VİSKOELASTİK SÖNÜMLEYİCİLİ YAPILARIN HASAR POTANSİYELİ EĞRİLERİNİN BELİRLENMESİ

E.M. Güneyisi[1] ve N.D. Şahin[2]

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

ÖZET:

Hasar potansiyeli eğrileri, deprem etkileri altında yapısal hasar oluşma olasılığını ifade etmekte olup, bu eğriler üzerindeki herhangi bir nokta, verilen büyüklükteki deprem şiddetinde yapı üzerinde oluşması muhtemel hasar görebilirliliği oranını temsil etmektedir. Bu çalışma taşıyıcı sistemi geleneksel moment aktaran çerçeve ve viskoelastik sönümleyicili çerçeve sistemi olarak tasarlanmış çelik binaların deprem güvenirliklerinin hasar potansiyeli eğrileri aracılığıyla belirlenmesini esas almaktadır. Bu amaçla, örnek yapı olarak on iki katlı dört açıklıklı çelik çerçeve sistemi viskoelastik sönümleyicili ve sönümleyicisiz olarak tasarlanmıştır. Hasar potansiyeli eğrilerinin oluşturulmasında, deprem hareketlerindeki değişkenliği gösterebilecek bir grup doğal deprem yer hareketi kaydı, yapıların doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Yapıların sismik performansları FEMA 356'ya göre hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi performans düzeyi olmak üzere üç ana hasar seviyesi için belirlenmiştir. Yapısal tepki parametresi olarak göreli kat ötelemesi oranı kullanılmıştır. Lognormal dağılıma sahip hasar potansiyeli eğrileri yapının birinci moduna karşılık gelen spektral ivme değerine bağlı olarak oluşturulmuştur. Her iki yapı tipi için elde edilen hasar potansiyel eğrilerinin karşılaştırılabilmesi için yapıların aynı lokasyon için sismik risk analizi yapılarak, hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi performans düzeyleri için yıllık aşılma olasılıkları belirlenmiştir. Sonuçlar yapısal tasarımda kullanılan pasif viskoelastik söndürücü sistemlerin, geleneksel tasarlanan çerçeve sistemlere göre deprem etkisi altında güvenirliliğinde belirli performans düzeyleri için önemli oranda iyileşme sağladığını göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Çerçeve sistemi, Deprem güvenliği, Hasar potansiyel eğrisi, Performans düzeyi, Viskoelastik sönümleyici

1. GİRİŞ

Yapılar deprem kuvvetlerine maruz kaldıklarında yapısal sistemleri büyük miktarlarda enerjilere maruz kalmaktadır. Deprem gibi dinamik etkilere maruz yapılardaki bu titreşim enerjisi esas olarak iç sürtünme ve yapısal elemanlardaki plastik deformasyonlar ile giderilmektedir. Son yıllarda, yapılarda deprem durumunda oluşan plastik deformasyonların azaltılması veya önlenmesi amacıyla geleneksel depreme dayanıklı tasarım yöntemlerine alternatif olarak sismik izolasyon ve/veya pasif enerji sönümleyici sistemler kullanılarak tasarım yöntemleri geliştirilmiştir (Kelly, 1986; Soong ve Dargush, 1997; Symans vd., 2008; Housner vd., 1997). Pasif enerji sönümleme sistemlerinin viskoz akışkanlı, metalik, sürtünme tipi, ayarlı kütle, ayarlı sıvı ve sürtünmeli, viskoelastik sönümleyiciler gibi birçok çeşidi bulunmaktadır. Viskoelastik sönümleyici (VES) sistemler, rüzgar yüküne bağlı oluşan titreşimin sönümlenmesi amacıyla, New York'daki Twin Towers ve Seattle'daki Columbia Center binalarında da olduğu üzere uzun süredir kullanılmaktadır (Lee ve Tsai, 1992). Ancak, viskoelastik sönümleyicilerin metalik ve sürtünmeli sönümleyicilere kıyasla yapıların deprem dayanımın artırılması için kullanımı daha yenidir (Craig vd., 2002).

