SÜRTÜNME TİPİ ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLERİN ÇELİK YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

A.H. Deringöl[1] ve E.M. Güneyisi[2]

[1]*Yüksek Lisans Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep*
[2]*Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep*
Email: eguneyisi@gantep.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip moment aktarabilen çerçeve sistemli yapılar ile bunlara sonradan ilave edilen sürtünme sönümleyicili yapıların deprem etkisi altındaki yapısal tepkileri lineer olmayan dinamik analiz kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla, 4 ve 8 katlı moment aktarabilen çerçeveli çelik yapılar araştırmada kullanılmıştır. Yapılar aynı kat planına sahip olup, her iki yönde de 3 eşit açıklıktan oluşmaktadır. Mevcut çelik yapılar iki farklı durum için tasarlanmıştır. Bunlar esnek moment aktarabilen çerçeveli ve rijit moment aktarabilen çerçeveli yapılar olarak sıralanmaktadır. Sürtünme sönümleyiciler çerçevelerin yüksekliği boyunca yerleştirilmiştir. Böylece, toplam 4 farklı durum için dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Herbir çerçeve sistemi için deprem etkisi altında katlara göre yerdeğiştirme, göreli kat ötelenme zarf eğrisi ve sürtünme sönümleyiciler için elde edilen histeretik eğriler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çerçeve sisteminin tasarım özelliklerine bağlı olarak sürtünme sönümleyici bulunduran çerçevelerin yapısal performanslarında önemli düzeyde iyileşmeler gözlenmiştir.

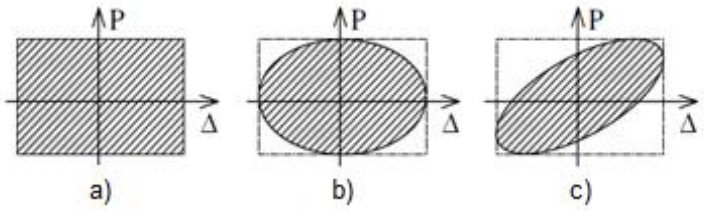
ANAHTAR KELİMELER: Deprem, moment aktaran çelik çerçeve, sismik koruma, sürtünme sönümleyici, yapısal davranış.

1. GİRİŞ

Geleneksel yöntemlerle yapı tasarımında, hafif şiddetteki depremlerde yapının elastik davranışına, orta ve ağır şiddetteki depremlerde ise göçmeye izin vermeyecek şekilde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasarın oluşmasına sebep olacak yapının elastik ötesi davranışına izin verilmektedir. Dolayısıyla, şiddetli depremler sırasında yapının maruz kaldığı enerji, oluşabilecek yapısal ve yapısal olmayan hasarlarla sönümlenmektedir. Yapılarda oluşabilecek hasarın sınırlandırılması için, yapının elastik davranmasını sağlayacak yada yapısal elemanlardaki süneklik istemini azaltacak, yapıya etki eden dinamik titreşim enerjisini yutarak, kendi içindeki histeretik davranışı ile sönümleyebilecek pasif enerji sönümleyiciler gibi alternatif yöntemlerin araştırılması ve uygulanması son yıllarda giderek artmaktadır (Housner vd. 1997; Soong ve Dargush, 1997; Symans vd., 2008).

Bu çalışmada, pasif enerji sönümleme sistemlerinden, sürtünme sönümleyiciler incelenmiştir. Şekil 1'de sürtünme sönümleyiciler, viskoz ve visko-elastik sönümleyiciler için tipik histeretik davranış eğrileri verilmektedir. Şekil 1'den de görüldüğü üzere sürtünme sönümleyiciler diğer sönümleyicilere kıyasla daha fazla enerji yutabilmelerini sağlayan ideal elasto-plastik malzemelere özgü tersinir, geniş dikdörtgen histeretik davranışa sahiptirler (Pall vd., 1980; Filiatrault ve Cherry, 1986; Pasquin vd., 2004). Ayrıca, viskoz ve visko-elastik pasif enerji sönümleyicilerin aksine sürtünme sönümleyicilerin performansı hız ve sıcaklıktan etkilenmemektedir. Sürtünme sönümleyiciler belirli bir kuvvet altında aktif olacak şekilde tasarlanmakta ve bu kuvvet sismik hareketler esnasında da sabit kalmaktadır. Sürtünme sönümleyicilerin tasarımı birçok sönümleyiciye kıyasla oldukça basittir.

Ayrıca, sismik yükler ardından herhangi bir deformasyon ve zedelenme oluşmadığı için de bakım-onarım veya yenilenmesi söz konusu olmamaktadır. Sürtünme sönümleyicilerin bir diğer avantajı da, binaların estetiğini bozmadan duvarlar içerisine kolayca gizlenebilmesinden gelmektedir (Pasquin vd., 2004).



