistemin deprem sonrası elastik sınır ötesinde zorlanması engellenmiş olup orijinal kapasitesini koruması amaçlanmıştır. Bu şartı sağlayan sönümleyicilerden en az taban kesme kuvvetine sahip olan seçilmiştir. Sönümleyici elemanlı sistemler için FEMA-356 (2000) doğrusal yöntemlere yönelik pek çok kısıtlama getirdiğinden, doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır. Farklı betonarme sistem ve sönümleyici elemanların oluşturduğu 360 sistem için sıkı ve gevşek zemindeki 40 deprem kaydı kullanılmıştır. Sonuçta meydana gelen 14400 doğrusal olmayan dinamik analiz algoritma geliştirilerek, maksimum yer değiştirme ve taban kesme kuvvetleri bilgileri elde edilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle sürtünme sönümlü tek serbestlik dereceli betonarme sistemin doğrusal olmayan davranışının modellenmesi açıklanmıştır. Sırasıyla ele alınan mevcut sistem ve sönümleyici eleman parametreleri belirtilip, kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri verilmiştir. Son olarak analizlerin sonuçları kullanılarak mevcut betonarme sistemler için sönümleyici özelliklerinin seçimi yapılmış ve gözlemler belirtilmiştir.

Sistemin modellenmesi

Yer ivmesi, $a_g(t)$ 'ye maruz sürtünme sönümlü elemanlı tek serbest dereceli sistemin modeli Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde M yapının kütle-sini, C sönüm katsayısını, $x(t)$ göreceli kütle yer değiştirmesini $f_f(t)$ ve $f_s(t)$ ise sırasıyla mevcut çerçeve ve eklenen sönüm elemanının rijitliğe bağlı kuvvetini ifade etmektedir.



Şekil 1. Tek serbest dereceli sistemin modeli

Tek serbest dereceli sistemin hareketi

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + f(t) = -Ma_g(t) \quad (1)$$

denklemleri ile ifade edilebilir. Burada sönüm katsayısı

$$C = 2M\zeta\omega_n \quad (2)$$

ile elde edilmiştir ki, kritik sönüm oranı ζ %5 olarak alınmıştır, ω_n doğal titreşim frekansı

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_n}{M}} \quad (3)$$

ve k_n sistemin zaman içinde değişen toplam rijitliğidir.

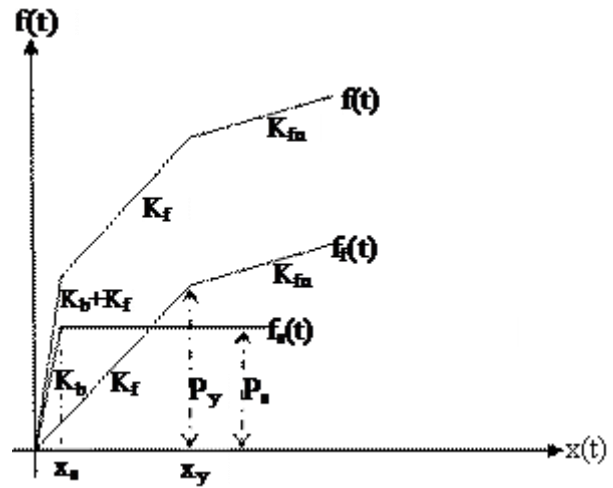
Sürtünme sönümlü elemanlı sistem için doğrusal olmayan analiz Şekil 2'de gösterilen kuvvet yer değiştirme ilişkisi kullanılarak yapılmıştır.

Kuvvet yer değiştirme ilişkisi mevcut sisteminki ile eklenen sürtünme sönümlü elemanın ilişkisinden oluşmaktadır. Şekilde P_s ve x_s sırasıyla, sürtünme sönümlü elemanın kayma kuvvetini ve

yer değiştirmesini ifade ederken, P_y ve x_y mevcut betonarme çerçevenin akma kuvvetini ve yer değiştirmesini belirtmektedir. Sistemin rijitliğe bağlı toplam kuvveti

$$f(t) = f_f(t) + f_s(t) \quad (4)$$

ilişkisiyle bulunmaktadır. Burada $f_f(t)$ ve $f_s(t)$ sırasıyla mevcut sistemde ve sürtünme sönümlü elemanlarda oluşan kuvveti ifade etmektedir. Şekildeki K_f ve K_{fa} sırasıyla, mevcut betonarme sistemin ilk ve akma sonrası rijitliğini gösterirken, K_b ise eklenen elemanın rijitliğini ifade etmektedir.



