# SENTETİK DEPREM PULS SÖNÜM ORANLARININ SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN DAVRANIŞINA ETKİSİ

**S. Öncü-Davas[1] ve C. Alhan[2]**

[1] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi, Avcılar, İstanbul*
[2] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi, Avcılar, İstanbul*
*Email: seda.oncu@istanbul.edu.tr*

**ÖZET:**

Sismik izolasyon sistemleri, uzayan yapı periyoduna bağlı olarak spektral ivmeleri azaltmak suretiyle kat ivmelerini azaltırken, üst yapı rijit-blok davranışı sayesinde göreli kat deplasmanlarını da önemli ölçüde azaltırlar. Ancak sismik izolasyonlu binaların yakın-fay depremlerine maruz kalmaları durumunda davranışlarının nasıl olacağı son yılların önemli bir araştırma konusu olmuştur. Özellikle parametrik analizleri içeren araştırma çalışmalarında, yakın depremleri kapalı fonksiyonlarla temsil eden puls modellerinden Agrawal ve He (2002) modeli sıklıkla kullanılmaktadır. Bahsi geçen modelde tanımlanmış olan puls sönüm oranı $\zeta_p$'ye farklı değerler atanarak tekli veya çoklu pulsların üretimi sağlanabilmesine karşın, araştırma çalışmalarında genellikle tek bir $\zeta_p$ kabulü yapılarak sonuçlara ulaşılmaktadır. Ancak, kullanılan deprem sönüm oranı sismik izolasyonlu yapıların sismik performans sonuçlarını, dolayısıyla da bu yapılarla ilgili yukarıda bahsedilen araştırma çalışmalarının sonuçlarını etkileyebilir. Bu çalışmada, çoklu, ileri geri ve ileri hız pulsları, $\zeta_p$'ye sırasıyla %10, %20 ve %40 değerleri atanarak oluşturulmuştur. Ele alınan bir sismik izolasyonlu bina modeli bu kayıtlara maruz bırakılarak yapıya ait sismik performansın değişimi incelenmiştir. Farklı deprem büyüklükleri ve fay hattına olan farklı mesafelerin de inceleme kapsamına alındığı bu çalışma sonucunda, deprem puls sönüm oranlarının sismik izolasyonlu binaların sismik performansları ile ilgili elde edilen sonuçları etkilediği ortaya konmuştur. [Agrawal, A. K. ve He, W. L. (2002) "*A closed form approximation of near fault ground motion pulses for flexible structures, 15th ASCE Proceeding of Engineering Mechanics Conference, 3 June, Columbia University, New York*".]

**ANAHTAR KELİMELER:** Deprem mühendisliği, sismik izolasyon, yakın deprem modeli, deprem sönüm oranı.

## 1. GİRİŞ

Sismik izolasyon sistemleri, genellikle yapı ile temel arasına yatay rijitliği düşük, düşey rijitliği yüksek olan izolasyon elemanlarının yerleştirilmesi ile oluşturulur. Sismik izolasyonlu yapı, depreme maruz kaldığında izolasyon sisteminde büyük yerdeğiştirmeler meydana gelirken; üst yapı rijit-blok halinde hareket eder. Bu sayede, göreli kat deplasmanları azalır. Yapının birinci dinamik modunun oluşturduğu rijit-blok davranışı sayesinde ise yapının doğal periyodu uzayarak, deprem hakim periyodundan uzaklaşır. Bu durum, yapıya aktarılan spektral ivme değerlerinin düşmesini sağladığından, kat ivmeleri önemli ölçüde azalır.

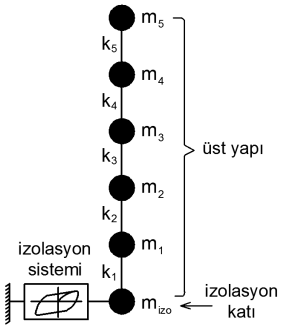
Sismik izolasyonlu binaların, uzun periyotlu ve büyük genlikli yakın-fay depremlerine maruz kalmaları durumunda nasıl davranacakları, son yılların önemli bir araştırma konusu olmuştur (Öncü-Davas ve diğ., 2013; Gazi ve diğ., 2013; Öncü ve Alhan, 2012; Alhan ve Şahin, 2011; Providakis, 2009; Dicleli ve Buddaram, 2007; Alhan ve Gavin, 2005; Jangid ve Kelly, 2001). Yakın-fay depremlerinin, yapısal tepki parametrelerine olan etkisini inceleyebilmek için yapılan parametrik çalışmalarda, yakın-fay deprem kayıtlarını temsilen eşdeğer puls

modelleri kullanılmaktadır (Makris, 1997; Makris ve Chang, 2000; Alavi ve Krawinkler, 1999; Agrawal ve He, 2002; Menun ve Fu, 2002; Mavroeidis ve Papageorgiou, 2003; He ve Agrawal, 2008). Bu puls modellerinden biri olan Agrawal ve He (2002) modeli, gerçek yakın-fay depremlerini başarılı bir şekilde temsil etmesi ve karmaşık olmayan matematiksel ifadesi sebebiyle parametrik araştırma çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu modelde maksimum yer hareketi hızı, puls periyodu ve deprem puls sönüm oranı birer parametre olarak yer almaktadır. Söz konusu parametrelerden biri olan deprem puls sönüm oranı ($\zeta_p$), %10, %20 ve %40 olarak alındığında sırasıyla çoklu, ileri geri ve ileri hız pulsları ile benzerlik gösterir (Dicleli ve Buddaram, 2007). Ancak araştırma çalışmalarında, genellikle tek bir $\zeta_p$ değeri kabulü yapılarak üretilen pulslar kullanılmaktadır. Örneğin, Dicleli ve Buddaram (2007) çalışmalarında, kayıtlı yakın fay depremlerinin %50'sinin ileri-geri hız pulsu içerdiği (Bray ve Rodriguez-Marek, 2004) gerekçesiyle sadece deprem puls sönüm oranı $\zeta_p$=%20 için analizler yapmıştır. Benzer şekilde, Öncü ve Alhan (2012), farklı büyüklükteki yakın-fay depremleri sırasında ve sonrasında ivmeye duyarlı cihazların korunabilirliğini incelemek üzere yaptıkları çalışmada yine $\zeta_p$= %20 sönüme sahip deprem pulsları kullanmıştır. Ancak, He ve Agrawal (2008), tek serbestlik dereceli sistemler kapsamındaki çalışmalarında, deprem sönüm oranının sonuçları etkileyebileceğini ortaya koymuşlardır. Öte yandan, çok serbestlik dereceli sismik izolasyonlu yapılar kapsamında deprem puls sönüm oranının etkisinin araştırılması da önem arz etmektedir. Bu doğrultuda, deprem puls sönüm oranının, dinamik tepki parametrelerinden kat ivmeleri, göreli kat ötelemeleri ve taban deplasmanını ne ölçüde etkileyeceği; bu çalışmada, ele alınan beş katlı örnek bir sismik izolasyonlu yapı farklı deprem puls sönüm oranları ($\zeta_p$) için üretilen sentetik puls modellerine maruz bırakılmak suretiyle incelenmiştir.

