PLANDA DÜZENSİZLİĞE SAHİP BİNALARIN DEPREM KAYNAKLI ÇARPIŞMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

M. Akköse[1] ve G. Çetinkaya[2]

[1] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon*
[2] *Yüksek İnşaat Mühendisi, GEOGİS, Kent Bilgi Sistemleri Harita ve Çevre Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti., Ankara*
Email: akkose@ktu.edu.tr

ÖZET:

Deprem sırasında farklı yer değiştirmeler yapan komşu binaların, eğer aralarında yeterli boşluk bırakılmamış ise çarpışması kaçınılmazdır. Deprem sonrası yapılan araştırmalar, binalarda meydana gelen bölgesel hasarların birçoğunun bu tür çarpışmalardan kaynaklandığını ortaya koymuştur. 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (DBYBHY), yapısal düzensizliklerden kaçınılması tavsiye edilmektedir. Ancak, kentsel gelişimin hızla artması ve buna paralel olarak konut fiyatlarındaki hızlı artıştan dolayı birçok bina, mülkiyet sınırları tamamen kullanılarak inşa edilmek zorunda kalmıştır. Bu ise, çeşitli geometrilere sahip düzensiz ve bitişik nizamda binaların inşa edilmesine sebep olmuştur. Bu çalışmada, planda düzensizliğe sahip binaların deprem kaynaklı çarpışma davranışı incelenmiştir. Binalar arasında meydana gelen çarpışma, lineer olmayan elastik yay (Hertz modeli) ile lineer viskoelastik yayın (Kelvin-Voigt modeli) birleşiminden oluşan çarpışma modeli ile temsil edilmiştir. Komşu binalar üç boyutlu kolon-kiriş sistemi olarak modellenmiş ve binalar arasındaki mesafe DBYBHY (2007) standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Analizler, 1992 Erzincan depremi dikkate alınarak SAP2000 programı yardımıyla zaman tanım alanında gerçekleştirilmiştir. Çarpışma analizleri sonucunda, binalarda oluşan yer değiştirmeler, kesit tesirleri ve çarpışma kuvvetleri incelenerek binaların çarpışma davranışı araştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Planda düzensiz binalar, çarpışma analizi, Kelvin-Voigt elemanı, boşluk elemanı.

1. GİRİŞ

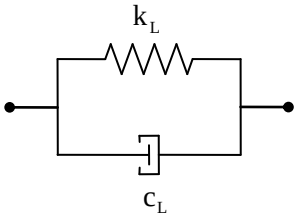
Son yıllarda yapılan çalışmalar, farklı dinamik özelliklere sahip komşu binaların deprem sırasında yaptıkları farklı yer değiştirmelerden dolayı meydana gelen çarpışma etkilerinin ihmal edilmemesi gerektiğini ortaya koymuştur (Rosenblueth ve Meli, 1986; Kasai ve Maison, 1997; Vasiliadis ve Elenas, 2002; Muthukumar, 2003; Garcia, 2004; Jankowski, 2005; Muthukumar, S. ve DesRoches, R. 2006; Jankowski, 2009). Bu çalışmalarda; çarpışmaların doğrudan binaların yıkılmasına yol açmadığı, ancak çarpışmadan dolayı yapısal elemanlarda oluşan hasarların bina davranışını önemli ölçüde etkilediği, çarpışma sırasında beklenmedik bir etkiye maruz kalan yapısal elemanların işlevlerini yitirebileceği ve yapıların bir kısmının veya tamamının yıkılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Ülkemizde yürürlükte bulunan 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (DBYBHY), yapısal düzensizliklerden kaçınılması tavsiye edilmektedir. Ancak, kentsel gelişimin hızla artması ve buna paralel olarak konut fiyatlarındaki hızlı artıştan dolayı birçok bina, mülkiyet sınırları tamamen kullanılarak inşa edilmek zorunda kalmıştır. Bu ise, çeşitli geometrilere sahip düzensiz ve bitişik nizamda binaların inşa edilmesine sebep olmuştur. Bu komşu binaların aralarında da yeterli boşluk bırakılamaması, deprem sırasında binaların çarpışmasını kaçınılmaz hale getirmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, planda

düzensizliğe sahip binaların deprem kaynaklı çarpışma davranışı incelenmiştir. Binalar arasında meydana gelen çarpışma, lineer olmayan elastik yay (Hertz modeli) ile lineer viskoelastik yayın (Kelvin-Voigt modeli) birleşiminden oluşan çarpışma modeli ile temsil edilmiştir. Komşu binalar üç boyutlu kolon-kiriş sistemi olarak modellenmiş ve binalar arasındaki mesafe DBYBHY (2007)'teki kurallara uygun olarak belirlenmiştir.