Şekil 2. Sürtünme sönümlü elemanlı sistemin kuvvet yer değiştirme ilişkisi

Mevcut betonarme sistemin dinamik davranışının modellenmesine yönelik yükleme boşaltma kuralları için literatürdeki en kapsamlısı Takeda modelidir (Takeda ve diğerleri, 1970). Programlama açısından hem daha kolay hem de Takeda modeli ile elde edilen sonuçlarla iyi bir uyum gösteren Saiidi (1982) nin önerdiği Q-hyst model, bu çalışmada kullanılmıştır (Şekil 3).

Şekil 3'de verilen Q-hyst modelde eğrilerin üzerindeki numaralar aşağıdaki kurallara ilişkindir:

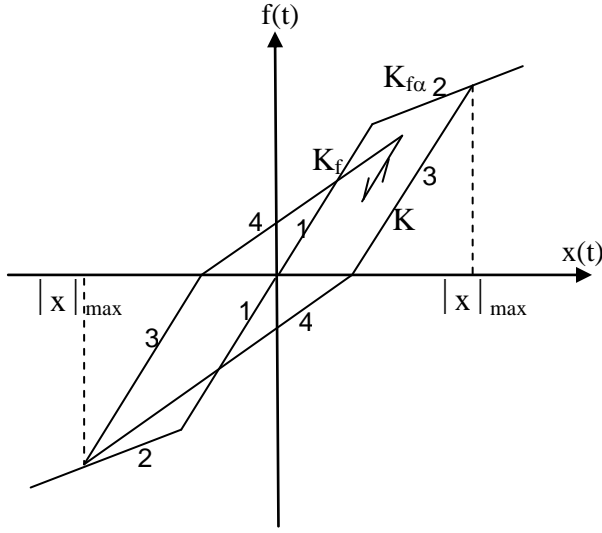
Kural 1: Elastik yükleme ve boşaltma eğrisi.

Kural 2: Akma sonrası eğrisi.

Kural 3: Elastik olmayan bölgeden boşaltma eğrisi.

K_a burada mevcut sistemin ilk rijitliğine (K_f) eşit alınmıştır.

Kural 4: Yeniden yükleme eğrisi. Her iki doğrultuda ulaşılan maksimum yer değiştirme değerine ($|x|_{max}$) doğru yönelmektedir.



Şekil 3. Q-hyst model (Saiidi, 1982)

Akma sonrası rijitlik değeri ilk rijitlik değerinin 0.15 katı olacak şekilde alınmıştır. Mevcut sistem için dayanım ve rijitlik azalması ve yer değiştirmeden kaynaklı ikincil etkiler göz önüne alınmamıştır.

Sürtünme sönümlü elemanlarda enerji sönümü, biri diğerine göre kayan iki katı yüzey arasındaki sürtünmeyle sağlanır. Bu elemanlar genelde değişik konfigürasyonlarla oluşturulmuş elemanlara yerleştirilirler (Şekil 4). Aynı yatay yük, konfigürasyondan kaynaklı bağlantı elemanının yatay rijitliğine göre farklı yük seviyesine sebep olur. Öncelikle sisteme sadece rijitlik sağlarken, etkili yer hareketiyle birlikte sürtünme kuvvetinden büyük hale gelen kuvvet elemanda kaymaya sebep olur ve kayma hareketi başlar. Bu durumda sisteme herhangi bir rijitlik değeri eklenmezken enerji sönümlenmesi de başlamış olur. Yük tersine döndüğünde ise sürtünme kuvveti aşılana kadar rijitlik bağlantı

elemanının yatay rijitliğine eşit olmaktadır. Bu elasto-plastik davranış Şekil 5'te görülmektedir.

Yukarıda açıklandığı gibi kombine edilmiş sistemin doğrusal olmayan dinamik analizi için algoritma oluşturulmuştur. Çözüm için her bir zaman aralığında ivmenin, ortalama ivmeye eşit olduğu kabulüne dayanan Newmark β yöntemi kullanılmıştır. Nümerik doğruluktaki artış, 0.005 s aralığında kaydedilmiş depremler kullanılarak sağlanmıştır.