## 2. MATEMATİKSEL MODEL

Bu çalışmada, ele alınan beş katlı kayma çerçevesinde kat kütleleri ($m_i$) ve toplam kat rijitlikleri ($k_i$) her kat için eşit olarak seçilmiştir. Kat kütleleri ve rijitlikleri, çerçevenin taban ankastre periyodu 0.5 s olacak şekilde düzenlenmiştir. Üst yapı modal sönüm oranı ise her mod için eşit ve %3 olarak kabul edilmiştir. Bina kat yükseklikleri birbirine eşit ve 3.8 m olmak üzere, bina toplam yüksekliği $h_t$=19.0 m'dir. Söz konusu çerçeve, periyodu 0.5 s olan ve kat rijitliği ile kat kütleleri tüm katlarda eşit olan yapıları temsil etmektedir. Sismik izolasyonlu örnek yapı, ele alınan çerçeveye bir izolasyon katı ve bunun altında yer alan bir sismik izolasyon sistemi eklenmesiyle elde edilmiştir.

Sismik izolasyon sisteminde lineer olmayan davranış, ikili lineer kuvvet-deplasman ilişkisi ile tanımlanabilir. İkili lineer davranışa ait izolaston sistemi parametreleri; akma öncesi rijitlik, $K_1$, akma sonrası rijitlik, $K_2$, akma kuvveti, $F_y$, akma deplasmanı, $D_y$, ve karakteristik kuvvet, Q'dur. İzolasyon katı kütlesi ($m_{izo}$) diğer kat kütleleri ile eşit alınmıştır. Bu çalışmada, hedeflenen akma sonrası izolasyon periyodu $T_0$=3 s ve kuvvet oranı Q/W=%5'e bağlı olarak, yapı toplam kütlesi $m_t$ için, $T_0 = 2p(m_t/K_2)^{1/2}$ (Matsagar ve Jangid 2004) bağıntısı da kullanılarak akma sonrası rijitliği $K_2$=1315.9 kN/m olarak hesaplanmıştır. Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı, a=0.15 kabulü ve $a= K_2/K_1$ eşitliği de kullanılarak, izolasyon sisteminin akma öncesi rijitliği, $K_1$=8673.4 kN/m; akma yer değiştirmesi $D_y$=20 mm için $F_y=K_1D_y$ eşitliği de kullanılarak akma kuvveti $F_y$=173.5 kN olarak hesaplanmıştır. Ele alınan çerçeve bir kayma çerçevesi olarak ve kütleler kat hizasında toplu kütle şeklinde modellenmiştir. Matematiksel modelin şematik bir gösterimi Şekil 1'de sunulmuştur.




Şekil 1. Sismik izolasyonlu kayma çerçevesine ait matematiksel modelin şematik gösterimi

Bu çalışmada, sismik izolasyonlu yapının doğrusal olmayan modellemesi ve zaman-tanım analizleri 3DBASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programında gerçekleştirilmiştir. Programda, üst yapı modeli, kat kütleleri, kat rijitlikleri ve her moda ait sönüm oranı ile tanımlanırken; sismik izolasyon sistemi, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı, akma dayanımı ve akma deplasmanı parametreleri ile tanımlanmıştır.

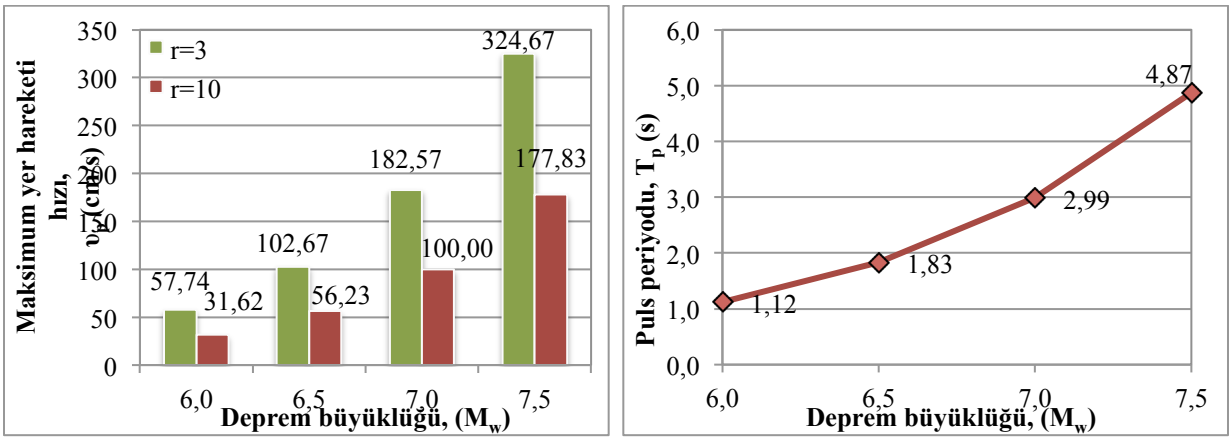
## 3. YAKIN-FAY DEPREMİ PULS MODELİ VE ÜRETİLEN SENTETİK DEPREM KAYITLARI

Yakın-fay depremlerine ait kayıtlar, tipik olarak uzun periyotlu ve büyük genlikli hız pulsları içerir. Bu tür deprem kayıtlarına, genellikle depremin faya olan mesafesinin 10 km'den daha az olduğu bölgelerde rastlanır. Kayıt edilen deprem hareketlerini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerden maksimum yer hareketi hızı ($\upsilon_p$) ile depremin büyüklüğü ($M_w$) ve yapının faya olan en yakın mesafesi (r) arasında olan ilişki Denklem (1)'de; puls periyodu ($T_p$) ve depremin büyüklüğü ($M_w$) arasındaki ilişki ise Denklem (2)'de verilmiştir (Somerville, 1998):