Şekil 1. a) Sürtünme sönümleyiciler, b) viskoz sönümleyiciler ve c) visko-elastik sönümleyiciler için histeretik davranış eğrileri (Pasquin vd., 2004)

Sürtünme sönümleyicili çaprazlı çerçeve sistemlerle ilgili ilk çalışmalar Pall ve Marsch (1982), Filiatrault ve Cherry (1987), Aiken vd. (1988), FitzGerald vd. (1989), Grigorian ve Popov (1993) ve Nims vd. (1993) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, iyi tasarlanmış bir sürtünme sönümleyicili çerçeve sistemin, geleneksel yöntemlerle tasarlanan moment aktaran çelik çerçevelere ve çaprazlı çerçeve sistemlere göre daha iyi sismik performansa sahip olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, sürtünme sönümleyicili yapıların tasarımı ve optimizasyonu ile ilgili çalışmalarda yapılmıştır (Filiatrault ve Cherry 1990, Fu ve Cherry 2000, Moreschi ve Singh 2003).

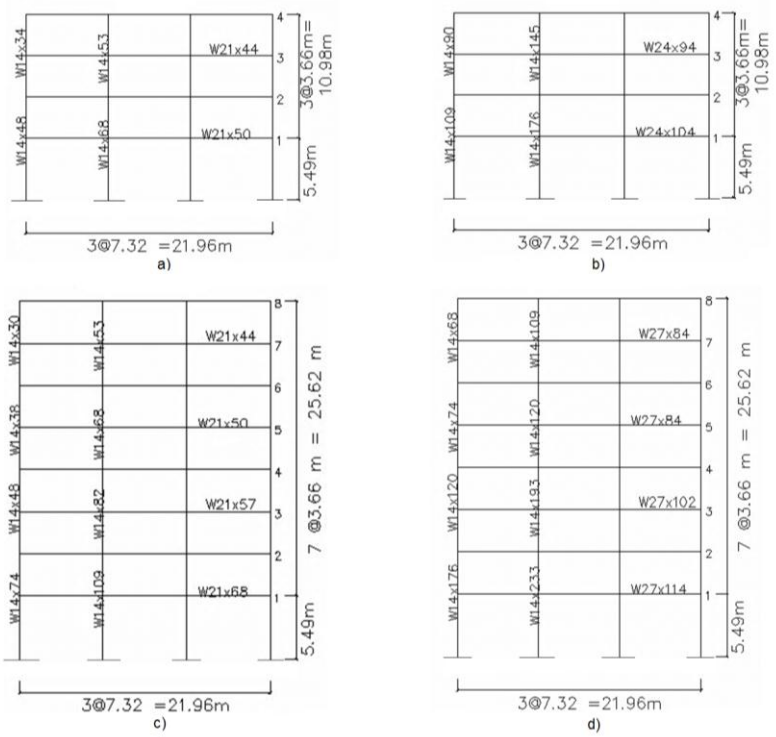
Bu çalışmada, sonradan ilave edilen sürtünme sönümleyicilerin, moment aktaran çelik çerçeve sistemine sahip yapıların deprem dayanımındaki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, iki farklı rijitlik seviyesi esas alınarak tasarlanan 4 ve 8 katlı moment aktaran çelik çerçeveler, sürtünme sönümleyicili ve sönümleyicisiz olarak lineer olmayan zaman tanım alanında analizleri yapılarak karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