Hasar potansiyel eğrileri deprem etkisine maruz yapılarda meydana gelebilecek olası hasarları tahmin etmek amacıyla etkili bir metod olarak kullanılmaktadır. Hasar potansiyel eğrileri elde edilmesinde kullanılan veriye bağlı olarak ampirik, yargısal, analitik ve karma olarak sınıflandırılmaktadır. Eğer hasar olasılık tahmininde kullanılacak veriler deprem sonrası tetkiklerdeki gözlemlere dayanılarak oluşturuluyorsa ampirik, uzman görüşlerine göre oluşturuluyorsa yargısal, analitik simülasyonlardan elde edilen verilerle oluşturuluyorsa analitik yada bunlardan birkaçının aynı anda kullanılmasına bağlı olarak oluşturuluyorsa da karma hasar potansiyel eğrileri olarak sınıflandırılmaktadır (Rosetto ve Elnashai, 2003).

Bu çalışmada, geleneksel tasarım yöntemiyle ve viskoelastik sönümleyici sistemlerle tasarlanan örnek yapılar modellenmiş ve farklı doğal yer kayıtları altındaki simülasyonları sonucunda elde edilen veriler kullanılarak analitik hasar potansiyel eğrileri oluşturulmuştur. Ayrıca, viskoelastik sönümleyicili ve sönümleyicisiz olarak tasarlanan yapılar için elde edilen hasar potansiyel eğrileri ile sismik tehlike eğrileri kullanılarak yapıların karşılaştırılmalı olarak sismik risk değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. ÖRNEK YAPILARIN TASARIMI

Bu araştırmada, 12 katlı çelik çerçeve sistem viskoelastik sönümleyicili ve sönümleyicisiz (moment aktaran çerçeve sistemi) olarak Lin vd. (2003) tarafından önerilen yer değiştirmeye dayalı tasarım metoduna göre elastik yerdeğiştirme davranış spektrumu kullanılarak tasarlanmıştır. Elastik yer değiştirme davranış spektrumu 50 yılda aşılma olasılığı 10% olan depremler için maksimum yer ivmesi 0.4g için belirlenmiştir. Viskoelastik sönümleyicisiz referans çerçeve (RÇ) ve viskoelastik sönümleyicili çerçeve (VESÇ) sistemler tasarım depremi altında maksimum göreli kat ötelemesi oranı %0.5 olacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan çerçeve sistemlerin birbiriyle kıyaslanabilmesi için, çerçeve geometrisi sabit tutulmuş, Şekil 1'den de görüldüğü üzere kat yüksekliği 3.8 m ve açıklıklar 8 m olarak alınmıştır. Tüm çerçeve sistemlerde kullanılan çeliğin akma dayanımı 240 MPa ve elastisite modülü 210 GPa olarak seçilmiştir. Tasarlanan çerçevelerin kesitleri kutu kesit olarak alınmış, kesit detayları Tablo 1'de verilmektedir.

