



DÜŞÜK VE ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BİNALARDA ÇEKİÇLEME ETKİSİ

Muhammet KAMAL ^{1,*}, Bayram Tanık ÇAYCI ¹, Mehmet İNEL ¹

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye

ÖZET

Yetersiz boşluk mesafesine sahip komşu binaların kuvvetli yer hareketi etkisi ile çarpışmaları sonucu performans düzeyleri önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Çekiçleme etkisi olarak adlandırılan bu yapısal düzensizlik, farklı dinamik karakterlerdeki yapılarda birçok hasara hatta toptan göçmelere neden olabilmektedir. Ülkemizde konut stokunun önemli bir kısmını oluşturan düşük ve orta yükseklikteki birçok yapının, bitişik nizam olarak ya da yetersiz boşluk mesafesi ile inşa edilmesinden dolayı çarpışma potansiyeli bulunmaktadır. Bu yapıların sismik performanslarının doğru bir şekilde ortaya konulması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, çekiçlemenin düşük ve orta katlı mevcut yapıların sismik performansı üzerindeki etkilerinin zaman tanım alanında dinamik analizlerle belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, bina modelleri oluşturulurken 1975 ve 1998 Deprem Yönetmelikleri olmak üzere iki farklı yönetmelik dikkate alınmıştır. Yapılan envanter çalışması sonucunda yaklaşık 500 binanın ortalamasını yansıtacak şekilde oluşturulan 4 ve 7 katlı betonarme bina modellerinde doğrusal olmayan davranışı yansıtabilmek için kolon ve kiriş uçlarında plastik mafsallar tanımlanmıştır. Üç boyutlu (3-B) olarak modellenen 4 ve 7 katlı bina modelleri kat seviyelerinden doğrusal link (gap) elemanlar ile birbirlerine bağlanarak ikili bina modelleri üretilmiştir. Çarpışmanın görülmediği referans ikili modeller arasında 400 mm boşluk mesafesi bırakılırken, yetersiz boşluk oranının temsil edildiği ikili modellerde ise 0 ve 20 mm mesafe bırakılmıştır. Yapılan dinamik analizler sonucunda, çekiçlemeden dolayı bina modellerinin sismik performansları ciddi oranda etkilenmiştir. Birçok ivme kaydı için modellerin deplasman taleplerinde yönetmelik sınırlarının aşıldığı ve çarpışmanın etkisi ile ani talep değişimlerinin görece kat ötelenme oranlarında ciddi değişimlere neden olduğu görülmüştür. Çalışma, çekiçleme etkisi göz önüne alınmadan mevcut yapıların sismik performanslarının uygun bir şekilde değerlendirilmesinin mümkün olmadığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sismik performans, Düşük ve orta yükseklikte betonarme binalar, Çekiçleme, Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, Dinamik analiz

EFFECTS OF POUNDING IN LOW AND MID-RISE BUILDINGS

The seismic performance levels of adjacent buildings with inadequate separated distance can be affected significantly as a result of collision with strong ground motion. This structural irregularity, known as pounding, can cause many damage or collapse in structures with different dynamic characteristics. Important portion of low and mid-rise buildings in our country has inadequate separations having lateral collision potential during earthquakes. The proper evaluation of seismic performance of such buildings is an extremely important issue. This study aims to investigate the effects of pounding on seismic behavior of adjacent low and mid-rise reinforced concrete buildings using nonlinear time history analysis. The low and mid-rise reinforced concrete buildings are reflected using average structural and geometrical properties of existing building stock of 4- and 7-story buildings designed per 1975 and 1998 Turkish Earthquake Codes (TEC). Beam and column elements are modelled as nonlinear frame elements with lumped plasticity by defining plastic hinges at both ends of beams and columns. The link elements are used to connect the adjacent 4- and 7-story buildings. The separation distance between adjacent buildings is selected as 0 and 20 mm, and 400 mm. The "0" and "20" mm gaps reflect inadequate separation between adjacent buildings while the "400" mm gap is used for the reference building without collision. A set of earthquake records is used for dynamic analysis. The outcome of dynamic analysis shows that the pounding seriously affects seismic performance of existing buildings. Displacement demands exceed Turkish Earthquake Code limits in most of the earthquake records. The impact of the collision and sudden changes in demands causes serious changes in interstory drift ratios. It is also clear that the proper seismic performance evaluation of adjacent buildings is not possible without consideration of pounding effect.

Keywords: Seismic performance, Low and mid-rise reinforced concrete buildings, Pounding, Nonlinear time history analysis, Dynamic analysis

1. GİRİŞ

Mimari ve ekonomik gerekçelerle ülkemiz konut stokunun önemli bir kısmını içeren şehirlerde, yapılar bitişik nizam olarak ya da yetersiz boşluk oranı ile inşa edilmektedir. Dolayısıyla, mevcut konut stokunun önemli bir kısmının bu yapısal düzensizliğe sahip olduğu söylenebilir. Bu yapıların sismik performans değerlendirmeleri, komşu binalarla olan etkileşimleri ihmal edilerek gerçekleştirilmektedir. Ancak geçmiş birçok yıkıcı depremde binalarda bu etkileşime bağlı ağır hasar oluşumu hatta toptan yıkımların gerçekleştiği gözlenmiştir [1-3]. Çekişleme etkileşimi olarak da bilinen bu davranışın mevcut yapıların sismik performansı üzerindeki etkilerinin doğru bir şekilde ortaya konması, büyük önem arz etmektedir.