$$\log_{10}(\upsilon_p) = -1.0 + 0.5M_w - 0.5\log_{10}(r) \quad (1)$$

$$\log_{10}(T_p) = -2.5 + 0.425M_w \quad (2)$$

Bu çalışmada, yazarların önceki çalışmasında da kullandığı parametreler olan (Öncü ve Alhan, 2012), deprem büyüklüğü $M_w$=6.0, 6.5, 7.0 ve 7.5 ve yapının faya olan en yakın mesafesi r=3.0 km ve 10.0 km seçilmiştir. Söz konusu değerler için Denklem (1) ve (2) kullanılarak hesaplanan maksimum yer hareketi hızının ($\upsilon_p$) deprem puls periyodunun ($T_p$) deprem büyüklüğü ($M_w$) ile olan ilişkisi Şekil 2'de verilmiştir.




Şekil 2. Maksimum yer hareketi hızının ve deprem puls periyodunun deprem büyüklüğü ile ilişkisi

Bugüne kadar gözlenen en büyük pik yer hızlarından biri olan 263.1 cm/s, 1999 (Mw=7.6) Chi-Chi depremi TCU068 İstasyon'una ait kayıtta tespit edilmiştir (PEER Strong Ground Motion Database, 2005). Bu çalışmada üretilen sentetik kayıtlardan $M_w$=7.5 ve faya olan en yakın mesafe r=3 km için üretilen pulsa ait maksimum yer hareketi hızı (~325cm/s), TCU068 kaydına ait hızın bir miktar üzerindedir (Şekil 2).

Bu çalışmada kullanılan Agrawal ve He (2002) puls modeline ait hız, $v_p(t)$ ve ivme, $a_p(t)$ denklemleri sırasıyla Denklem (3) ve (4)'te sunulmuştur. Burada, deprem puls sönüm oranı, $\zeta_p$, hız pulsunun başlangıç genliği, s ve sinüzoidin frekansı, $\omega_p$'dir.

$$v_p(t) = se^{-\zeta_p\omega_p t}\sin\omega_p\sqrt{(1-\zeta_p^2)}t \tag{3}$$

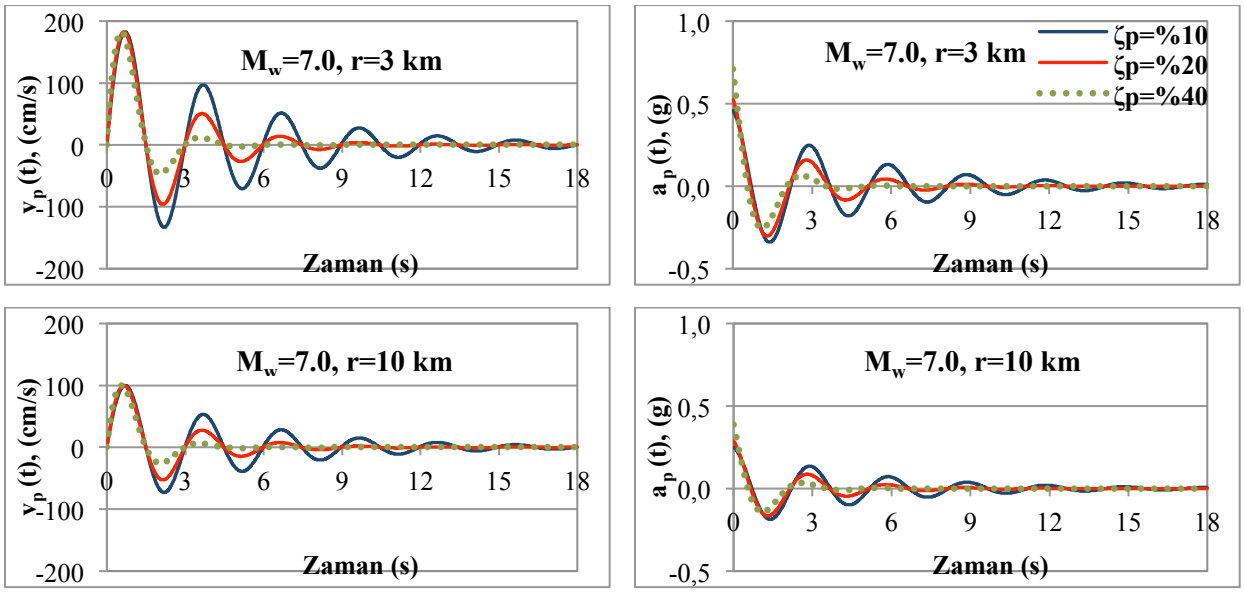
$$a_p(t) = se^{-\zeta_p\omega_p t}[-\zeta_p\omega_p\sin\omega_p\sqrt{(1-\zeta_p^2)}t + \omega_p\sqrt{(1-\zeta_p^2)}\cos\omega_p\sqrt{(1-\zeta_p^2)}t] \tag{4}$$