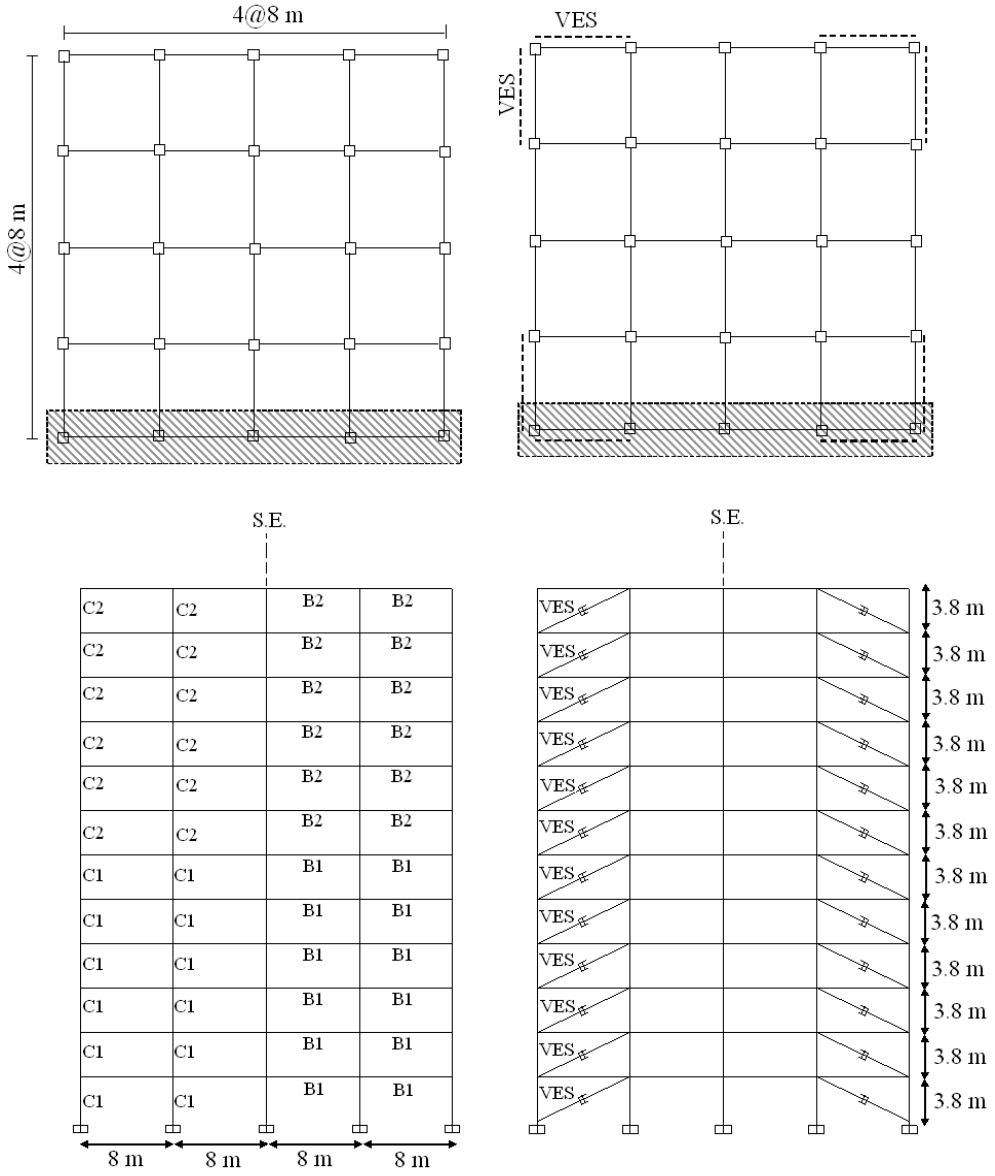
Viskoelastik sönümleyiciler Şekil 2'den de görüldüğü gibi çelik plakaların içine yerleştirilmiş ince viskoelastik malzeme tabakalarından oluşmaktadır. Uygulamada, viskoelastik sönümleyicilerin dinamik davranışı genelikle yay ve amortisörün paralel (Kelvin model) bağlanması ile oluşturulan basit doğrusal viskoelastik modellerle idealize edilmektedir (Valles vd., 1996; Soong ve Dargush, 1997; Kim ve Choi, 2006). Basit doğrusal viskoelastik modellerle tanımlanan viskoelastik sönümleyicinin rijitlik ve sönümleme katsayıları aşağıda verilen denklemlerle hesaplanmaktadır (Kim ve Choi, 2006).

$$K_d = \frac{G'(w)A}{t} \tag{1}$$

$$C_d = \frac{G''(w)A}{wt} \tag{2}$$

Burada $G'(w)$ ve $G''(w)$ sırasıyla kayma depolama (storage) ve bırakma (loss) modülünü, A ve t sırasıyla malzemenin toplam alanını ve kalınlığını, w ise kuvvet oluşma frekansını göstermektedir. Viskoelastik sönümleyicilerin özellikleri frekans ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu çalışmada, kullanılması gereken viskoelastik sönümleyicinin rijitliğine göre, kayıp ve bırakma modüllerinin aynı olduğu kabul edilerek ve viskoelastik sönümleyici koyulan yapının doğal titreşim periyodu düşünülerek, sönümleyicinin sönümleme sabiti belirlenmiştir. Şekil 1'den de görüldüğü üzere aynı yapısal özelliklere sahip viskoelastik sönümleyiciler her kata 2 adet olmak üzere dış açıklıklara yerleştirilmiştir. Çerçeve sistemlerin modellenmesi ve