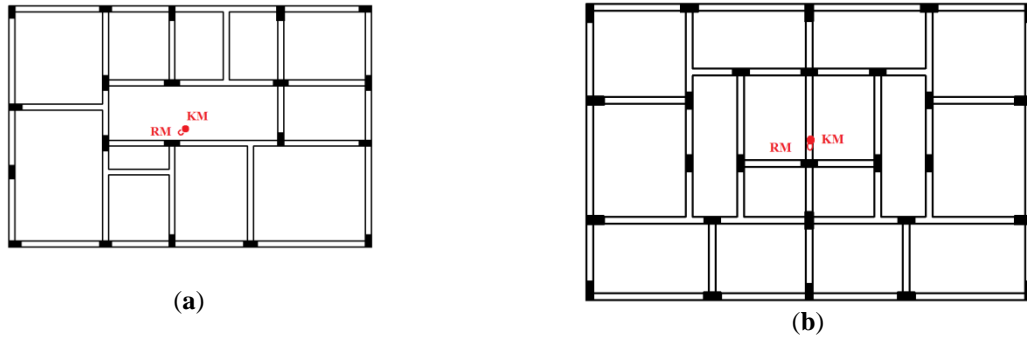
Gerçekleştirilen çalışmada yetersiz boşluk oranına sahip ya da bitişik nizamlı olarak inşa edilmiş düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalarda oluşması muhtemel çekişleme etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bina modelleri için 1975 ve 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik olmak üzere iki farklı yönetmelik dikkate alınmıştır. İnel ve diğerleri tarafından yapılan envanter çalışması sonucunda, yaklaşık 500 binanın ortalamasını yansıttak şekilde oluşturulan 4 ve 7 katlı betonarme bina modelleri üç boyutlu olarak modellenmiştir [4-6].

Çalışma kapsamında, çekişleme etkisinin yapı davranışına olan etkilerini görebilmek için 4 ve 7 katlı binalar kat seviyelerinden doğrusal link (gap) elemanlar ile birbirlerine bağlanarak ikili modeller türetilmiştir. Farklı yer ivmelerine sahip 9 deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan dinamik analizler sonucunda, deplasman talepleri, görel kat ötelenme oranları ve kesme kuvvetleri incelenerek komşu binaların sismik performansları irdelenmiştir.

2. BİNA ÖZELLİKLERİ VE YÖNTEM

2.1. Bina Modellerinin Özellikleri

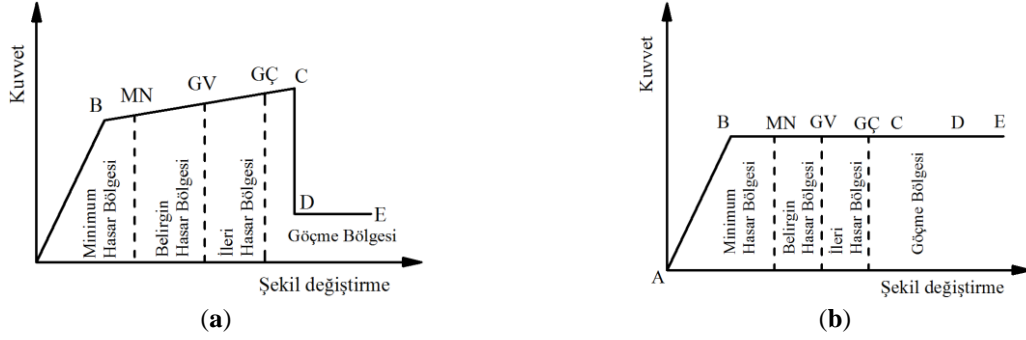
Bu çalışmada, çarpışma olasılığı muhtemel olan ve mevcut yapı stokunu temsil edeceği düşünülen orta yükseklikteki betonarme binalar göz önüne alınmıştır. Ülkemizde mevcut yapıların büyük bir çoğunluğunu oluşturan düşük ve orta yükseklikteki binalar modellenirken 4 katlı model için 1998 ve 7 katlı modelde ise 1975 Deprem Yönetmelikleri dikkate alınmıştır [4-5]. 3 boyutlu çerçeve elemanlardan oluşan modellere ait kalıp planları Şekil 1’de yer almaktadır. Perde elemanların bulunmadığı bina modellerinde ağırlık ve rijitlik merkezleri oldukça yakındır. Böylece kullanılan modeller burulma etkilerinden etkilenmemektedir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan bina modellerine ait kalıp planları (a) 4 katlı 1998 bina modeli (b) 7 katlı 1975 bina modeli

Depremin oluşturduğu eğilme etkileri ile plastik şekil değiştirmelerin görüldüğü kolon kiriş uçlarında plastik mafsallar tanımlanarak doğrusal elastik olmayan davranış modellere yansıtılmıştır. Mander

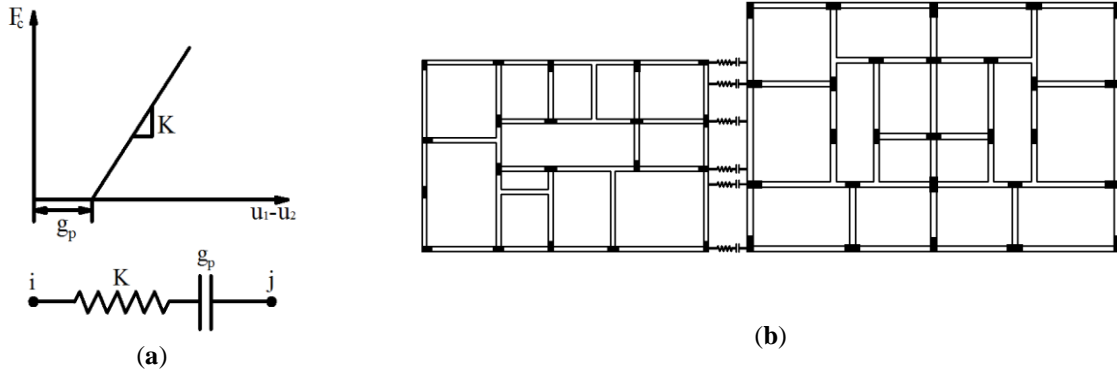
sargılı beton ve çelik malzemesine ait gerilme-şekil değiştirme modelleri kullanılarak SEMAp yazılım programı ile moment-eğrilik değerleri ve hasar sınırları her bir kesit için belirlenmiştir [7-8]. Hasar sınırları DBYBHY-2007’de belirtildiği şekilde kullanılmıştır [9]. Eğilme mafsallarına ait tipik kuvvet-şekil değiştirme grafiği Şekil 2’de verilmiştir. Çalışmada yer alan modellerde eğilme mafsallarının “C” hasar sınırını aşması durumunda dayanım değerindeki azalma dikkate alınmamıştır [10]. Plastik mafsalsal boyu DBYBHY-2007’e göre kesit derinliğinin yarısı olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. (a) Eğilme mafsalı için tipik kuvvet-şekil değiştirme grafiği (b) Göçmesiz eğilme mafsalı