Betonarme çerçevenin ve sürtünme sönümlü elemanın özellikleri

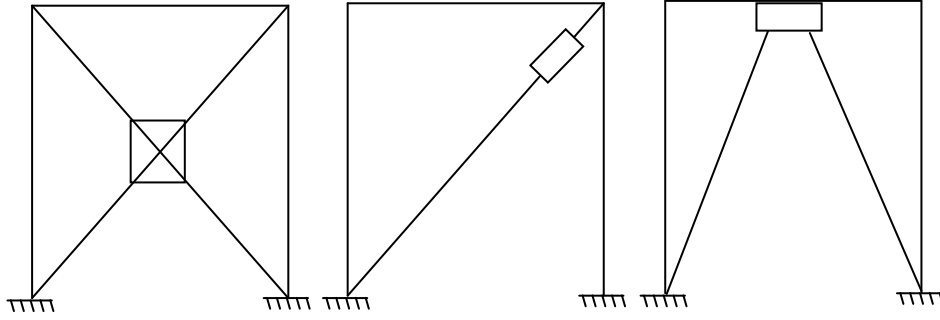
Sisteme eklenen sürtünme sönümlü elemanın yapıdaki hasarı azaltmadaki etkinliğini araştırmak üzere doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır. Her bir sistem için kütle değeri sabit alınmış olup $18.15 \text{ kN}/(\text{m}/\text{sn}^2)$ değeri kullanılmıştır. Bu analizlerde çeşitli yapısal özelliklerin etkisini incelemek amacıyla mevcut betonarme sistem ve sürtünme sönümlü eleman için kullanılan parametreler aşağıda sıralanmıştır:

- T_f : Mevcut betonarme sistemin ilk periyodu. 0.1 sn-0.9 sn aralığında 0.1 sn aralıklı 9 farklı değer ele alınmıştır.
- R_f : Mevcut betonarme sistemin dayanım oranı. Bu oran

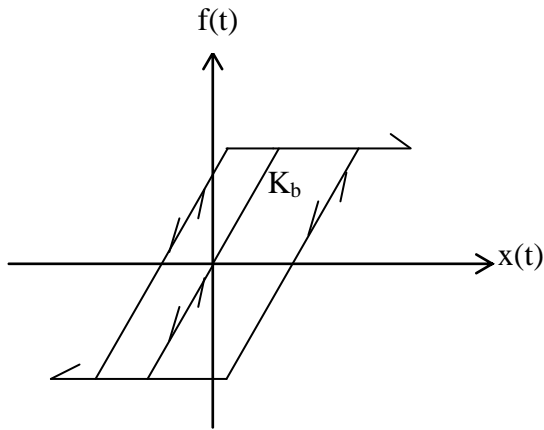
$$R_f = \frac{W}{K_f x_y} \quad (5)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada W yapı ağırlığını ifade etmektedir. R_f için 6 ve 8 değerleri alınmıştır.

- K_b/K_f : Sürtünme sönümlü eleman rijitliğinin mevcut sistemin ilk rijitliğine oranı. K_b/K_f için 3, 6, 9, 12 olmak üzere dört farklı değer düşünülmüştür.
- x_s/x_y : Sürtünme sönümlü eleman kayma yer değiştirme değerinin mevcut sistemin akma yer değiştirme değerine oranı. x_s/x_y için 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 olmak üzere beş farklı değer kullanılmıştır.



Şekil 4. Sönümleyici eleman için çeşitli bağlantı tipleri



Şekil 5. Sürtünme sönümlü eleman davranışı

Deprem kayıtları

Gevşek ve sıkı zemin profili için PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center)'den alınan, faya en fazla 15 km mesafedeki toplam 40 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Bu deprem kayıtları 0.005 sn aralıklarla alınmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2'de sırasıyla sıkı ve gevşek zemin için kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri listelenmiştir. İvme değerleri herhangi bir ölçek katsayısı ile değiştirilmeden kullanılmıştır. Her bir zemin türü için deprem kayıtlarının maksimum ivmelerinin ortalamaları 0.35 g'dir.