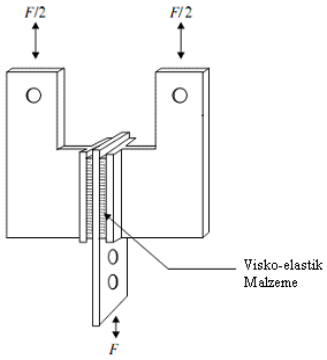
analizlerinde, sonlu elemanlar yöntemini kullanan ve iki boyutlu yapıların analizini yapan yapısal analiz programı DRAIN-2DX (Prakash vd., 1993) kullanılmıştır.



Şekil 1. Örnek yapılara ait kat planı ve kesit görünümü

Tablo 1. Çerçeve sistemlerin kesit özellikleri

Çerçeve Sistem	C1	C2	B1	B2	VES
	Kutu Kesit	Kutu Kesit	Kutu Kesit	Kutu Kesit	K
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(N/mm)
RÇ	700x700x25	600x600x25	420x210x25	360x180x25	-
VESÇ	510x510x25	440x440x25	480x240x25	420x210x25	9214



Şekil 2. Tipik bir viskoelastik sönümleyicinin görünüşü (Soong ve Spencer-Jr, 2002)

3. YER HAREKETİ KAYITLARI

Yer hareketi kaydının, maksimum şiddeti, büyüklüğünün zamana bağlı değişimi, kuvvetli yer hareketi süresi, frekans içeriği, gibi kendi doğasında olan düzensiz ve rastlantısal durumu, hasar tahminini olasılık haline getirmektedir. Bu çalışmada, değişik özelliklerdeki şiddetli depremleri temsil edebilecek Avrupa kuvvetli yer hareketi veri tabanından (Ambraseys vd., 2004a, 2004b) 15 doğal yer hareketi kaydı hasar potansiyel eğrilerinin oluşturulmasında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler için kullanılmıştır. Bu kayıtların yakın fay hareketli deprem kayıtları olmamasına (D > 10 km) ve yumuşak zemin koşullarında (kayma dalgası hızı < 180 m/s) kaydedilmemiş olmasına dikkat edilmiştir. Kullanılan yer hareketi kayıtlarına ait aletsel büyüklük (M_w), deprem kaynağına olan uzaklık (D) değeri, maksimum yer ivmesi (MYİ) değeri ve maksimum yer hızı (MYH) değerleri Tablo 2'de verilmektedir. Ayrıca, kullanılan yer hareketi kayıtları M_w değeri 6.5'den, MYİ değeri 0.2 g' den ve MYH değeri ise 15 cm/sn'den büyük olacak şekilde seçilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan yer hareketi kayıtları

Depremin Yeri	Kayıt İstasyonu	Zemin Tipi	M_w	Tarih	D (km)	MYİ (m/sn^2)	MYH (cm/sn)
Friuli /Italy	Tolmezzo Diga Ambiesta	A	6.5	06/5/1976	23	3.35	32.47
Montenegro	Petrovac Hotel Oliva	B	7.0	15/04/1979	25	4.47	39.23
İzmit/Turkey	Yarımca-Petkim	C	7.6	17/08/1999	20	3.05	58.50
Erzincan /Turkey	Erzincan Meteoroloji Müd.	B	6.7	13/03/1992	13	5.31	84.57
Compano Lucano /Italy	Sturno	A	6.9	23/11/1980	32	3.04	62.62
Alkion/Greece	Korinthos-OTE Building	C	6.6	24/02/1981	20	3.07	22.61
Düzce /Turkey	Bolu Bayındırlık ve İskan M.	C	7.2	12/11/1999	39	7.88	65.02
Montenegro	Ulcinj Hotel Albatros	A	7.0	15/04/1979	21	2.11	26.25
Tabas/Iran	Tabas	B	7.4	16/09/1978	57	10.17	87.64
Manjil/Iran	Abhar	C	7.4	20/06/1990	98	1.94	20.84
Kozani/Greece	Kozani - Prefecture	A	6.6	13/05/1995	17	2.13	8.76
İzmit/Turkey	Yarımca-Petkim	C	7.6	17/08/1999	100	3.66	45.17
Düzce /Turkey	LDEO Station No CO375VO	A*	7.2	12/11/1999	39	8.75	38.17
South Iceland	Hella	B*	6.6	17/06/2000	15	4.58	46.64
South Iceland (Artçı)	Solheimar	B*	6.5	21/06/2000	11	7.06	105.28