2.2. Çekişleme Modellerinin Özellikleri

Çalışma kapsamında 3 boyutlu doğrusal elastik olmayan 4 ve 7 katlı bina modelleri, Şekil 3b’de görüldüğü gibi kat seviyelerinden birbirlerine bağlanmıştır. Kat seviyelerinin aynı olduğu ikili binalarda kolon akslarının uyumsuzluğu nedeniyle, bağlantı için kullanılan link elemanları bir binanın kolon elemanına bağlanırken, diğer binanın ise kiriş elemanına bağlanmıştır. İkili binalarda çarpışma etkilerini görebilmek için, binalar arasında 0 ve 20 mm boşluk mesafesi bırakılmıştır. Çarpışmanın görülmediği “referans” modellerde ise 400 mm boşluk mesafesi tercih edilmiştir. Böylece, toplamda 3 farklı boşluk mesafesine sahip ikili model oluşturulmuştur.



Şekil 3. (a) Doğrusal yay modeli ve gap elemanı (b) İkili binaya ait kalıp planı

Çalışmada kullanılan bina modelleri SAP2000 programı yardımıyla modellenmiştir. Bu modelleri ikili bina haline dönüştürmek için yine bu programda yer alan link (Gap) elemanı kullanılmıştır [11]. Doğrusal yay modelini yansıtan birleşim modelinde, binalar arası boşluk mesafesi tanımlanabilmektedir (Şekil 3a). Tanımlanan boşluk mesafesinin (g_p) aşılması durumunda, link elemanı bina modellerine kuvvet aktarabilmektedir.

İkili model oluşturmak için kullanılan kuvvet tabanlı doğrusal yay modelinin rijitliği (K); birbirine bağlanan modeller arasındaki düğüm noktalarının iç içe geçmesini önlemek amacıyla, çarpışmanın meydana geldiği ilgili elemanların aksel rijitliklerinden büyük olmalıdır [12]. Yay rijitliğinin

değerinin değişimi ile binaya etkiyen darbe kuvvetleri gerçek dışı olabilmekte ve nümerik yakınsama problemleri doğabilmektedir [13]. Rijitlik değeri, Maison tarafından 2626 kN/mm ile 8753 kN/mm aralığında seçilirken, Muthukumar' ın yaptığı çalışmada ise 4376 kN/mm (25000 kips/in) olarak tercih edilmiştir [12-13]. Bu çalışmada ise yay rijitliği, link elemanın bağlandığı elemanın kısalma deformasyonundan 35 kat daha büyük (yaklaşık 2626 kN/mm) seçilmiştir [10]. Ayrıca kat seviyelerinin eşit olduğu bina modellerinde rijit diyafram tanımlanarak çarpışma kuvvetleri o kattaki tüm yapısal elemanlara dağıtılabilmektedir [12].

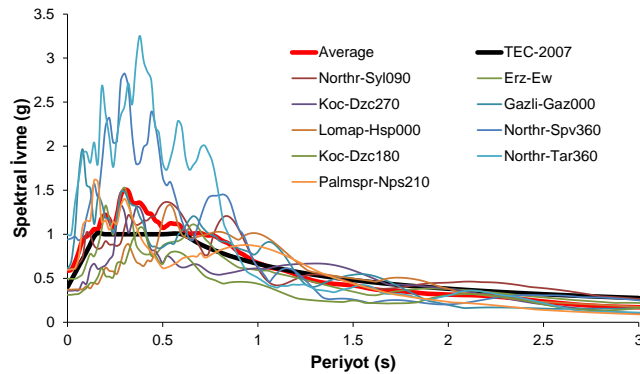
3. ZTA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ VE DEPREM İVME KAYITLARI

Yapıların sismik talep hesabında, kolay olması nedeniyle statik itme analizleri yönetmeliklerce tercih edilmektedir. Bu analiz yöntemi birinci moda ait yük deseni esas alınarak kolay uygulanabilse de, yüksek modların ihmal edilmesi ile yapıların doğrusal olmayan davranışını belirlemekte yetersiz kalmaktadır [14]. Bu sebeple, modellerin sismik davranışlarını en doğru şekilde belirleyebilmek için zaman tanım alanında (ZTA) doğrusal olmayan dinamik analiz tercih edilmiştir. Dinamik hareket denkleminin adım adım çözümünde nümerik integrasyon yöntemlerinden Newmark ortalama ivme metodu kullanılmıştır. Analizler için farklı zemin grupları ve PGA değerlerine sahip gerçek deprem kayıtları seçilmiştir.

Çalışma kapsamındaki 9 farklı deprem ivme kaydı PEER (<http://peer.berkeley.edu>) web sitesinden alınmıştır [15]. NEHRP zemin sınıflandırmasına göre C ve D grubu zeminlerin üzerinden seçilen ivme kayıtlarının yanı sıra, zemin gruplarının bakılmadığı İleri Yönlenmeli (Forward Directivity) ivme kayıtları da seçilmiştir [16]. Zaman tanım alanında dinamik analizde kullanılan ivme kayıtlarına ait özellikler Tablo 1'de, elastik ivme spektrumları ise Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te ortalama ivme spektrumu ve DBYBHY-2007'de 1. Derece deprem bölgeleri ve Z3 sınıfı zemin sınıfı için talep spektrumu gösterilmiştir. Ortalama ve deprem yönetmeliği spektrumları kullanılan kayıtların büyüklüğünün görülmesi için verilmiş olup, herhangi bir ölçekleme yapılmamıştır.