2. ANALİTİK ÇALIŞMA

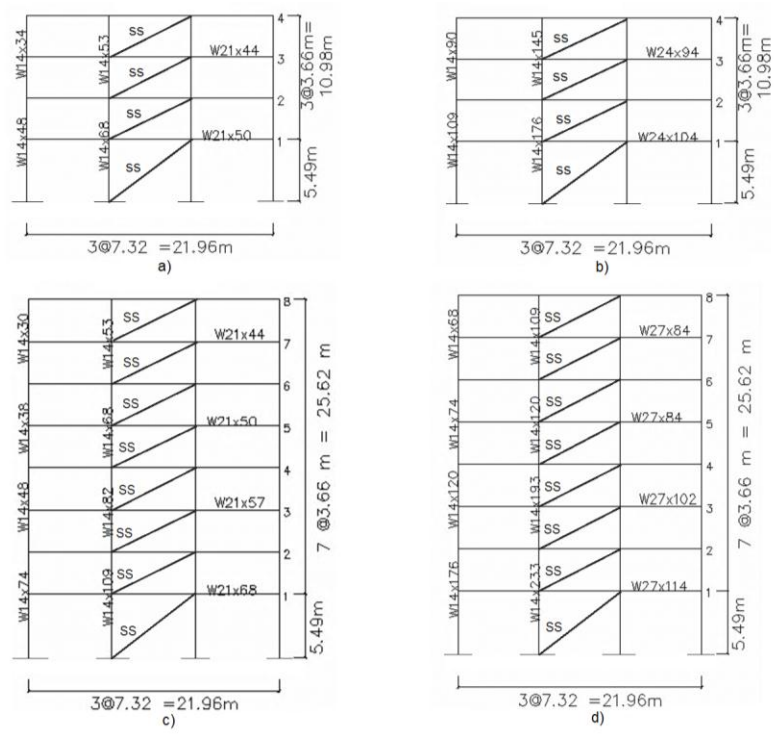
2.1. Örnek Çerçeve Sistemleri

Mevcut moment aktaran çerçeveler olarak, Santa-Ana ve Miranda (2000) tarafından iki farklı rijitlik seviyesi esas alınarak, esnek ve rijit olarak tasarlanan 4 ve 8 katlı moment aktaran çelik çerçeve sistemli yapılar araştırmada kullanılmıştır. Bu yapılar UBC'deki (UBC, 1994) yanal yük dağılımı düşünülerek, bu tür yapılarda görülen alt ve üst sınır periyodları esas alınarak, ayrıca güçlü kolon zayıf kiriş oluşturacak şekilde tasarlanmıştır (Santa-Ana ve Miranda, 2000). Çerçeveler 3 açıklıktan oluşmakta, her iki çerçevede de birinci kat yüksekliği 5.49 m, diğer kat yükseklikleri ise 3.66 m'dir. 4 ve 8 katlı esnek ve rijit moment aktaran yapıların kolon ve kiriş kesitlerini de gösteren çerçeve görünümleri Şekil 2'de verilmiştir.

Sürtünme sönümleyicilerin mevcut 4 ve 8 katlı rijit ve esnek çerçevelerin sismik performansındaki etkisinin incelenmesi amacıyla, Şekil 3'den görüldüğü üzere sürtünme sönümleyiciler çerçevelerin orta açıklığına yerleştirilmiştir. Çerçevelere yerleştirilen sürtünme sönümleyicilerin kayma yükü ilk kat için 400 kN diğer katlar içinse 40 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. a) 4 katlı esnek, b) 4 katlı rijit, c) 8 katlı esnek ve d) 8 katlı rijit moment aktaran çerçevelere ait kesit görünümü (Santa-Ana ve Miranda, 2000)



Şekil 3. Sürtünme sönümleyicili a) 4 katlı esnek, b) 4 katlı rijit, c) 8 katlı esnek ve d) 8 katlı rijit çerçevelere ait kesit görünümü

2.2. Analiz Metodu

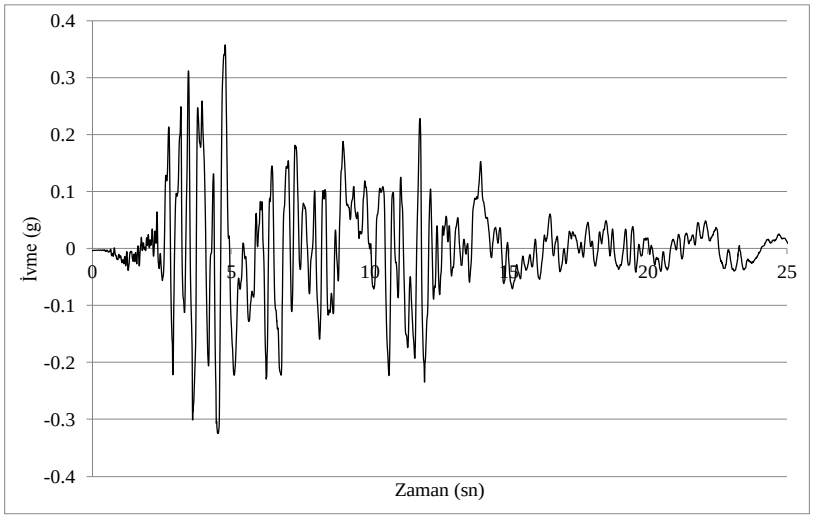
Sürtünme sönümleyicili ve sönümleyicisiz esnek ve rijit moment aktaran çerçeve sistemlerinin yapısal elemanlarının lineer olmayan davranışını da içeren analitik modelleri çok amaçlı yapısal analiz programı SAP 2000 kullanılarak oluşturulmuştur. Analitik modellerde, lineer olmayan davranışın yapısal elemanlarda tanımlanan noktasal plastik mafsallarda oluştuğu kabul edilmiş, plastik mafsal özellikleri FEMA 356 (2000) esas alınarak tanımlanmıştır. Sürtünme sönümleyicilerin SAP 2000 programında modellenmesinde ise doğrusal olmayan bağlantı elemanları kullanılmıştır.