4. HASAR POTANSİYEL EĞRİLERİNİN BELİRLENMESİ VE RİSK ANALİZİ

Yapıların performans düzeylerinin belirlenebilmesi için farklı yapı türlerinde farklı hasar parametreleri seçilmektedir. Literatürde değişik tiplerdeki pasif enerji sönümleyici sistemlerine sahip yapıların sismik performansının değerlendirilmesinde (Pall vd.,1993; Filiatrault ve Cherry, 1988, Aiken vd., 1988) ve ayrıca viskoelastik sönümleyicili yapıların sismik performansının değerlendirilmesinde (Chang vd., 1992; 1995) hasar parametresi olarak göreli kat ötelemesi kullanılmaktadır. Bu çalışmada da hasar potansiyel eğrilerinin performans düzeylerine göre belirlenmesinde hasar parametresi olarak göreli kat öteleme oranı kullanılmıştır.

Hasar potansiyel eğrilerinin belirlenmesinde FEMA 356'ya (2000) göre performans seviyeleri belirlenmiştir. Bu performans seviyeleri, hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi performans düzeyidir. FEMA 356'ya göre viskoelastik sönümleyicili ve sönümleyicisiz çerçeve sistemler için performans düzeylerine karşılık gelen göreli kat öteleme oranı sınır değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Performans düzeyleri ve göreli kat ötelenmesi oranı limit değerleri

Performans Düzeyi	Moment aktaran çelik çerçeve sistemi	Çaprazlı çelik çerçeve sistemi
Hemen Kullanım	%0.70	%0.50
Can Güvenliği	%2.50	%1.50
Göçme Öncesi	%5.00	%2.00

Hasar potansiyel eğrilerinin belirlenmesinde genellikle deprem şiddetini gösteren parametre olarak maksimum yer ivmesi (MYİ), maksimum yer hızı (MYH) veya hakim moda karşılık gelen spektral ivme $S_a(T_1)$ değerleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada yapının birinci moduna karşılık gelen spektral ivme değeri $S_a(T_1)$ deprem şiddeti parametresi olarak seçilmiştir. Her bir yer hareketi kaydı yapılara birinci mod spektral ivme değeri 0.05g artırılarak etki ettirilmiş ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır. Her bir analiz sonucunda yapıların maruz kaldığı maksimum göreli kat ötelenme oranları kaydedilmiştir ve her bir deprem şiddeti için performans seviyesi aşılma olasılığı, lognormal dağılım fonksiyonu uygulanarak hesaplanmıştır. Deprem şiddetine karşılık gelen aşılma olasılıkları ile hasar potansiyel eğrisini oluşturan veriler belirlenmiştir. Elde edilen veriler, istatistiksel dağılımla yapıların birinci mod spektral ivme ($S_a(T_1)$) ile tanımlanan deprem şiddeti için performans seviyelerine ulaşması veya aşması olasılığını gösterecek şekilde aşağıdaki fonksiyon (HAZUS, 1997) ile ifade edilmiştir.