Tablo 1. İvme kayıtlarına ait özellikler

Özellik	Deprem	Tarih	İstasyon	Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	Vs30 (m/s)
C	Gazli	17.05.1976	Karakyr	0	0.608	65.4	659.6
	Loma Pri.	18.10.1989	H.S. Pine	0	0.371	62.4	370.8
	Northridge	17.01.1994	Sepulveda VA	360	0.939	76.6	380.1
D	Kocaeli	17.08.1999	Duzce	180	0.312	58.8	276.0
	Northridge	17.01.1994	Tarzana	360	0.990	113.6	257.2
	N. Palm Sp.	08.07.1986	N. Palm Sp.	210	0.594	73.3	345.4
FD	Northridge	17.01.1994	Sylmar Ol	90	0.604	78.2	440.5
	Erzincan	13.03.1992	Erzincan	EW	0.496	64.3	274.5
	Kocaeli	17.08.1999	Duzce	270	0.358	46.4	276.0



Şekil 4. İvme kayıtlarının %5 sönüm değeri için elastik ivme spektrumları

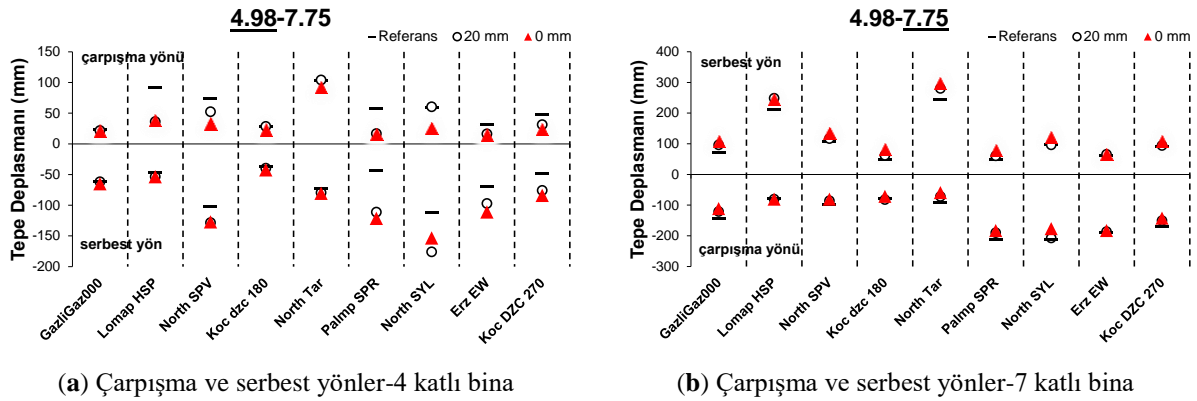
4. ANALİZ SONUÇLARI

Olası depremlerde düşük ve orta yükseklikteki bitişik binalarda çekiçlemenin, sismik performans üzerindeki etkilerinin değerlendirilebilmesi için 4 ve 7 katlı bina modelleri ele alınmıştır. Doğrusal elastik olmayan davranışa sahip 3-B modeller kullanılarak elde edilen ikili bina, 3 farklı boşluk oranı ve 9 farklı deprem kaydı için x yönünde analiz edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen çatı (tepe noktası) deplasman talepleri, göreceli kat ötelenme oranları ve yapı hasar dağılımları sağ ve sol binalar için verilmiştir. Çekiçlemenin talepler üzerindeki etkisini daha iyi belirleyebilmek için sağ ve sol binanın serbest ve çarpışma yönleri ayrı ayrı dikkate alınmıştır.

4.1. Tepe Noktası Deplasman Talepleri

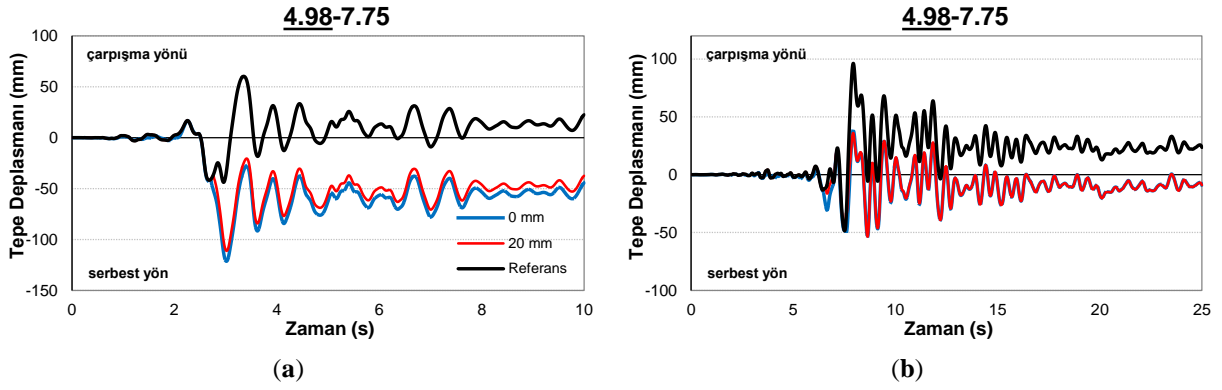
Çarpışmanın görüldüğü ikili modellerdeki binaların serbest ve çarpışma yönlerinde oluşan deplasman talepleri ile çarpışmasız modeldeki deplasman talepleri Şekil 5’te karşılaştırılmıştır. 4 katlı model, bazı ivme kayıtları ile yapılan analizlerde, talepler açısından çarpışmadan ciddi oranda etkilenmiştir. Çarpışma yönündeki deplasman talepleri sınırlanırken, serbest yöndeki taleplerde artış görülmektedir (Şekil 5a). Elde edilen bu sonuç, Hao H. tarafından yapılan çalışma ile uyumluluk göstermektedir [17]. Söz konusu durum, 7 katlı model için de tutarlı olmakla birlikte yapı ağırlığının fazla olması ile deplasman talepleri çarpışmadan daha az etkilenmiştir (Şekil 5b).