Esnek ve rijit moment aktaran çerçevelerin ve sürtünme sönümleyici ilaveli çerçevelerin öncelikle özdeğer analizi ile serbest titreşim periyotları belirlenmiştir. Çerçeve sisteminin ilk 3 moduna karşı gelen periyot değerleri Tablo 1' de verilmektedir.

Tablo 1. Çerçeve sistemlerinin dinamik özellikleri

Çerçeve Sistemi	Periyotlar (sn)		
	1.	2.	3.
4 katlı esnek çerçeve (4E)	1.24	0.39	0.21
4 katlı esnek sürtünme sönümleyicili çerçeve (4E-SS)	0.43	0.14	0.09
4 katlı rijit çerçeve (4R)	0.71	0.21	0.11
4 katlı rijit sürtünme sönümleyicili çerçeve (4R-SS)	0.30	0.10	0.06
8 katlı esnek çerçeve (8E)	1.92	0.68	0.39
8 katlı esnek sürtünme sönümleyicili çerçeve (8E-SS)	0.87	0.29	0.17
8 katlı rijit çerçeve (8R)	1.18	0.41	0.24
8 katlı rijit sürtünme sönümleyicili çerçeve (8R-SS)	0.57	0.20	0.12

Sürtünme sönümleyicili ve sönümleyicisiz yapılar doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizle incelenmiştir. Bu analiz için, 1999 Düzce depremine ait Şekil 4'de verilen kuvvetli yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Analiz sonucunda, 4 ve 8 katlı mevcut rijit çerçeve (R), esnek çerçeve (E), sürtünme sönümleyicili rijit çerçeve (R-SS) ve sürtünme sönümleyicili esnek çerçeve (E-SS) için elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.



Şekil 4. Düzce depremi ivme kaydı

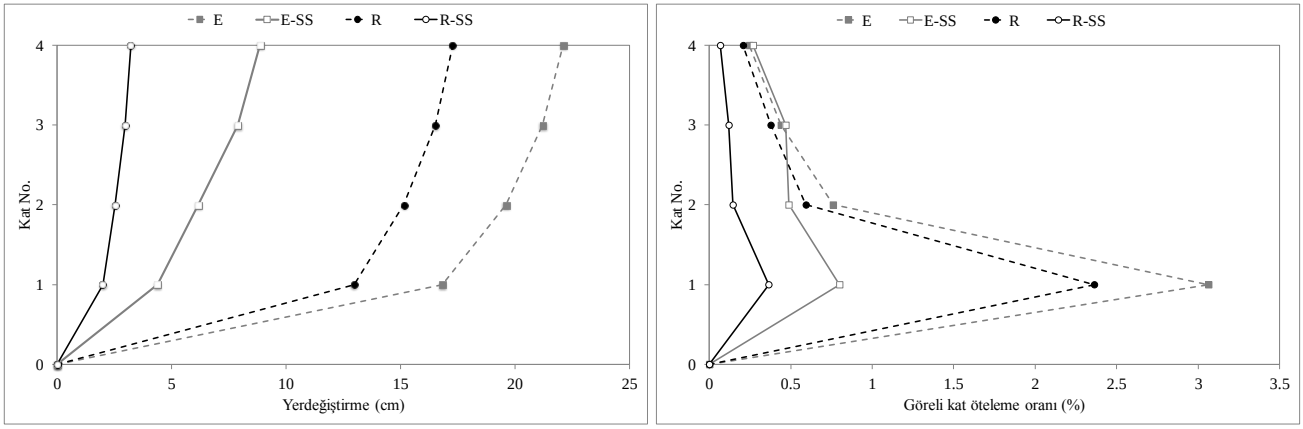
3. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi kullanılarak, mevcut esnek ve rijit moment aktaran çerçeve sistemlerinde sürtünme sönümleyicilerin, yapının sismik davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Mevcut çerçeveler ve sürtünme sönümleyicili ilaveli çerçeve sistemleri için Düzce depremi altında elde edilen katlara göre en büyük yerdeğiştirme talepleri incelenmiştir. Şekil 5 ve 6'da 4 ve 8 katlı sürtünme sönümleyicili ve sönümleyicisiz, esnek ve rijit çerçeveler için deprem yüklemesi altında elde edilen katlara göre en büyük yerdeğiştirme ve göreli kat ötelenme oranı zarfları verilmiştir. Hem rijit hem de esnek çerçeve sistemlerinde sürtünme sönümleyiciler katların yerdeğiştirmelerinde önemli derecede azalmaya sebep olmuştur. Örneğin, 4 katlı rijit çerçevenin maksimum kat yerdeğiştirmesinde %81 ile %85 arasında, esnek çerçevenin maksimum kat yerdeğiştirmesinde ise %60 ile %74 arasında azalmalar görülmüştür. 8 katlı rijit ve esnek çerçevelerde ise sırasıyla azalmalar %45 ile %58 ve %56 ile %84 arasında elde edilmiştir.