Puls periyodu, $T_p$ ve hız pulsunun başlangıç genliği, s

$$T_p = 2\pi/(\omega_p\sqrt{(1-\zeta_p^2)}) \tag{5}$$

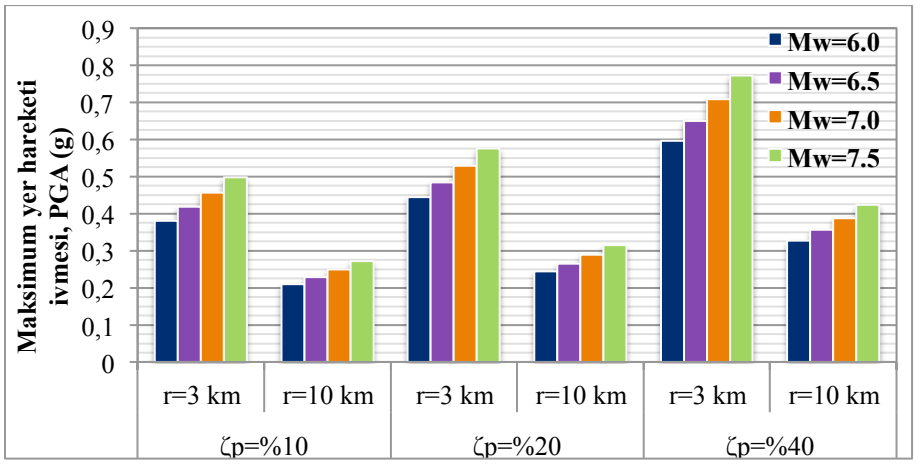
$$s = \upsilon_p/[e^{-\zeta_p\omega_p t_p}\sin\omega_p\sqrt{(1-\zeta_p^2)}t_p] \tag{6}$$

şeklinde hesaplanabilir (Dicleli ve Buddaram, 2007). Denklem (5) ve (6)'da kullanılan maksimum yer hareketi hızı, $\upsilon_p$ ve deprem puls periyodu, $T_p$ parametreleri için bu çalışmada kullanılan değerler Şekil 2'de verilmiştir. Örnek olarak, üretilen pulslardan deprem büyüklüğü $M_w$=7.0 için faya olan en yakın mesafenin r=3 km ve 10 km olduğu durumlarda, zamana bağlı hız, $v_p(t)$ ve ivme, $a_p(t)$ grafikleri, farklı sönüm oranları için Şekil 3'te sunulmuştur. Elde edilen kayıtların maksimum yer hareketi ivmesinin (PGA) deprem büyüklükleri ve sönüm oranları ile olan ilişkisi ise Şekil 4'te sunulmuştur.




Şekil 3. Farklı deprem sönüm oranları için üretilen sentetik deprem kayıtları

Şekil 3'te, üç farklı deprem sönüm oranı ($\zeta_p$= %10, %20 ve %40) için maksimum yer hareketi hızı ($\upsilon_p$) ve deprem puls periyodu ($T_p$) aynı olmasına rağmen; deprem sönüm oranı $\zeta_p$= %40 için hızın sönümlenmesinin diğer kayıtlara göre çok daha hızlı olduğu açıkça görülmektedir. Öte yandan, maksimum hız değerleri aynı olmasına rağmen, kullanılan puls modeli dolasıyla, maksimum yer hareketi ivmesinin sönüm oranının artması ile arttığı da görülmektedir (Şekil 4).




Şekil 4. Maksimum yer hareketi ivmesinin deprem büyüklükleri ve sönüm oranları ile olan ilişkisi

## 4. ANALİZLER

Farklı deprem büyüklükleri ve faya olan en yakın mesafeler için faklı deprem puls sönüm oranlarına bağlı olarak oluşturulan sentetik deprem kayıtlarına ait bilgiler dördüncü kısımda sunulmuştur. Söz konusu kayıtlar, akma sonrası periyodu $T_0$=3 s ve kuvvet oranı Q/W=%5 olan sismik izolasyonlu örnek binaya etkitilerek, zaman-tanım alanında analizler yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, kat ivmelerini temsilen sadece sismik izolasyonlu binaya ait en üst kat ivmesi, $a_5(t)$, Şekil 5'te sunulmuştur. Göreli kat ötelemelerini temsilen de en üst katın izolasyon katına göre ötelenmesinin ($d_5(t)$) toplam bina yüksekliğine ($h_t$) bölünmesi ile elde edilen bir göreli kat ötelemesi oranı ($\Delta(t)$) tanımlanmış ve Şekil 6'da sunulmuştur. İlgili grafikler sentetik deprem kaydı süresi olan ilk 18 s için verilmiştir.

Bu çalışmanın inceleme konusu olan, deprem puls sönüm oranlarının yapısal tepki parametrelerinin üzerinde yaratabileceği etkiyi daha detaylı inceleyebilmek için, en üst kat ivmeleri, göreli kat ötelemesi oranları ve taban deplasmanları maksimum (pik) değerler ve karekök ortalama değerler (rms) cinsinden Şekil 7'de sunulmuştur. Maksimum en üst kat ivmesi ($a_5^m$), zaman-tanım alanında en üst kat ivmesi değerlerinin ($a_5(t)$) mutlak değerce maksimumuna eşittir (Denklem (7)). Maksimum göreli kat ötelemesi ve maksimum taban deplasmanı da benzer şekilde sırasıyla Denklem (8) ve (9) ile hesaplanır.

$$a_5^{\,m} = \max\left|a_5(t)\right| \tag{7}$$

$$\Delta^m = \max\left|d_5(t)/h_t\right| = \max\left|\Delta(t)\right| \tag{8}$$

$$d_{izo}^{\ m} = \max\left|d_{izo}(t)\right| \tag{9}$$

En üst kat ivmelerinin karekök ortalama değerlerinin hesabı ($a_5^{rms}$), zaman-tanım alanında en üst kat ivmesi değerlerinin ($a_5(t)$), her i'nci adımın karesi alınıp toplandıktan sonra adım sayısına (n) bölünerek ve karekökü alınarak yapılmıştır (Denklem (10)). Denklem 11 ve 12'de görüleceği gibi, tanımlanan göreli kat ötelemelerinin ve taban deplasmanlarının karekök ortalama değerlerinin hesabı da benzer şekilde yapılmıştır.

$$a_5^{\ rms} = \sqrt{1/n[(a_{5,1}(t))^2 + (a_{5,2}(t))^2 + ... + (a_{5,i}(t))^2 + ... + (a_{5,n}(t))^2]} \tag{10}$$

$$\Delta^{rms} = \sqrt{1/n[(\Delta_1(t))^2 + (\Delta_2(t))^2 + ... + (\Delta_i(t))^2 + ... + (\Delta_n(t))^2]} \tag{11}$$

$$d_{izo}^{\ rms} = \sqrt{1/n[(d_{izo,1}(t))^2 + (d_{izo,2}(t))^2 + ... + (d_{izo,i}(t))^2 + ... + (d_{izo,n}(t))^2]} \tag{12}$$