Tüm depremler için elde edilen maksimum deplasman taleplerinin ortalaması, 3 farklı boşluk mesafesine sahip ikili modeller için hesaplanmıştır. 4 katlı 0 ve 20 mm boşluklu modellerdeki ortalama deplasman talepleri, referans modele göre sırasıyla %24.19 ve %23.79 artış göstermiştir. 7 katlı modelde ise bu oranlar, -%0.75 ve %0.88 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. Sol (a) ve sağ (b) binaların çarpışma ve serbest yönlerindeki tepe noktası deplasman değerleri

Çekiçleme etkisi ile komşu binaların davranışları değişebilmektedir. Buna örnek olarak PalmSprNps210 ve LomapHsp000 ivme kayıtları ile yapılan dinamik analiz sonucu, modellerden elde edilen zamana bağlı tepe noktası deplasman grafikleri Şekil 6’da verilmiştir. 4 katlı modelin mutlak talebi, ivme kaydının yaklaşık 3. saniyesinde çarpışma etkisi ile %109.67 oranında artmıştır (Şekil 6a). Ayrıca modelde 50 mm civarında kalıcı deplasman oluşmuştur. Buna karşılık Şekil 6b’de LomapHsp000 deprem kaydı için verilen analiz sonucunda, komşu (7 katlı) binanın hareketinde kısıtlanma sebebi ile mutlak deplasman talebi %72.71 oranında azalma oluşmuştur.

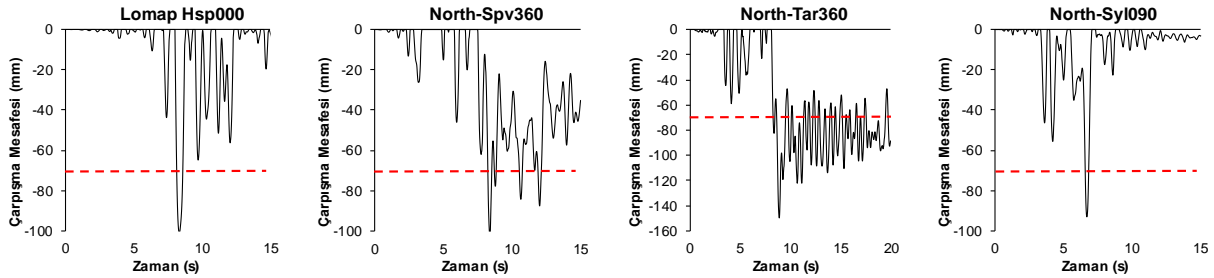


Şekil 6. PalmsprNps210 (a) ve LomapHsp000 (b) ivme kayıtları için 4 katlı modelin tepe deplasman grafikleri

4.2. Çarpışmanın Önlenmesi İçin Gerekli Boşluk Mesafeleri

Çalışmada dikkate alınan ikili modelde çarpışmanın önlenmesi için gerekli boşluk (derz) mesafesi 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik esaslarına göre belirlenmiştir. 4 katlı modeller için gerekli minimum derz mesafesi 40 mm, 7 katlı modeller için ise 70 mm olarak hesaplanmıştır. İkili modelde minimum çarpışma mesafesi için 7 katlı modele ait sınır değer olarak 70 mm dikkate alınmıştır.

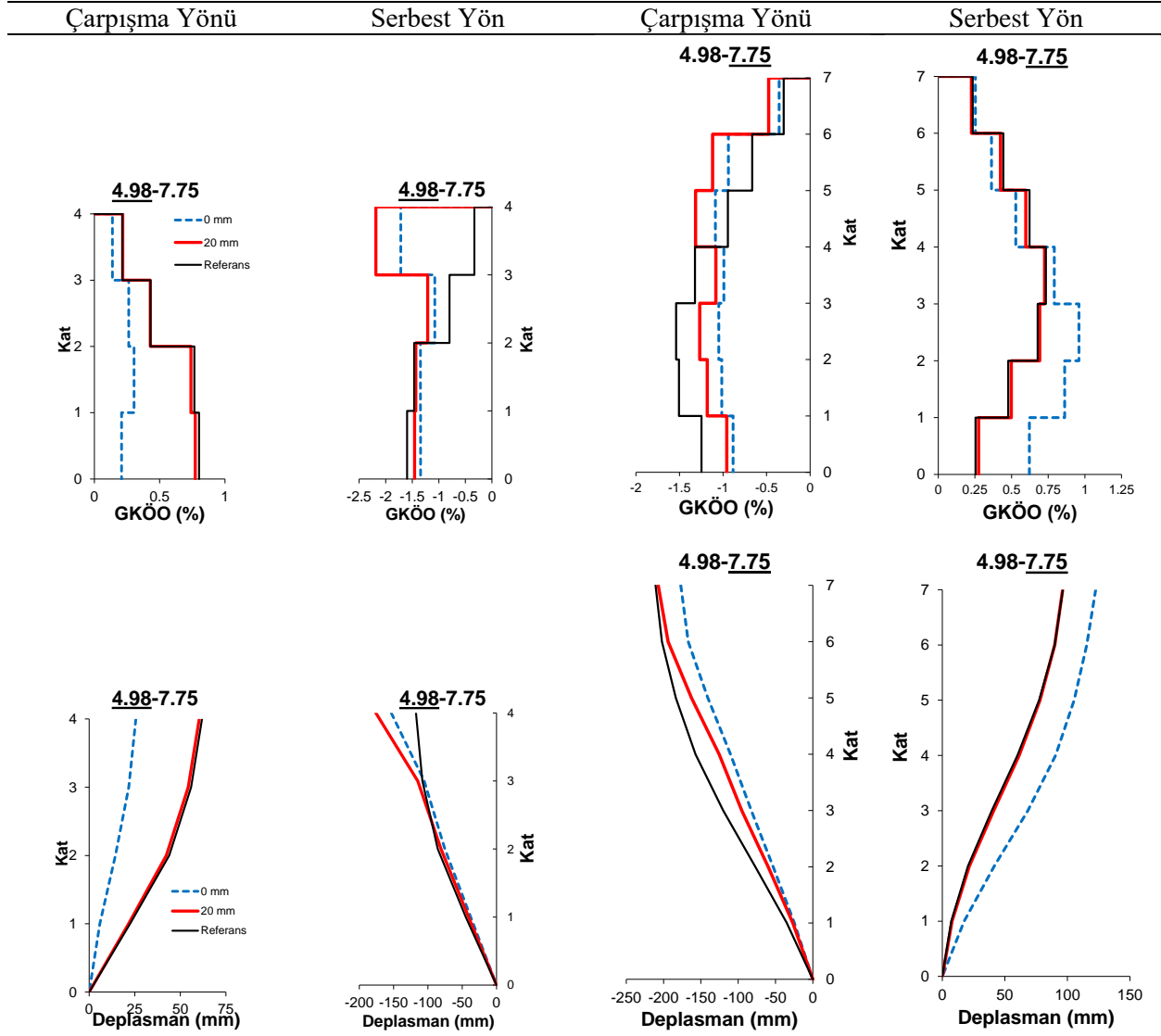
Çarpışmanın olmaması için gerekli mesafe, 400 mm boşluk mesafesine sahip referans modeldeki link elemanlardan elde edilen sıkışma miktarı olarak hesaplanmıştır. Analizler sonucunda, Şekil 7’de yönetmelik sınırlarını aşan bazı ivme kayıtlarının zamana bağlı çarpışma mesafeleri verilmiştir. NorthrTar360 ivme kaydı için bu mesafe 150 mm’ye kadar ulaşmıştır.