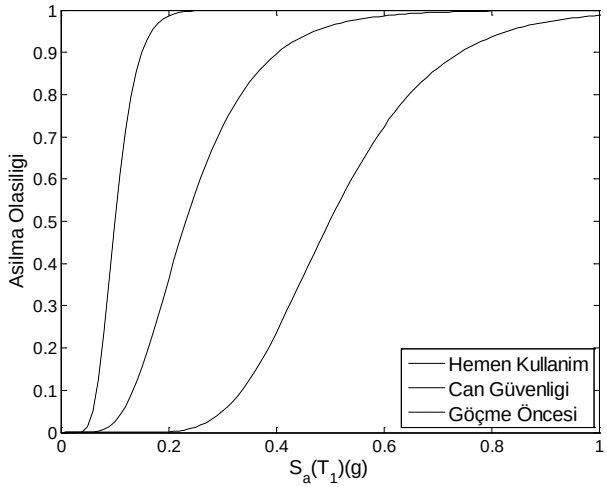
$$P\left[PD_i = X\right] = \Phi\left[\frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{X}{\mu}\right)\right] \tag{3}$$

Burada Φ standart normal birikimli dağılım fonksiyonu, X lognormal dağılımlı deprem şiddeti parametresi, μ ve β sırasıyla spektral ivme verilerinin medyanlarını ve standart sapmalarını, PD_i ise performans düzeyini göstermektedir. Viskoelastik sönümleyicisiz ve sönümleyicili çerçeve sistemler için elde edilen hasar potansiyel eğrileri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere hasar potansiyel eğrileri hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi performans düzeyleri için belirlenmiştir.

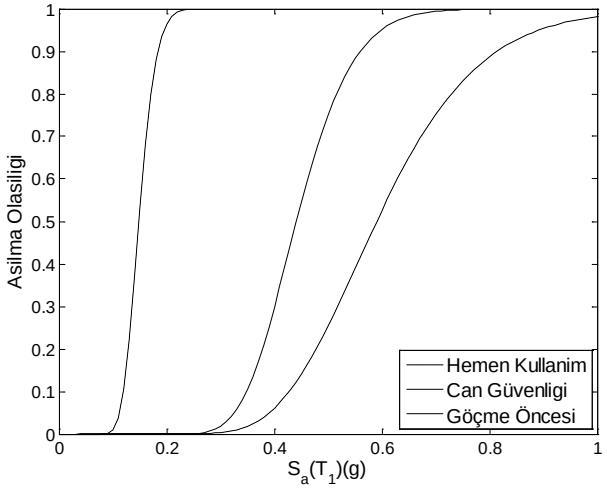
Referans çerçeve ve viskoelastik çerçeve sistemlerinin güvenirliliğinin karşılaştırılabilmesi için ayrıca sismik risk analizi yapılmıştır. Yapıların sahip olduğu risk, performans düzeylerinin yıllık aşılma olasılığı cinsinden ifade edilmiştir. Yapıların maruz kalabileceği riskin karşılaştırılması için, Şekil 5'de verilen bir bölge için belirlenmiş olan sismik risk eğrileri (Field vd., 2003) kullanılmıştır. Her bir performans düzeyi için yıllık aşılma olasılığı hasar potansiyel eğrisi ve sismik risk eğrisi kullanılarak aşağıdaki matematiksel ifadeye göre elde edilmiştir (Ellingwood, 2001).

$$P\left[PD_i\right] = \sum_{all\ im} P\left[PD_i \middle| IM = im\right] P\left[IM = im\right] \tag{4}$$

Burada $P\left[PD_i \middle| IM = im\right]$ verilen deprem şiddetinde performans düzeyi için aşılma olasılığını, $P\left[IM = im\right]$ ise deprem şiddetinin yıllık aşılma olasılığını göstermektedir. Viskoelastik sönümleyicili çerçeve sistemi ile referans çerçeve sistemi için hesaplanan performans düzeylerinin yıllık aşılma olasılığı Tablo 4'de sunulmaktadır.