## 5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Şekil 7'den, en üst kata ait maksimum ivme değerleri, maksimum göreli kat ötelemesi değerleri ve maksimum taban deplasmanlarının, deprem puls sönüm oranının $\zeta_p$=%10'dan %40'a artması ile tüm deprem büyüklükleri ve her iki mesafe (r) için de genellikle azaldığı görülmektedir. Ancak bu azalma, $M_w$=7.0 deprem büyüklüğü için çok belirgin iken, diğerleri için daha küçük ancak kayda değer mertebededir. Burada dikkati çeken husus, $\zeta_p$'nin etkisinin çok belirgin hale geldiği $M_w$=7.0 deprem büyüklüğüne ait puls periyodunun ($T_p$=2.99 s) bu çalışmada ele alınan yapının izolasyon periyodu ($T_0$=3.0 s) ile çakışmasıdır. Deprem puls periyodunun izolasyon periyodu ile çakıştığı bu durumda ($M_w$=7.0), deprem sönüm oranı $\zeta_p$=%10 için elde edilen yapısal tepki değerlerinin deprem büyüklüğü $M_w$=7.5 için elde edilenleri dahi aştığı görülmektedir. Fay hattına daha yakın olan durumlarda $\zeta_p$'nin etkisinin daha fazla olduğu da ayrıca tespit edilmiştir. Son olarak, deprem puls sönüm oranı $\zeta_p$ tüm kayıt boyunca etkili olduğundan, ortalama karekök değerlerini maksimum değerlere göre daha çok etkilemektedir.

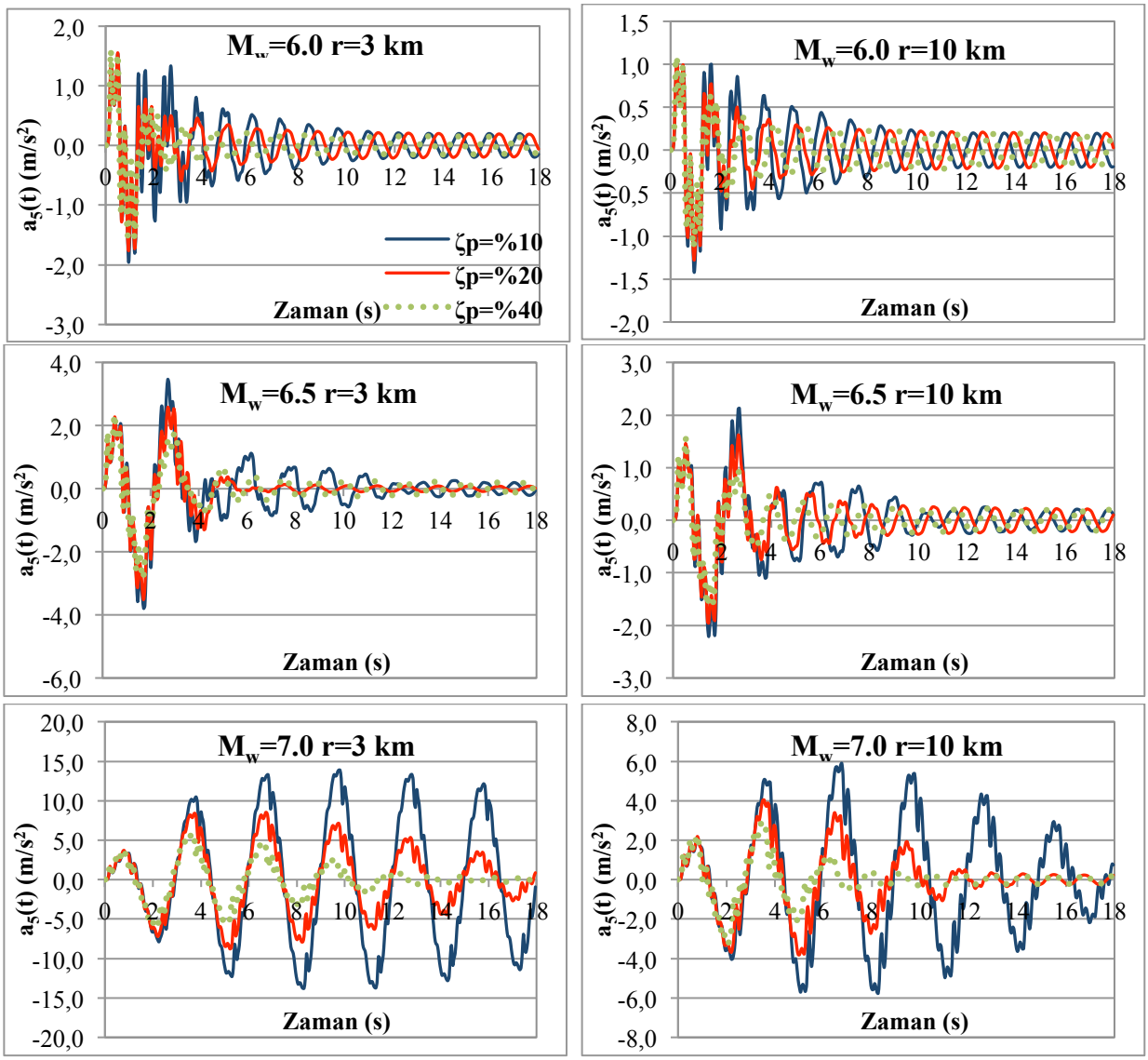
Yukarıda özetlenen bulguları rakamsal olarak ortaya koymak için $\zeta_p$=%10 için elde edilen değerleri $\zeta_p$=%40 için elde edilen değerlere oranlamak uygun olacaktır. Bu yapıldığında, $M_w$=6.0, 6.5 ve 7.5 ve faya olan her iki mesafe için, maksimum yapısal parametreler arasındaki oran ~1.0 ile ~1.5 arasında değişmekte iken; karekök ortalama değerleri için ~1.1 ile ~1.6 arasında değiştiği görülür. Öte yandan, $M_w$=7.0 (deprem puls periyodunun izolasyon periyodu ile çakıştığı durum) ve faya olan mesafe r=3 km için söz konusu oranlar, maksimum yapısal parametreleri için ~2.3 ile ~2.5 değeri arasında değişirken; karekök ortalama değerleri için ise ~4.1 değerine çıkmaktadır. Fay hattına daha uzak mesafede (r=10 km) ise, $M_w$=7.0 için söz konusu oranlar r=3 km'ye göre daha düşük olarak, maksimum yapısal parametreleri için ~1.85 ile ~2.0 arasında değişirken; ortalama karekök değerleri için de ~3.2 ile ~3.6 arasında değişmiştir.