Şekil 7. Çarpışmanın olmaması için gerekli minimum boşluk mesafelerinin aşıldığı ivme kayıtları

4.3. Görelî Kat Ötelenme Oranları

Deprem ile katlar arası görelî yer değiştirmelerin büyük olması ikinci mertbe moment etkileri oluşturmaktadır. İlave olarak sisteme dahil olan bu ikinci mertbe moment etkileri yapıda hasarı artırıcı bir rol oynayabilir. Bu nedenle katlar arası görelî ötelenme oranları sınırlandırılmalıdır. Farklı dinamik karakterlere sahip ikili modellerde oluşan çarpışma etkilerinin Görelî Kat Ötelenme Oranları (GKÖÖ) üzerindeki değişimleri bu bölümde karşılaştırılmıştır. Şekil 8 NORTHRSYL090 deprem kaydına maruz 4 ve 7 katlı ikili modelde tepe noktası deplasmanının maksimum olduğu anda çarpışma yönü ve serbest yönde oluşan kat yükseklikleri ile normalize edilmiş GKÖ değerleri ile deplasman profillerini göstermektedir.



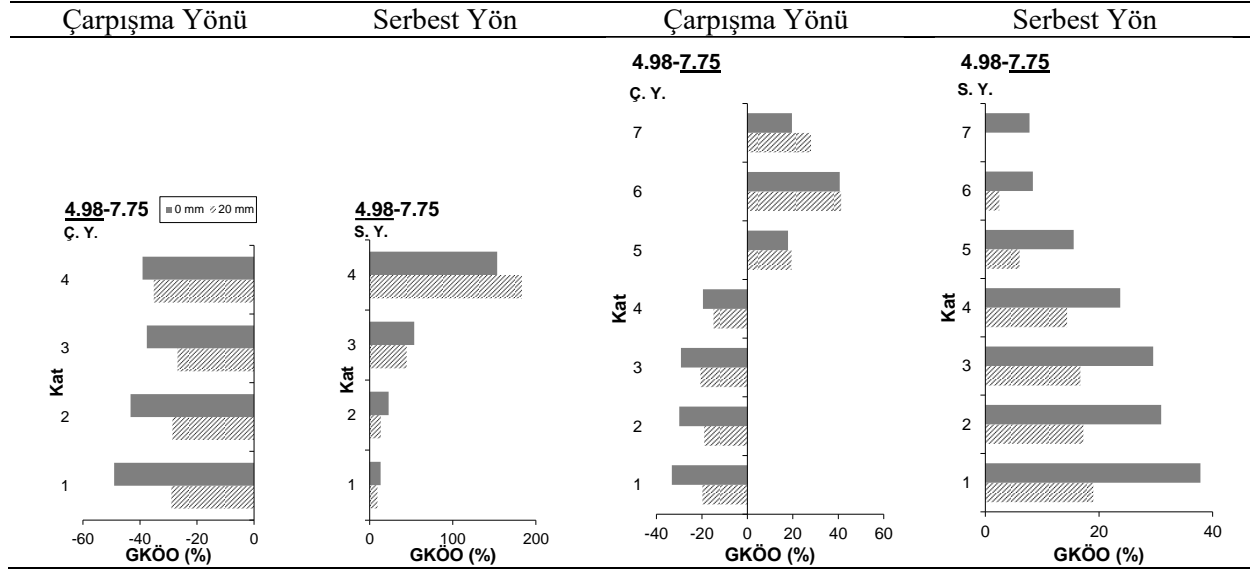
Şekil 8. NORTHRSYL090 deprem kaydı için yapılan analiz sonucunda farklı boşluk mesafelerine sahip modellerin görel kat ötelenme oranları ve deplasman profilleri

İkili modeldeki binaların çarpışma yönlerindeki talepler sınırlanırken, serbest yönlerindeki talepler artmaktadır. Şekil 8’de çarpışma etkisi ile 4 katlı binanın tepe noktası deplasman talebinde ciddi bir değişim görülmektedir. Bu talep değişiminin son katta olması ve GKÖ değerinin bu katta %2.19’a ulaşması birçok yönetmelikte verilen %2 olan sınırın aşılması anlamına gelmektedir. Dikkat çekici diğer bir nokta ise GKÖ oranındaki en yüksek artışın boşluk mesafesinin 0 mm yerine 20 mm iken oluşmasıdır. Bu durum 20 mm boşluklu modelin daha az sayıda fakat daha kuvvetli çarpışması ile açıklanabilir. Ayrıca 4 katlı binanın deplasman profili incelendiğinde, üst katlarda görülen artış ile çerçeve davranışından uzaklaşıldığı söylenebilir. 7 katlı modelde ise serbest yönde alt katlardaki GKÖ oranı değerleri çarpışma etkisi ile artış göstermiştir. Çarpışma yönünde ise çarpışma katının (4. kat) üzerindeki katlarda artış, altındaki katlarda ise azalma görülmüştür.