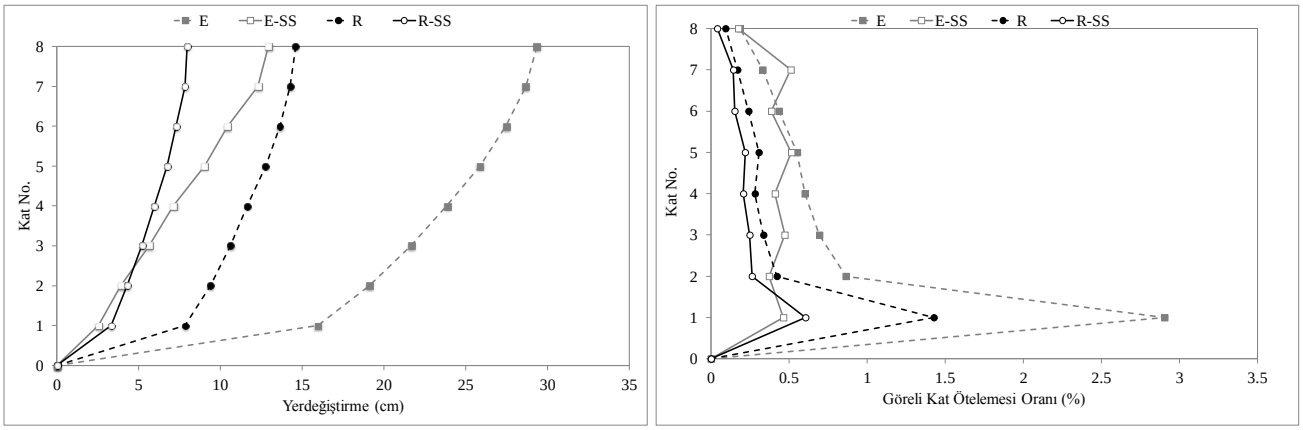
Yapıların sismik performanslarının değerlendirilmesinde maksimum göreli kat ötelenmesi oranına göre belirlenen Kullanıma Devam, Hemen Kullanım, Can Güvenliği ve Göçme Öncesi performans seviyeleri esas alınmıştır (SEAOC, 1999). Bu performans seviyelerine karşılık gelen göreli kat ötelenme oranı Tablo 2'den de görüldüğü üzere %0.5 (kullanıma devam performans seviyesi) ile %3.8 (göçme öncesi performans seviyesi) arasında değişmektedir. Şekil 5 ve 6'daki göreli kat ötelenmesi zarflarına baktığımızda, Düzce depremi altında, mevcut 4 katlı esnek çerçeve sisteminin maksimum göreli kat ötelenmesi oranı %3.1'in göçme öncesi performans seviyesi için sınır değer olan %3.8'den, 4 katlı rijit çerçevenin maksimum göreli kat ötelenmesi oranı %2.4'ün ise Can Güvenliği performans seviyesi için limit değer olan %2.5'den az olduğu görülmektedir. Sürtünme sönümleyicili 4 katlı esnek ve rijit yapılar ise, sırasıyla %0.8 ve %0.4 maksimum göreli kat ötelenmesi oranlarıyla hemen kullanım ve kullanıma devam performans seviyelerini sağlamaktadırlar. Sürtünme sönümleyiciler 8 katlı rijit çerçeve sisteminin maksimum göreli kat ötelenmesi oranını %1.4'den %0.6'ya, esnek çerçeve sisteminin maksimum göreli kat ötelenmesi oranını ise %2.9'dan %0.5'e indirmektedir. Sonuç olarak, sürtünme sönümleyicilerin sisteme ilavesiyle mevcut rijit ve özellikle esnek çerçeve sistemlerin sismik performansında önemli derecede iyileşme görülmektedir. Ayrıca, şekilden de görüldüğü üzere sürtünme sönümleyicilerin ilavesi ile katlara göre daha uniform göreli kat ötelenmesi dağılımı elde edilmektedir.