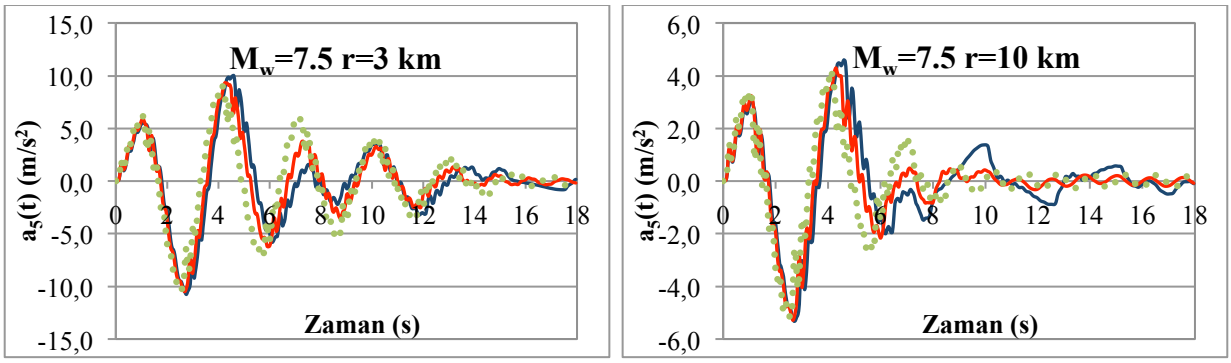
Bu çalışmada yapılan parametrik analizler ışığında, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Yakın-fay deprem hareketlerini temsil etmek üzere üretilen eşdeğer pulsların formülasyonunda yer alan deprem puls sönüm oranı $\zeta_p$'nin aldığı değerler, çok katlı sismik izolasyonlu yapıların dinamik parametreleri üzerinde etkili olmaktadır.
2. Deprem puls sönüm oranı $\zeta_p$'nin çok katlı sismik izolasyonlu yapıların dinamik cevap parametreleri üzerindeki etkisi, deprem puls periyodunun yapının izolasyon periyodu ile çakışması durumunda çok belirgin olmaktadır.

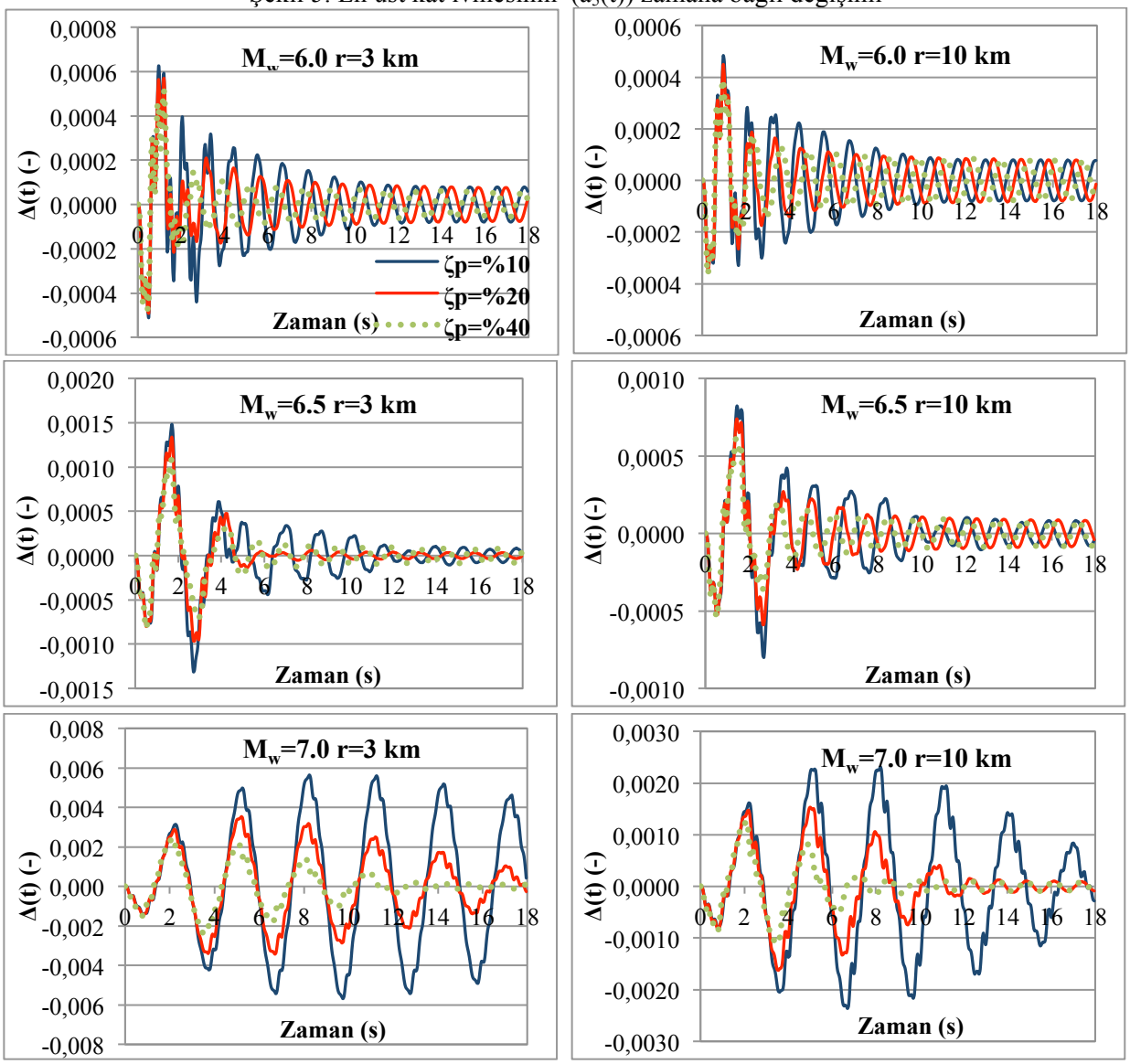
3. Deprem puls sönüm oranı $\zeta_p$ tüm kayıt boyunca etkili olduğundan, dinamik tepki parametrelerinin karekök ortalama değerlerini maksimum değerlere göre daha çok etkilemektedir.
4. Fay hattına daha yakın olan durumlarda $\zeta_p$'nin etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