Çalışma kapsamında 9 farklı deprem kaydı için yapılan dinamik analizler sonucunda, sağ ve sol binaların tüm katlarındaki maksimum GKÖ oranı değerleri elde edilmiştir. Çarpışma ve serbest yönleri için ayrı ayrı dikkate alınan ikili modellerde ortalama GKÖ oranı değerleri hesaplanmıştır. Çarpışmalı (0 ve 20 mm) modellerin çarpışmasız modellerden farkları, sağ ve sol binaların çarpışma

ve serbest yönüne göre % cinsinden Şekil 9’da verilmiştir. Grafiklerde yer alan negatif değerler, çarpışma etkisi ile GKÖ oranı değerlerindeki azalmaları gösterirken, pozitif değerler artışı ifade etmektedir.

Şekil 9 incelendiğinde, GKÖ oranı değerleri çarpışma yönünde azalırken serbest yönde artmaktadır. Buna karşılık 7 katlı modelin çarpışma yönünde üst katlardaki artışı dikkat çekicidir. Bu durum, 4 katlı modelin 7 katlı modele çarpışma yönünde mesnet oluşturmasıyla açıklanabilir. Çarpışma etkisi ile 4 katlı modelin serbest yöndeki GKÖ değeri %183 oranında artış göstermiştir.

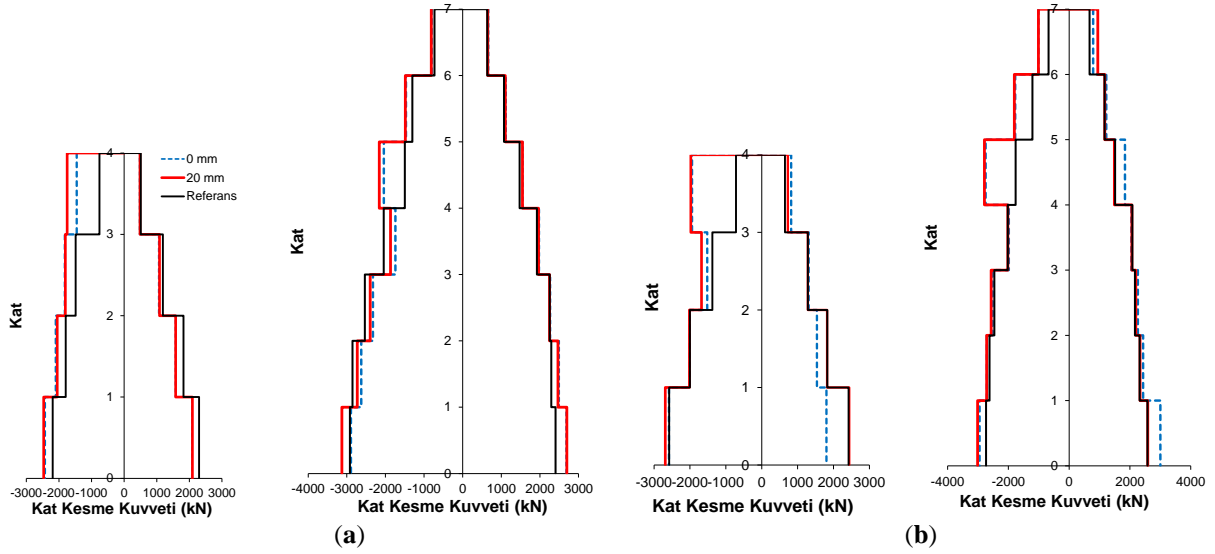


Şekil 9. İkili binaların çarpışma ve serbest yönlerindeki maksimum ortalama GKÖ değerlerinin referans binaya göre değişimi (%)

4.4. Kat Kesme Kuvvetleri

Çalışma kapsamında yer alan modellerde doğrusal elastik olmayan davranış özellikleri tanımlandığı için, çekiçlemenin şekil değiştirme talepleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Genelde akma sınırları aşıldığından dolayı modellerde oluşan etkiler plastik deformasyonlarla sönmülenebilmektedir. Buna istinaden çarpışma etkileri ile oluşan kesme kuvvetlerinin sınırlı kalabileceği söylenebilir. Çekiçlemenin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelendiği bu bölümde, kuvvet tabanlı bir karşılaştırılma yapılmamış, sadece dikkat çeken örneklere yer verilmiş ve bu örnekler Şekil 10’da gösterilmiştir.

Şekil 10 incelendiğinde, yetersiz boşluk mesafelerine sahip çarpışmalı modellerde önemli çekiçleme kuvvetleri oluşmuş ve her iki modelin kat kesme kuvvetleri olumsuz etkilenmiştir. 7 katlı modelin kat kesme kuvvetlerindeki farklar, çarpışma katının (4. Kat) üzerindeki katlarda yoğunlaşmaktadır. Literatürde kamçı etkisi (whiplash effect) olarak adlandırılan bu durum birçok çalışma ile uyumludur [17-20]. NorthrSyl090 ivme kaydı için çarpışmalı durumdaki modellerin 5. kattaki kesme değerleri, (yaklaşık 2750 kN) referans modele (1760 kN) göre %56 oranında artış göstermiştir. Aynı deprem için taban kesme kuvveti, 2735 kN değerinden 3000 kN değerine ulaşarak %9.69’ luk artış gözlenmiştir. 4 katlı modelde ise deplasman talebinin en yüksek görüldüğü 4.katta, NorthrSyl090 ivme kaydı için %177.72’ ye varan artış görülmüştür.



Şekil 10. PalmsprNps210 (a) ve NorthrSyl090 (b) deprem kayıtları için yapılan analizler sonucu modellerde oluşan kat kesme kuvvetleri

5. SONUÇLAR

Yetersiz boşluk mesafesine sahip düşük ve orta yükseklikteki binalarda, çekişlemenin sismik performans üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek için 4 ve 7 katlı bina modelleri tercih edilmiştir. Ülkemizde yer alan mevcut betonarme yapı stokunun önemli bir kısmını temsil eden bu modeller, kat seviyelerinden bağlanmak üzere 3 farklı boşluk mesafesinin bırakıldığı ikili binalar olarak modellenmiştir. Çarpışma etkilerini görebilmek için komşu binalar arasında 0 ve 20 mm boşluk bırakılırken, çarpışmanın görülmediği binaları temsil etmesi için ise 400 mm boşluk mesafesi seçilmiştir. Doğrusal elastik olmayan davranışa sahip 3 boyutlu olarak modellenen ikili binalar, 9 farklı deprem kaydı için sadece x yönünde zaman tanım alanında dinamik analizlere tabi tutulmuştur. Analizler sonucu elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir.