Tablo 2. Yapısal performans seviyeleri (SEAOC, 1999)

Performans seviyesi	Hasar tipi	Tavsiye edilen göreli kat ötelenme oranı (%)
Kullanıma devam	Önemsiz	0.5
Hemen kullanım	Az	1.5
Can güvenliği	Orta	2.5
Göçme öncesi	Ağır	3.8



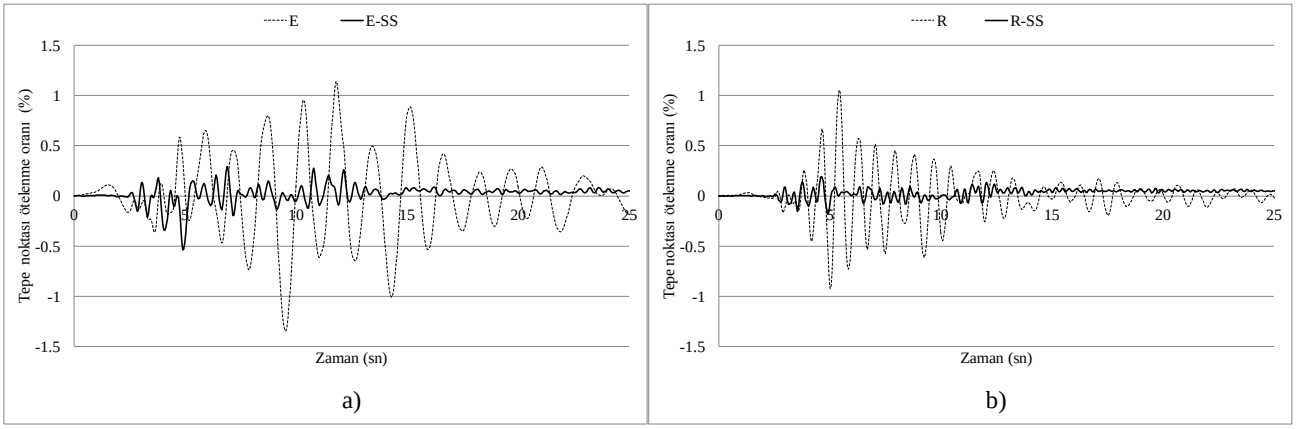
Şekil 5. 4 katlı sürtünme sönümleyicili ve sönümleyicisiz çerçeveler için katlara göre yerdeğiştirme ve göreli kat ötelenmesi oranı zarfları



Şekil 6. 8 katlı sürtünme sönümleyicili ve sönümleyicisiz çerçeveler için katlara göre yerdeğiştirme ve göreli kat ötelenmesi oranı zarfları

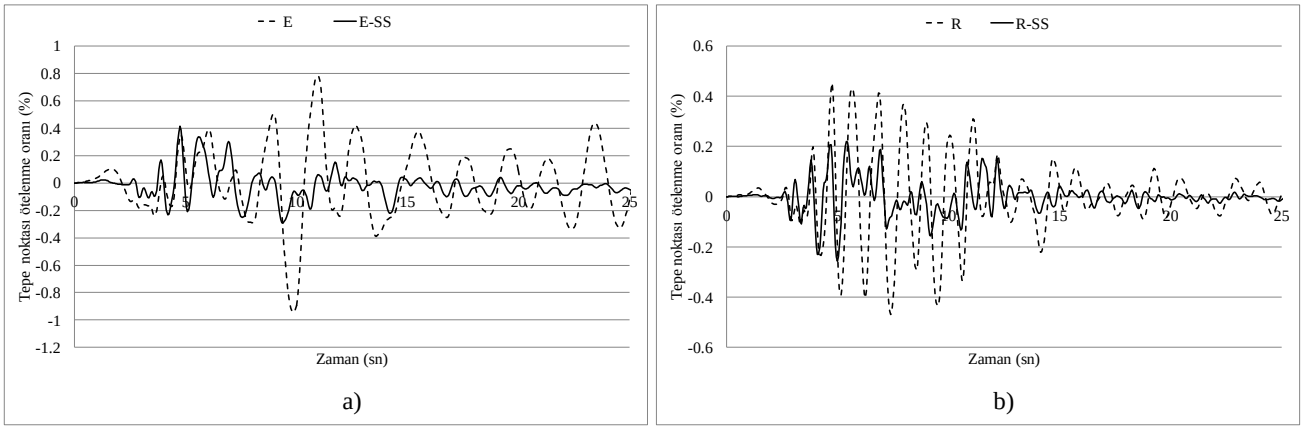
Ayrıca, sürtünme sönümleyicilerin yapının yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimindeki etkisinin görülmesi için, tepe noktası yerdeğiştirmesi bina yüksekliği ile normalize edilmiş, tepe noktası ötelenme oranının zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 7 ve 8'de sırasıyla 4 ve 8 katlı yapılar için verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, 4 katlı esnek moment aktaran çerçeve sistemi için elde edilen maksimum tepe noktası ötelenme oranı %1.3, sürtünme sönümleyici eleman kullanımı ile %0.5'e inmekte; rijit çerçeve sisteminde ise sürtünme sönümleyici ilavesi ile tepe noktası ötelenme oranı %1.0'dan, %0.2'ye kadar inmektedir. 8 katlı moment aktaran esnek ve rijit çerçeve sistemlerinde ise sırasıyla tepe noktası ötelenme oranı %0.9'dan %0.4'e ve %0.5'den %0.3'e kadar azalmaktadır. Sürtünme sönümleyicilerin, yapıların yerdeğiştirme talebinde önemli derecede azalmaya sebep olduğu görülmektedir.