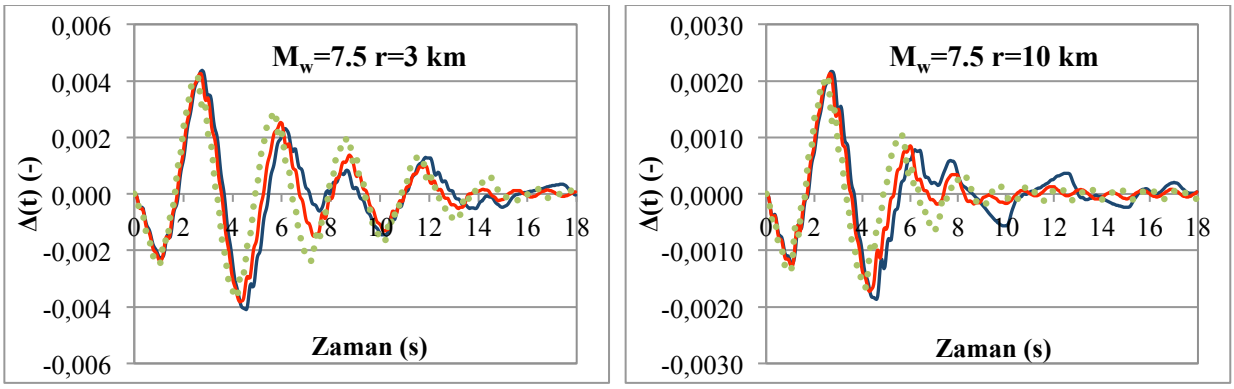
Yukarıdaki sonuçlarda genelleştirme yapabilmek için daha fazla sayıda deprem kaydı ve farklı karakteristiklere sahip izolasyon sistemi ele alınmalıdır. Bununla ilgili yazarların çalışmaları devam etmektedir.