Sonuçlar

Önceki iki bölümde verilen yapısal özellikler ve deprem kayıtları kullanılarak 14400 adet lineer olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Her bir zemin sınıfına yönelik 18 adet betonarme sistem için deprem kayıtları uygulanarak bulunan maksimum taban kesme kuvvetinin (V_{max}), ağırlığa

(W) oranlarının ortalaması belirlenmiştir. Aynı şekilde maksimum yer değiştirmenin, akma yer değiştirmesine oranlarının ortalaması alınarak K_b/K_f ve x_s/x_y 'ye karşı grafikleri elde edilmiştir. Söz konusu grafiklerden belirgin özellikleri gösterenler burada verilmiştir.

Tablo 1. Sıkı zemindeki deprem kayıtları

Mag	Deprem	PGA(g)	Bileşen	Uzaklık(km)
6	Coalinga	0.375	270	12.2
6	Coalinga	0.233	360	12.2
6	Coalinga	0.866	270	8.2
6	Coalinga	0.447	360	8.2
6	Coalinga	0.272	270	12.2
6	Coalinga	0.29	360	12.2
7.1	Loma Prieta	0.411	0	11.2
7.1	Loma Prieta	0.473	90	11.2
7.1	Loma Prieta	0.644	0	5.1
7.1	Loma Prieta	0.479	90	5.1
7.1	Loma Prieta	0.357	67	11.6
7.1	Loma Prieta	0.325	337	11.6
6.2	Morgan Hill	0.222	0	11.8
6.2	Morgan Hill	0.292	90	11.8
6.2	Morgan Hill	0.19	0	14
6.2	Morgan Hill	0.113	90	14
6.1	Parkfield	0.059	50	14.7
6.1	Parkfield	0.063	320	14.7
6	Whittier Narrows	0.384	60	12.1
6	Whittier Narrows	0.457	330	12.1

Şekil 6 ve Şekil 7'de sıkı zemin profili için $R_f = 6$ olduğu durumda, sırasıyla $T_f=0.4$ sn ve $T_f=0.9$ sn değerleri için grafikler verilmektedir.

Şekil 8 ve Şekil 9 aynı koşullar altında gevşek zemin için grafikleri göstermektedir. Grafiklerde, limit beklenen hemen kullanım performans seviyesinin sınırı olarak kabul edilen x_y değerini belirtmektedir.

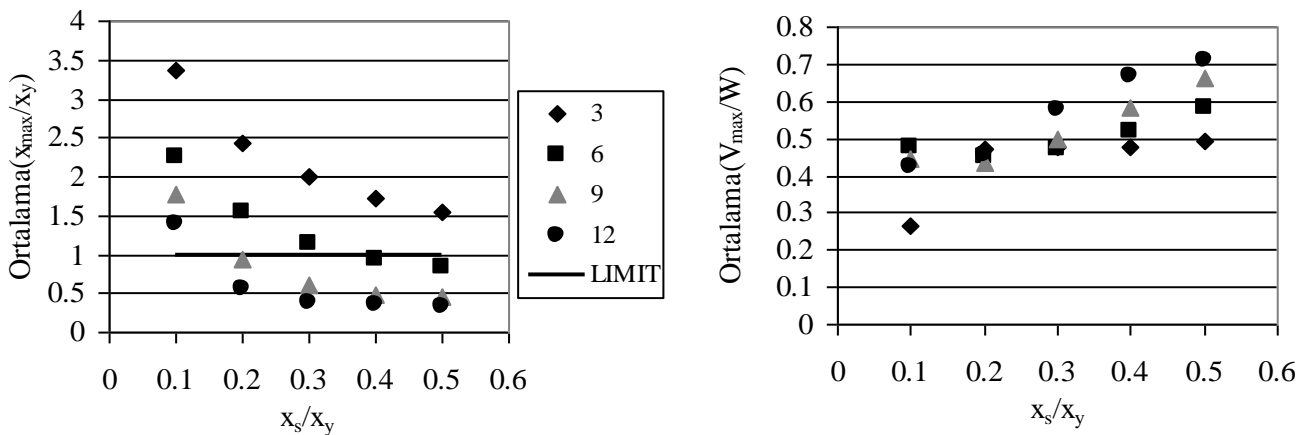
Tablo 2. Gevşek zemindeki deprem kayıtları