2. ÇARPIŞMA MODELİ

Bitişik binalar arasındaki çarpışmayı modellemek için genellikle elastik veya viskoelastik çarpışma elemanları kullanılmaktadır. Bununla birlikte, Kelvin-Voigt elemanı olarak bilinen viskoelastik çarpışma elemanı daha çok tercih edilmektedir. Bu model, lineer bir yaydan (k_L) ve çarpışma sırasındaki enerjiyi yutan bir viskoz sönümleyiciden (c_L) oluşmaktadır (Şekil 1). Kelvin-Voigt elemanındaki viskoz sönümleyici, binaların birbirlerine yaklaşma ve birbirlerinden uzaklaşma sırasında oluşan enerjiyi sönümler. Gerçekte enerjinin çoğu yaklaşma periyodunda açığa çıkmakta, çok az miktar enerji uzaklaşma periyodunda gözlenmektedir. Yine de Kelvin-Voigt elemanı yapısal çarpışmayı modellemek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Shakya vd., 2008).



Şekil 1. Kelvin-Voigt elemanı

Kelvin-Voigt elemanında çarpışma kuvveti aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

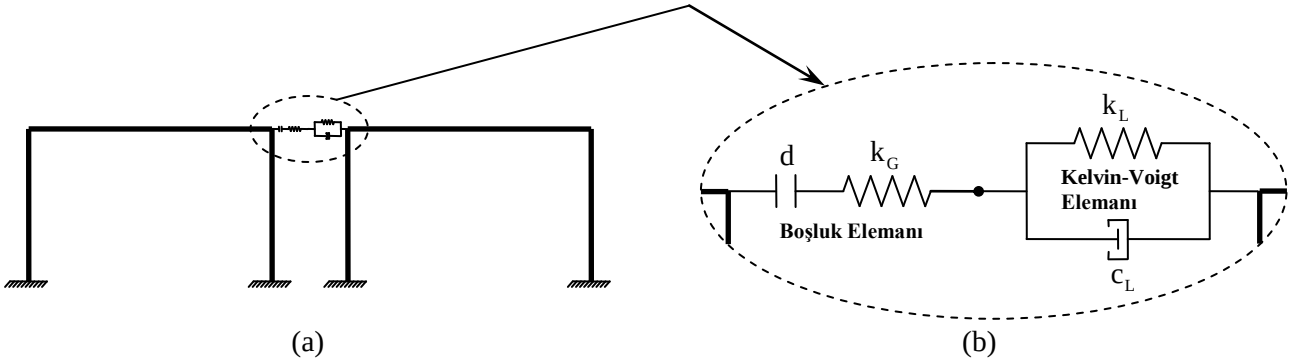
$$F_ç(t) = k_L \delta(t) + c_L \dot{\delta}(t) \tag{1}$$

burada $\delta(t)$ ve $\dot{\delta}(t)$, sırasıyla çarpışan yapısal elemanların rölatif yer değiştirmesi ve rölatif hızıdır. k_L, lineer elastik yayın rijitliğidir. c_L ise lineer sönüm sabiti olup aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

$$c_L = 2\xi\sqrt{k_L \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}} \qquad \xi = -\frac{\ln e}{\sqrt{\pi^2 + (\ln e)^2}} \tag{2}$$

burada m_1 ve m_2 çarpışan yapısal elemanların kütlelerini, ξ çarpışan kütlelerin sönüm oranını, e binaların birbirinden uzaklaşma katsayısını temsil etmektedir. Jankowski (2005) tarafından yapılan çalışmaya göre, yapısal elemanlar için beton-beton çarpışması söz konusu olduğunda $k_L = 93.500\,\text{kN/m}$ ve $e = 0{,}65$ alınmalıdır. Bu çalışmada da, bu değerler kullanılmıştır.

Bitişik binaların birbirleriyle teması ve bu temas sırasında meydana gelen kuvvetin bir binadan diğerine iletimi, yeni bir çarpışma elemanıyla sağlanabilmektedir (Şekil 2-a).



Şekil 2. a) Çarpışma elemanı yerleştirilmiş komşu iki bina b) Çarpışma elemanı

Bu çarpışma elemanı, Şekil 2-b'de görülen ve lineer olmayan elastik yay özelliği olan bir boşluk eleman (Hertz Modeli) ile Kelvin-Voigt elemanının birleşiminden oluşmaktadır. Burada boşluk elemanının görevi, binalar arasındaki boşluk kapandığında dolayısıyla binalar birbirine temas ettiğinde meydana gelen çarpışma kuvvetini iletmektir. Boşluk elemanındaki kuvvet-yer değiştirme ilişkisi aşağıdaki gibi verilmiştir;