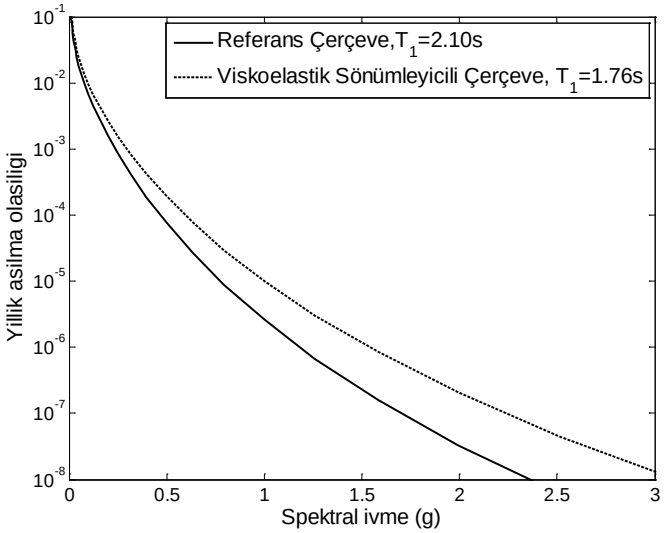
Şekil 3. Referans çerçeve sistemi için elde edilen hasar potansiyel eğrileri



Şekil 4. Viskoelastik sönümleyicili sistem için elde edilen hasar potansiyel eğrileri

Tablo 4. Performans düzeylerinin yıllık aşılma olasılığı

Çerçeve Sistemi	Performans Düzeyleri		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçme Öncesi
Referans Çerçeve	6.80E-03	1.56E-03	1.35E-04
Viskoelastik Sönümleyicili Çerçeve	4.76E-03	3.35E-04	1.45E-04



Şekil 5. Sismik tehlike eğrileri

Tablo 4'den de görüldüğü üzere, yapıların hemen kullanım performans düzeyi için yıllık aşılma olasılıkları birbirine yakın elde edilmiştir. Hemen kullanım performans düzeyinin sınır göreli kat ötelemesi değeri referans çerçeve sistemi için %0.7, viskoelastik sönümleyicili çerçeve sistemi için ise %0.5 olarak alınmıştır. Yapılar arasındaki farklılık özellikle can güvenliği performans düzeyi için yıllık aşılma olasılıkları karşılaştırıldığında görülmektedir. Mevcut yapının can güvenliği performans düzeyi yıllık aşılma olasılığı viskoelastik sönümleyicili sisteminin aşılma olasılığının yaklaşık 5 katına çıkmaktadır. Can güvenliği performans düzeyinin sınır göreli kat ötelenmesi değeri referans çerçeve sistemi için %2.5, viskoelastikli çerçeve sistemi için ise %1.5 olarak alınmıştır. Göçme öncesi performans düzeylerine bakıldığında, iki çerçeve sistemi için birbirine yakın yıllık aşılma olasılıkları elde edilmektedir.

5. ÖZET VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, taşıyıcı sistemi geleneksel moment aktaran çerçeve ve viskoelastik sönümleyicili çerçeve sistemi olarak tasarlanmış on iki katlı çelik binaların deprem güvenirlikleri, hasar potansiyeli eğrileri oluşturularak ve risk analizi yapılarak incelenmiştir.

Hasar potansiyeli eğrilerinin oluşturulmasında, deprem hareketlerindeki değişkenliği gösterebilecek bir grup doğal deprem yer hareketi kaydı, yapıların doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Viskoelastik sönümleyicili ve sönümleyicisiz yapıların hasar seviyeleri, yapıların göreli kat ötelemesi davranışına göre değerlendirilmiştir. Hasar seviyeleri FEMA 356'ya göre hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi performans düzeyi olarak belirlenmiştir. Bu performans düzeyleri için lognormal dağılıma sahip hasar potansiyel eğrileri yapının birinci moduna karşılık gelen spektral ivme değerine göre oluşturulmuştur. Her iki yapı tipi için elde edilen hasar potansiyel eğrilerinin arasındaki farkların daha anlaşılır olarak incelenebilmesi için, elde edilen hasar potansiyel eğrisi ile sismik tehlike eğrisi kullanılarak yapıların sismik risk analizi yapılmış, hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi performans düzeyleri için yıllık aşılma olasılıkları belirlenmiştir. Sonuç olarak, tasarımda viskoelastik sönümleyici kullanımı hasar olasılık eğrilerini referans çerçeveye kıyasla sağa doğru öteleyerek, yapının deprem performansındaki iyileşmeyi göstermiştir. Ayrıca, yapıların güvenirlilikleri karşılaştırıldığında, viskoelastik sönümleyicili sistemler yapının özelikle can güvenliği performans düzeyinin yıllık aşılma olasılığında 5 kata yakın bir iyileşme sağlamıştır.