Mag Deprem	PGA(g)	Bileşen	Uzaklık(km)
6.5 Imperial Valley	0.379	230	1
6.5 Imperial Valley	0.439	230	1
6.5 Imperial Valley	0.463	230	0.6
6.5 Imperial Valley	0.588	140	2.5
6.5 Imperial Valley	0.775	230	2.5
6.5 Imperial Valley	0.602	140	3.8
6.5 Imperial Valley	0.454	230	3.8
6.5 Imperial Valley	0.213	2	7.6
6.5 Imperial Valley	0.48	360	5.3
6.5 Imperial Valley	0.171	50	8.6
6.5 Imperial Valley	0.224	320	8.6
6.5 Imperial Valley	0.253	225	7.5
6.5 Imperial Valley	0.221	315	7.5
6.5 Imperial Valley	0.202	315	10.6
7.4 Kocaeli	0.312	180	12.7
7.1 Loma Prieta	0.322	90	12.7
6.2 Morgan Hill	0.194	0	14.6
6.2 Morgan Hill	0.224	270	12.8
6.7 Superstitt Hill	0.258	90	13.9
6.7 Superstitt Hill	0.172	90	13.3

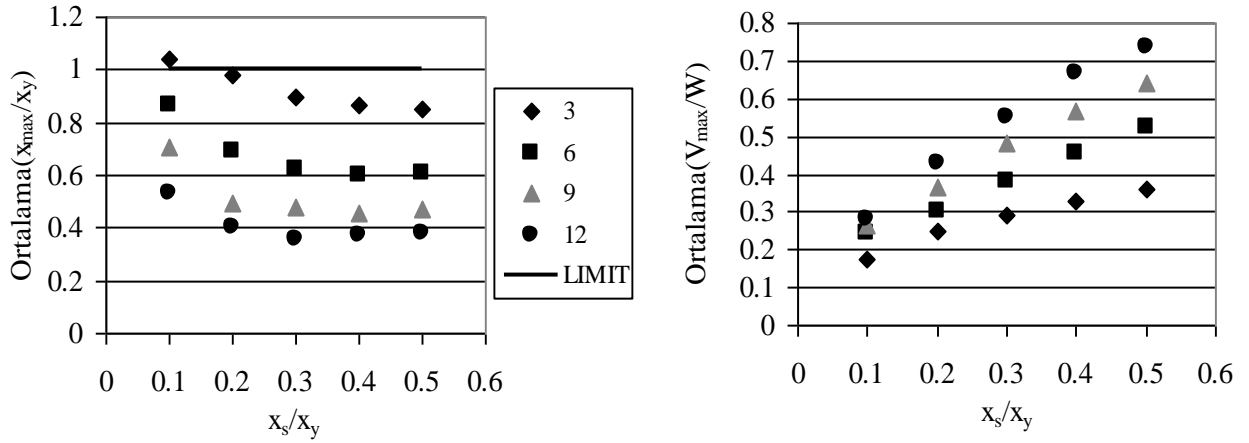
Sönümleyici eleman özellikleri, limit değeri sağlayanlardan en az taban kesme kuvvetine sahip olanı olarak belirlenmiştir. İncelenen tüm yapılar için betonarme sistemin periyodu, dayanımı ve zemin özelliklerine göre belirlenen sürtünme sönümleyici elemanın özellikleri Tablo 3'te gösterilmektedir

Sonuçlar, genellikle taban kesme kuvvetinin, sönümleyici rijitlik ve yer değiştirme oranı ile birlikte arttığını göstermektedir. Diğer taraftan yer değiştirme talebi için tam tersi durum söz konusudur. Sönümleyici elemanın rijitliğinin ve kayma yer değiştirme oranının artması; yer değiştirme performansını garanti ederken, elemanın özellikleri sönümleme özelliği olmayan rijitliği arttıran çarpaz elemanıninkine benzemeye başlamasına neden olmaktadır.