Şekil 9'da 4 ve 8 katlı rijit yapıların 1. katındaki sürtünme sönümleyici için elde edilen histeretik davranış eğrileri verilmiştir. 4 katlı rijit çerçevedeki sürtünme sönümleyicinin yaptığı maksimum yerdeğiştirme 15 mm iken, 8 katlı rijit çerçevedeki sürtünme sönümleyicinin yaptığı maksimum yerdeğiştirme 25 mm'dir. Şekillerden de görüldüğü üzere, 8 katlı çerçeve sisteminde yer alan sürtünme sönümleyicinin yerdeğiştirme talebi 4 katlı yapıdaki sürtünme sönümleyiciden daha fazla olmuştur. Ayrıca, 8 katlı yapıdaki sürtünme sönümleyici tarafından deprem sırasında daha fazla enerji sönümlendiği görülmüştür.



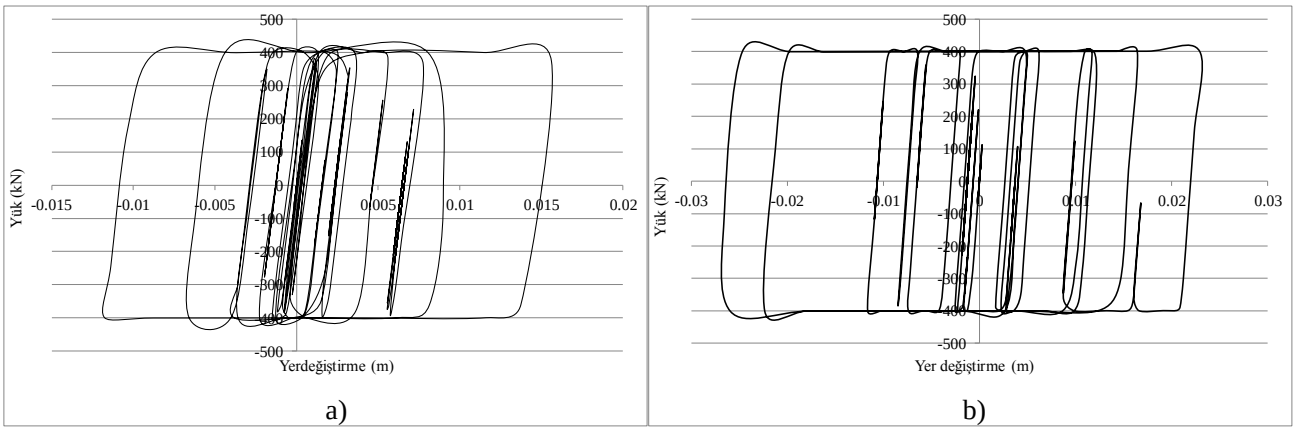
a) b)

Şekil 7. 4 katlı sürtünme sönümleyicili ve sönümleyicisiz a) esnek ve b) rijit çerçeveler için tepe noktası ötelenme oranının zamana bağlı değişimi



a) b)

Şekil 8. 8 katlı sürtünme sönümleyicili ve sönümleyicisiz a) esnek ve b) rijit çerçeveler için tepe noktası ötelenme oranının zamana bağlı değişimi



a) b)

Şekil 9. a) 4 katlı ve b) 8 katlı rijit çerçevelerdeki sürtünme sönümleyiciler için histeretik davranış eğrisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sürtünme sönümleyicili çaprazların, esnek ve rijit olarak iki farklı rijitlik seviyesi esas alınarak tasarlanmış moment aktaran çerçeveli çelik yapıların sismik davranışına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, 4 ve 8 katlı esnek ve rijit çerçeve sistemleri, sürtünme sönümleyici ilaveleri durumlarındaki davranışları doğrusal olmayan dinamik analiz yapılarak değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda elde edilen çerçeve sistemlerinin katlara göre en büyük yerdeğiştirme talepleri, göreli kat ötelenme oranı zarfları, tepe noktası ötelenme oranının zamana bağlı değişimi ve sürtünme sönümleyicilerin deprem etkisi altındaki davranışları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda, sürtünme sönümleyicilerin en büyük kat yerdeğiştirme talebinin mevcut çerçeveye kıyasla önemli oranda azaldığı, bu azalmanın 4 katlı rijit ve esnek çerçevede sırasıyla %85 ve %74'e; 8 katlı rijit ve esnek çerçevelerde ise sırasıyla, %58 ve %84' e kadar ulaştığı görülmüştür. Mevcut ve sürtünme sönümleyicili çerçeve sistemlerinin göreli kat ötelenmesi değişim zarflarına bakıldığında ise, sürtünme sönümleyicilerin ilave edilmesiyle, mevcut çerçeve göreli kat ötelenmesi oranlarına göre oldukça azaldığı, aynı zamanda katlararası daha uniform göreli kat ötelenme oranı dağılımına sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca, göreli kat ötelenmesi zarf eğrilerinin değerlendirilmesinde SEAOC (1999)'da belirtilen performans seviyeleri de kullanılmış; örneğin, Düzce depremi altında 4 katlı esnek ve rijit çerçeve sistemlerinin göçme öncesi ve can güvenliği performans seviyelerini sağladıkları, sürtünme sönümleyici ilavesi ile de sırasıyla hemen kullanım ve kullanıma devam performans seviyelerini sağlar duruma geldikleri görülmüştür. Bunların yanı sıra, sürtünme sönümleyiciler yapının yanal ötelenme ve elastik ötesi yerdeğiştirme talebini önemli derecede azaltmıştır.