- Çalışma kapsamında elde edilen bulgular genelleştirilecek olursa, çekişleme etkisi ile tepe noktası deplasman talepleri binaların çarpışma yönünde sınırlanırken, serbest yönlerinde artış eğilimi göstermiştir. Farklı boşluk mesafelerine sahip olan ikili binalardan 7 katlı modelin ortalama tepe noktası deplasman talep farkı sınırlı düzeyde (%0.88) kalmıştır. Buna karşılık 4 katlı modelde ise yaklaşık %25' e varan bir artış söz konusudur. Ayrıca çarpışma etkisi ile değişen bina davranışı sonucu kalıcı deplasmanlar meydana gelebilmektedir.
- Yönetmelikte yer alan minimum derz mesafelerinin çalışma kapsamında kullanılan bazı ivme kayıtları için aşıldığı görülmüştür. Çarpışmanın önlenmesi için gerekli boşluk mesafesinin dinamik analiz yöntemleri kullanılarak araştırılmasının önemli olduğu açıkça görülmektedir.
- Farklı bina yüksekliklerine sahip ikili binalarda, görel kat ötelenme oranı (GKÖO) değerleri sismik etkiler altındaki çarpışma ile oldukça farklılık göstermektedir. 9 farklı deprem kaydı için yapılan dinamik analizler sonucunda elde edilen ortalama GKÖ oranı değerleri 4 ve 7 katlı model için dikkat çekici sonuçlara neden olmuştur. Genel olarak binaların çarpışma yönündeki talepler sınırlanırken, 7 katlı modelin çarpışma katının (4.Kat) üzerindeki katlarda, çarpışma yönünde de artışlar görülmüştür. Kamçı etkisi olarak da adlandırılan bu durum, 4 katlı modelin mesnet görevi oluşturması ile açıklanabilir. Bazı deprem kayıtları ile yapılan analiz sonucunda ise 4 katlı modelin GKÖ oranı değeri, birçok yönetmelik tarafından benimsenen %2 değerini aşabilmektedir.

- Çarpışma etkileri ile ortaya çıkan ani kuvvet değişimleri ile binalardaki kat kesme kuvvetlerinde değişimler görülebilmektedir. Artan kesme etkileri, enine donatı sıklaştırılmasının görülmediği 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik modelindeki taşıyıcı elemanlarda gevrek kırılmalara neden olabilir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, yetersiz boşluk mesafesi ile inşa edilmiş komşu binaların çarpışması, yapıların sismik davranışı üzerinde etkili rol alan bir düzensizliktir. Yapıların tasarım aşamasında bu düzensizliğin dikkate alınmaması, beklenmedik etkiler oluşturarak yapılarda ağır hasarlara neden olabilir. Ülkemizdeki mevcut betonarme yapı stokunun büyük bir bölümünde çekiçleme potansiyelinin olduğu düşünüldüğünde, çalışma sonuçları yapıların sismik performansları değerlendirilirken çekiçleme etkisinin de göz önünde bulundurulması gerektiği gerçeğini açıkça ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 214M639 numaralı TÜBİTAK Projesi, 2014FBE067 numaralı Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Rosenblueth E, Meli R. The 1985 earthquake: causes and effects in mexico city. Concrete International 1986; 8:5, 23-34.
- [2] Kasai K, Maison BF. Observation of structural pounding damage from the loma prieta earthquake. Proceedings of 6th Canadian Conference on Earth Engineering 1991; Toronto. pp. 735-742.
- [3] Youd TL, Bardet JP, Bray JD. Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999 reconnaissance report. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 2000.
- [4] ABYYHY-1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1975.
- [5] ABYYHY-1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1998.
- [6] İnel M, Şenel ŞM, Özmen HB, Kayhan AH (2009). Mevcut betonarme binaların yapısal özelliklerinin belirlenmesi. Uluslararası Sakarya Sempozyumu; 1-2 Ekim 2009, Sakarya, Türkiye.
- [7] Mander JB, Priestley MJN, Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete. ASCE Journal of Structural Engineering 1988; 114:8, 1804-1826.
- [8] SEMAp. Sargılı etkisi modelleme analiz programı. Tübitak proje no: 105M024, 2008.
- [9] DBYBHY-2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2007.
- [10] Kamal M. Mevcut bitişik binalarda çekiçlemenin sismik performans üzerindeki etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2016.
- [11] SAP2000, CSI. Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual. Computers and Structures Inc. Berkeley (CA, USA), 2010.

- [12] Maison BF, Kasai K. Analysis for type of structural pounding. *ASCE Journal of Structural Steel Engineering* 1990; 116:4, 957-975.
- [13] Muthukumar S, DesRoches R. A Hertz contact model with non-linear damping for pounding simulation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*; 2006; 35: 811-828.
- [14] Krawinkler H, Seneviratna GDPK. Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation *Engineering Structures* 1998; 20: 4-6, 452-464.
- [15] PEER Database. <http://nisee.berkeley.edu/spl/> University of California, Berkeley, 2011.
- [16] BSSC NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations For New Buildings And Other Structures, Part 1 Provisions, FEMA 450, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2003.
- [17] Hao H. Analysis of seismic pounding between adjacent buildings. *Australian Journal of Structural Engineering* 2015; 16:3, 208-225.
- [18] Maison BF, Kasai K. Dynamics of pounding when two buildings collide. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 1992; 21: 771–786.
- [19] Spiliopoulos KV, Anagnostopoulos SA. Earthquake induced pounding in adjacent buildings. *Proceedings of 10th WCEE* 1992; Madrid, Spain.
- [20] Karayannis CG, Favvata MJ. Earthquake-induced interaction between adjacent reinforced concrete structures with Non-Equal Heights. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2005; 34: 1–20.