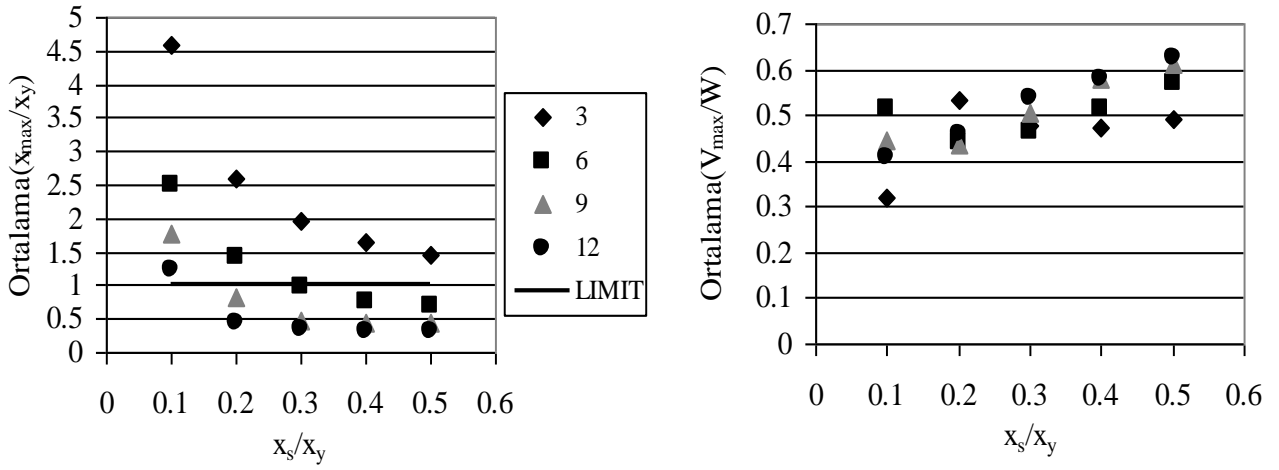
Aynı kayma yük seviyesine sahip sürtünme sönümleyici elemanlarda, rijitlik artışı yer değiştirme talebinde daha büyük azalmaya sebep olmaktadır. Aynı kayma yük seviyesi sönümleyicinin farklı rijitlik ve kayma yer değiştirme değeri ile sağlanabilir. Örneğin $K_b/K_f=3$ ve $x_s/x_y=0.4$ ile $K_b/K_f=12$ ve $x_s/x_y=0.1$ oranlarına sahip iki sönümleyici aynı kayma yük seviyesine sahiptir. Bu durumda Şekil 6' da görüleceği üzere yer değiştirme talebi, $K_b/K_f=3$ ve $x_s/x_y=0.4$ oranlı eleman için $1.4x_y$ iken $K_b/K_f=3$ ve $x_s/x_y=0.4$ oranlı eleman için $1.7x_y$ değerini almaktadır.



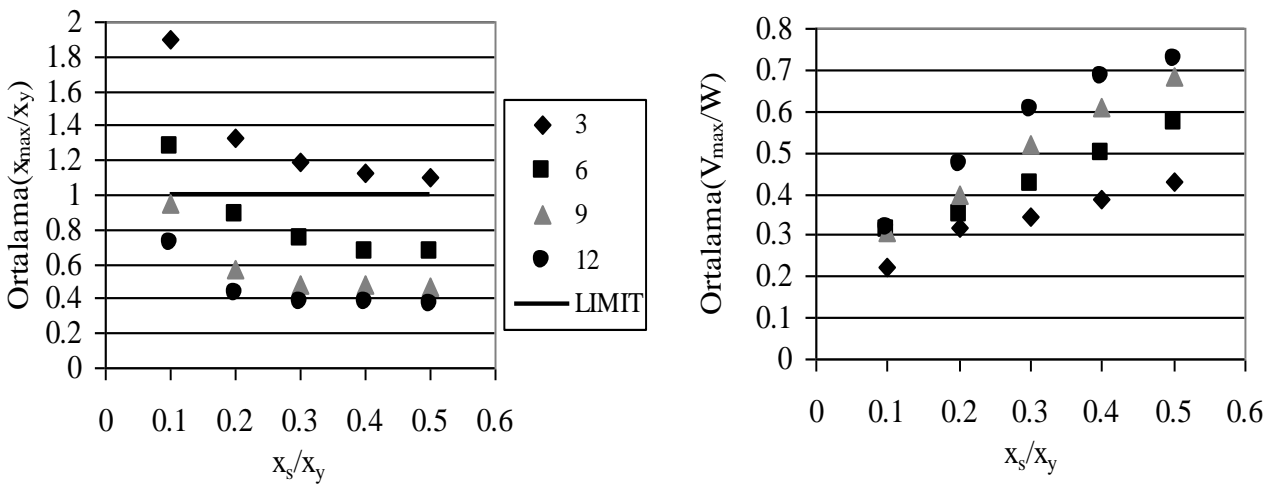
Şekil 6. Sıkı zemin profilinde $R_f=6$ ve $T_f=0.4$ sn için Ortalama(x_{max}/x_y) ve Ortalama(V_{max}/W)