KAYNAKLAR

Aiken, I.D., Kelly, J. ve Pall, A.S. (1988). Seismic response of a nine-story steel frame with friction damped cross-bracing. Technical report no. UCB/EERC-88/17, University of California, Berkeley, CA.

Ambraseys, N.N., Douglas, J., Sigbjoernsson, R., Berge-Thierry, C., Suhadolc, P., Costa, G. ve Smit, P. (2004a). Dissemination of European strong-motion data, Volume 2. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada. August 1-6, 2004. Paper No. 32, Vol. 2, 1-12.

Ambraseys, N.N., Smit, P., Douglas, J., Margaris, B., Sigbjoernsson, R., Olafsson, S., Suhadolc, P. ve Costa, G. (2004b). Internet Site for European Strong-Motion Data. *Boll. Geof. Teor. Appl.* **45:3**, 113-129.

Chang, K.C., Soong, T.T., Oh, S.T. ve Lai, M.L. (1992). Effect of ambient temperature on a viscoelastically damped structure. *Journal of Structural Engineering* **118:7**, 1955–1957.

Chang, K.C., Soong, T.T., Oh, S.T. ve Lai, M.L. (1995). Seismic behavior of steel frame with added viscoelastic dampers. *Journal of Structural Engineering* **121:10**, 1418–1426.

Craig, J.I., Goodno, B.J., Towashiraporn, P. ve Park, J. (2002). Response Modification Applications for Essential Facilities, Mid-America Earthquake Center Project ST-4 Final Report, Atlanta, Georgia.

Ellingwood, B.R. (2001). Earthquake risk assessment of building structures, *Reliability Engineering and System Safety* **74,** 251-262.

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

Field, E.H., Jordan, T.H. ve Cornell, C.A. (2003). OpenSHA: A Developing Community-Modeling Environment for Seismic Hazard Analysis, *Seismological Research Letters* **74:4**, 406-419.

Filiatrault, A. ve Cherry, S. (1988). Comparative performance of friction damped systems and based isolation systems for earthquake retrofit and aseismic design. *Earthquake Engineering and Structural Dyn.* **16,** 389-416.

HAZUS (1997). Earthquake loss estimation methodology. Technical manual, National Institute of Building for the Federal EmergencyManagement Agency, Washington (DC).

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.

Kelly, J.M.(1986). Aseismic base isolation: review and bibliography. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **5:4**, 202–216.

Kim, J. ve Choi, H. (2006). Displacement-based design of supplemental dampers for seismic retrofit of a framed structure. *Journal of Structural Engineering*, **132:6**, 873-883.

Lee, H.H. ve Tsai, C-S. (1992). Analytical model for viscoelastic dampers in seismic mitigation application, Earthquake Engineering 10th World Conference, Balkema, Rotterdam, 2461-2466.

Lin, Y.Y., Tsai, M.H., Hwang, J.S. ve Chang, K.C. (2003). Direct displacement-based design for building with passive energy dissipation systems. *Engineering Structures* **25:1**, 25–37.

Pall, A., Venzina, S., Proulx, P. ve Pall, R. (1993). Friction dampers for seismic control of Canadian Space Agency Headquarters. *Earthquake Spectra* **9:3**, 547–557.

Prakash,V., Powell, G.H. ve Campbell, S. (1993). DRAIN-2DX. Base program description and user guide. Version 1.10, University of California at Berkeley.

Rossetto, T. ve Elnashai, A.S. (2003). Derivation of vulnerability functions for european- type RC structures based on observational data, *Engineering Structures* **25,** 1241-1263.

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.

Valles, R.E., Reinhorn, A.M., Kunnath, S.K., Li, C. ve Madan, A. (1996). IDARC 2D version 4.0: A computer program for the inelastic damage analysis of buildings, Technical Rep. NCEER-96-0010, National Center for Earthquake Engineering Research, State Univ. of New York at Buffalo, Buffalo, N.Y.