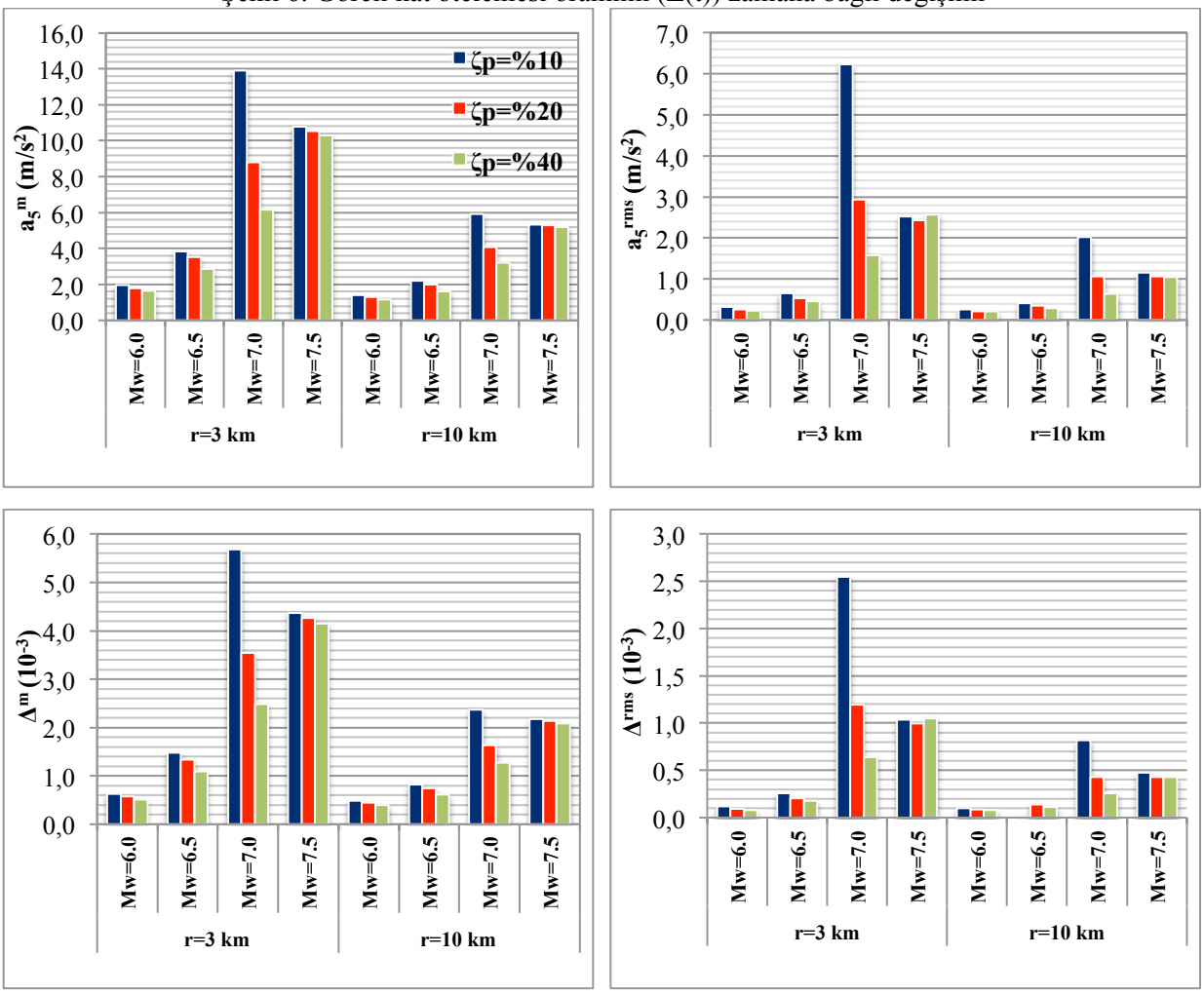


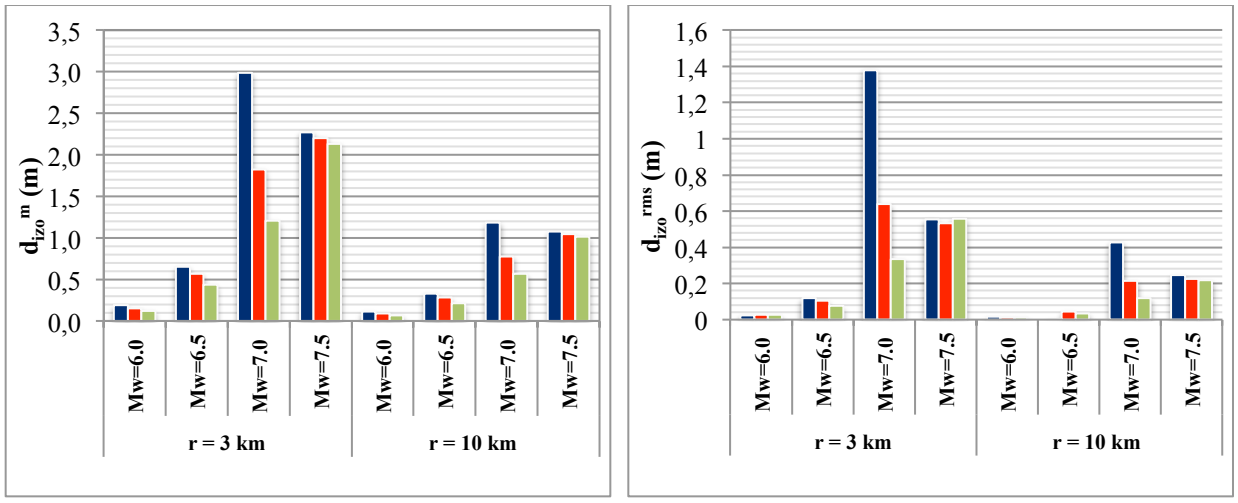

Şekil 5. En üst kat ivmesinin ($a_5(t)$) zamana bağlı değişimi






Şekil 6. Göreli kat ötelemesi oranının (Δ(t)) zamana bağlı değişimi






Şekil 7. En üst kat ivmesi, göreli kat ötelemesi oranı ve taban deplasmanına ait maksimum ve karekök ortalama değerler

## KAYNAKLAR

Agrawal, A.K. ve He, W.L. (2002). A closed form approximation of near fault ground motion pulses for flexible structures. 15th ASCE Proceeding of Engineering Mechanics Conference, 3 Haziran, New York.

Alavi, B. ve Krawinkler, H. (2000). Consideration of near-fault ground motion effects in seismic design. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland.

Alhan, C. ve Şahin, F. (2011). Protecting vibration-sensitive contents: an investigation of floor accelerations in seismically isolated buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering* **9,** 1203-1226.

Alhan, C. ve Gavin, H.P. (2005). Reliability of base isolation for the protection of critical equipment from earthquake hazards. *Engineering Structures* **27,** 1435-1449.

Bray, J.D. ve Marek, A.R. (2004). Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **24,** 815–828.

Dicleli, M. ve Buddaram, S. (2007). Equivalent linear analysis of seismic-isolated bridges subjected to near fault ground motions with forward rupture directivity effect. *Engineering Structures* **29,** 21-32.

Gazi H., Öncü-Davas, S. ve Alhan, C. (2013). Comparison of ground motion pulse models for the drift response of seismically isolated buildings. 3rd Annual International Conference on Civil Engineering, 10-13 Haziran, Yunanistan.

He, W.L. and Agrawal, A.K. (2008). An analytical model of ground motion pulses for the design and assessment of smart protective systems. *ASCE Journal of Structural Engineering* **134,** 1177-1188.

Jangid, R.S. ve Kelly J. M. (2001). Base isolation for near-fault motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **30,** 691-707.

Makris, N. (1997). Rigidity, plasticity, viscocity: can electrorheological dampers protect base isolated structures from near source ground motions? *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **26,** 571-591.

Makris, N. ve Chang, S. (2000). Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **29**, 85-107.

Matsagar, V.A. ve Jangid, R.S. (2004). Influence of isolator characteristic on the response of base-isolated structures. *Engineering Structures* **26,** 1735-1749.

Mavroeidis, G.P. ve Papageorgiou, A.S. (2003). A mathematical represantation of near-fault ground motions. *Bulletin of the Seismological Society of America* **93,** 1099-1131.

Menun, C. ve Fu, Q. (2002). An analytical model for near-fault ground motions and the response of SDOF systems. 7th US National Conference on Earthquake Engineering, 15-21 Temmuz, Boston, USA.

Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M. ve Constantinou, M.C. (1991).*3D-Basis: Nonlinear dynamic analysis of three-dimensional base isolated structures: Part II*. Techical Report NCEER-91-0005, National Center for Earthquake Engineering, State University of New York at Buffalo.
Öncü-Davas, S., Gazi, H. ve Alhan, C. (2013). Comparison of ground motion pulse models for the acceleration response of seismically isolated buildings. 3rd Annual International Conference on Civil Engineering., 10-13 Haziran, Yunanistan.

Öncü, S. ve Alhan, C. (2012). Effectiveness of seismic isolation in protecting sensitive contents against near-fault earthquakes of various magnitudes. 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, 17-19 Ekim, Türkiye.

PEER. (2005). *Pacific earthquake engineering resource center: NGA database.* Berkeley: University of California. http://peer.berkeley.edu/nga/ [31 Mayıs 2013].

Providakis, C.P. (2009). Effect of supplemental damping on LRB and FPS seismic isolators under near-fault ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **29,** 80-90.

Sommerville, P.G. (1998). Development of an improved representation of near-fault ground motions. SMIP98 Proceedings, 15 Eylül, Oakland, USA.