Şekil 7. Sıkı zemin profilinde $R_f=6$ ve $T_f=0.9$ sn için Ortalama (x_{max}/x_y) ve Ortalama(V_{max}/W)



Şekil 8. Gevşek zemin profilinde $R_f=6$ ve $T_f=0.4$ sn için Ortalama (x_{max}/x_y) ve Ortalama(V_{max}/W)



Şekil 9. Gevşek zemin profilinde $R_f=6$ ve $T_f=0.9$ sn için Ortalama (x_{max}/x_y) ve Ortalama(V_{max}/W)

Tablo 3. Seçilen sönümleyici eleman özellikleri

T _f	R _f =6		R _f =6		R _f =8		R _f =8	
	Sıkı zemin	Gevşek zemin	Sıkı zemin	Gevşek zemin	Sıkı zemin	Gevşek zemin	Sıkı zemin	Gevşek zemin
	K _b /K _f	x _s /x _y	K _b /K _f	x _s /x _y	K _b /K _f	x _s /x _y	K _b /K _f	x _s /x _y
0.1	9	0.2	9	0.2	9	0.3	9	0.3
0.2	9	0.2	9	0.2	9	0.3	9	0.3
0.3	9	0.2	9	0.2	12	0.3	12	0.2
0.4	9	0.2	9	0.2	9	0.3	12	0.2
0.5	9	0.2	9	0.2	12	0.2	12	0.2
0.6	12	0.1	12	0.1	12	0.2	12	0.2
0.7	9	0.1	12	0.1	9	0.2	12	0.2
0.8	6	0.1	9	0.1	12	0.1	9	0.2
0.9	3	0.1	9	0.1	12	0.1	9	0.2

Akma dayanımı düşük mevcut betonarme sistemler ancak daha yüksek seviyede kayma yer değiştirme değerine sahip sönümleyici elemanlarla birlikte performans kıstaslarını karşılayabilmektedir.

Periyodu 0.5 sn'den büyük olan mevcut betonarme sistemler için, kayma yük seviyesi sıkı zemin profili için azalırken, gevşek zemin profili için aynı kalmaktadır.

Kaynaklar

ATC-40, (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Report ATC40, Applied Technology Council, Redwood City, CA.
 Belev, B., (2000). Numerical studies on the seismic performance of friction-damped steel frames, *Proceedings of the Third Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, Volume 1, Istanbul, Turkey, February 21-25.

FEMA-356, (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
 FEMA-440, (2005). Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, Washington, D.C.
 Filiatrault, A. ve Cherry, S., (1990). Seismic design spectra for friction-damped structures, *Journal of Structural Engineering*, **116**, 5, 1334-1355.
 Filiatrault, A., Tremblay R. ve Wanitkorkul, A., (2001). Performance evaluation of passive damping systems for the seismic retrofit of steel moment-resisting frames subjected to near-field ground motions, *Earthquake Spectra*, **17**, 3, 427-456.
 Fu Y., ve Kasai, K., (1998). Comparative study of frames using viscoelastic and viscous dampers, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **124**, 5, 513-522.
 Grigorian C.E. ve Popov, E.P., (1994). Energy dissipation with slotted bolted connections, *Report UCB/EERC-94/02*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA.
 PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center) strong motion database <<http://www.peer.berkeley.edu>>
 Saiidi, M., (1982). Hysteresis models for reinforced concrete, *Journal of Structural Division*, ASCE, **108**, No.ST5, 1077-1087.
 Takeda, T., Sozen, M. ve Nielsen, N.N., (1970). *Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes*, Journal of Structural Division, ASCE, 96, No.ST12, 2557-2573.
 Wanitkorkul, A., Lukkunaprasit, P. ve Filiatrault, A., (2003). Friction damped steel moment-resisting frames subjected to long-distance earthquakes: influence of weld fractures, *Journal of Earthquake Engineering*, **7**, 3, 495-510.