KAYNAKLAR

Aiken, I.D., Kelly, J.M. ve Pall, A.S. (1988). Seismic response of a nine-story steel frame with friction damped cross-bracing. *9th World Conference. on Earthquake Engineering*, Tokyo and Kyoto, Japan.

FEMA 356, (2000). Federal Emergency Management Agency, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of building, FEMA-356, Washington (DC).

Filiatrault, A. ve Cherry, S. (1986). Seismic tests of friction-damped steel frames. *Third Conference on Dynamic Response of Structures*, *ASCE*, Los Angeles, USA.

Filiatrault, A. ve Cherry, S. (1987). Performance evaluation of friction damped braced frames under simulated earthquake loads. *Earthquake Spectra* **3:1**, 57–78.

Filiatrault, A. ve Cherry, S. (1990). Seismic design spectra for friction-damped structures. *Journal of Structural Engineering* **116:ST5**, 1334-1355.

FitzGerald, T.F., Anagnos, T., Goodson, M., ve Zsutty, T. (1989). Slotted bolted connections in aseismic design for concentrically braced connections. *Earthquake Spectra*, **5:2**, 383–391.

Fu, Y. ve Cherry, S. (2000). Design of friction damped structures using lateral force procedure. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **29:7,** 989–1010.

Garcia, D.L. ve Soong, T.T. (2002). Efficiency of a simple approach to damper allocation in MDOF structures, *Journal of Structural Control*, **9:1**, 19-30.

Grigorian, C.E. ve Popov, E.P. (1993) Slotted bolted connection energy dissipators. *Earthquake Spectra* **9:3**, 491–504.

Housner, G.W., Bergman, L.A., Caughey, T.K., Chassiakos, A.G., Claus, R.O., Masri, S.F., Skelton, R.E., Soong, T.T., Spencer, B.F. ve Yao, J.T.P. (1997). Structural control: past, present and future. *Journal of Engineering Mechanics, ASCE* **123:9**, 897–971.

Moreschi, L.M. ve Singh, M.P. (2003). Design of yielding metallic and friction dampers for optimal seismic performance, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **32:8**, 1291-1311.

Nims, D.K., Ritcher, P.J. ve Bachman, R.E. (1993). The use of the energy dissipating restraint for seismic hazard mitigation. *Earthquake Spectra*, **9:3**, 467–489.

Pall, A.S. ve Marsh, C. (1982). Response of friction damped braced frames. *Journal of the Structural Division*, **108:ST6**, 1313–1323.

Pall, A.S., Marsh, C. ve Fazio, P. (1980). Friction joints for seismic control of large panel structures. *Journal of Prestressed Concrete Institute*, **25:6**, 38-61.

Pasquin, C., Leboeuf, N., Pall, R. ve Pall, A. (2004). Friction dampers for seismic rehabilitation of Eaton's building, Montreal. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada.

Santa-Ana, P.R. ve Miranda, E. (2000). Strength reduction factors for multi-degree-of-freedom systems, *12th World Conference on Earthquake Engineering*.

SEAOC, (1999). Seismology Committee Structural Engineers Association of California, Recommended lateral force requirements and commentary. 7th ed. California.

Soong, T.T. ve Dargush, G.F. (1997). Passive energy dissipation systems in structural engineering, Wiley.

Symans, M.D., Charney, F.A., Whittaker, A.S., Constantinou, M.C., Kircher, C.A., Johnson M.W. ve McNamara R.J. (2008). Energy dissipation systems for seismic applications: current practice and recent developments. *Journal of Structural Engineering* **134:1**, 3-21.

UBC, Uniform Building Code, (1994). Int. Conf. of Bldg. Officials, Whittier, California.