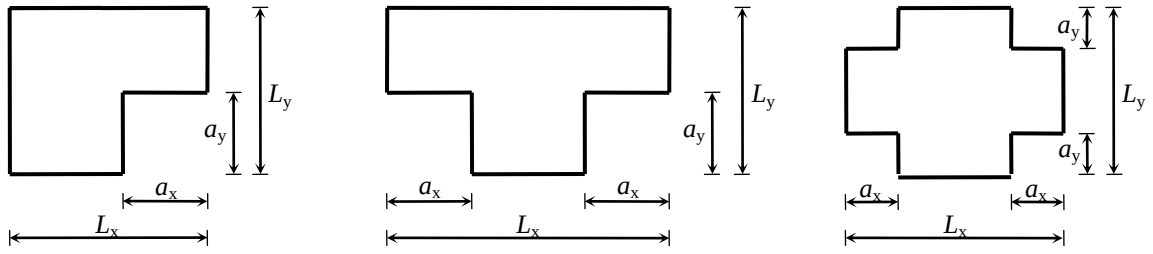
$$f_G(t) = \begin{cases} k_G\left[u(t) - d\right] & u(t) > d \quad \text{ise} \\ 0 & u(t) \le d \quad \text{ise} \end{cases} \tag{3}$$

burada $u_i(t)$ ve $u_j(t)$ komşu binaların aynı doğrultudaki yer değiştirmelerini göstermek üzere $u(t) = u_i(t) - u_j(t)$, d iki bina arasındaki boşluğu, k_G boşluk elemanındaki yayın rijitliği olup boşluk kapandığında rijit bir hareket sağlamak ve yakınsaklık hatalarının önüne geçmek için $100k_L$ alınması önerilmiştir (Ohta vd., 2006; Shakya vd., 2008).

3. SAYISAL UYGULAMA

DBYBHY (2007)'de; planda düzensizlik durumlarından "*A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması*" durumu aşağıdaki gibi verilmiştir:

> *"Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 2.3)".*



A3 *türü düzensizlik durumu:*
$a_x > 0.2\,L_x$ ve aynı zamanda $a_y > 0.2\,L_y$
Şekil 2.3

Bu çalışmada, A3 türü düzensizlik durumuna sahip binaların deprem kaynaklı çarpışma davranışı incelenmiştir. Bu amaçla, Şekil 3'te verilen üç model dikkate alınmıştır. Birinci model planda düzensizliği olmayan binalardan oluşmaktadır. Diğer iki modelde planda düzensizlik durumu dikkate alınmış ve birinci model ile karşılaştırma yapılmıştır. Tek katlı olarak tasarlanan bu modellerde planda düzensizliğe sahip soldaki binanın 2-B kolon boyutu ise 30×30cm^2 olup, diğer kolon boyutları 25×30cm^2 şeklindedir. Döşeme kalınlığı ise 10cm'dir. Sağdaki binanın bütün kolonları 100×100cm^2 boyutunda ve döşeme kalınlığı 15cm'dir. Üç modeldeki bütün kirişler 25×30cm^2 boyutunda alınmıştır.

Analizlerde betonun birim hacim ağırlığı 25kN/m^3, Poisson oranı ν = 0,20 ve sınıfı C25 alınmıştır. TS 498 "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler" yönetmeliğinden döşemelerde sabit yük g=1,5kN/m^2, hareketli yük q=2,0kN/m^2 olarak alınmıştır. Ayrıca, 6,25kN/m'lik duvar yükleri ilgili kirişlere aktarılmıştır.

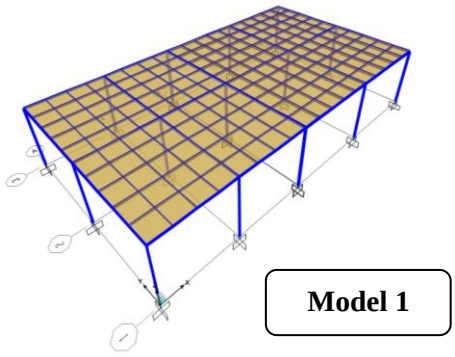
Binalar arasında meydana gelen çarpışma, lineer olmayan elastik yay elemanın (Hertz modeli) ile lineer viskoelastik yay elemanın (Kelvin-Voigt modeli) birleşiminden oluşan çarpışma modeli (Şekil 2-b) ile temsil edilmiştir. Çarpışma modelindeki binaların ve çarpışma elemanlarının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Binaların ve çarpışma elemanlarının özellikleri

	Model 1	**Model 2**	**Model 3**
m_{sol} *(kNs^2/m)*	85,33	68,13	68,13
$m_{sağ}$ *(kNs^2/m)*	149,91	149,91	149,91
ξ	0,14	0,14	0,14
k_L *(kN/m)*	93.500	93.500	93.500
c_L *(kNs/m)*	631,36	585,98	585,98
k_G *(kN/m)*	$100k_L$	$100k_L$	$100k_L$
d *(m)*	0,03	0,03	0,03

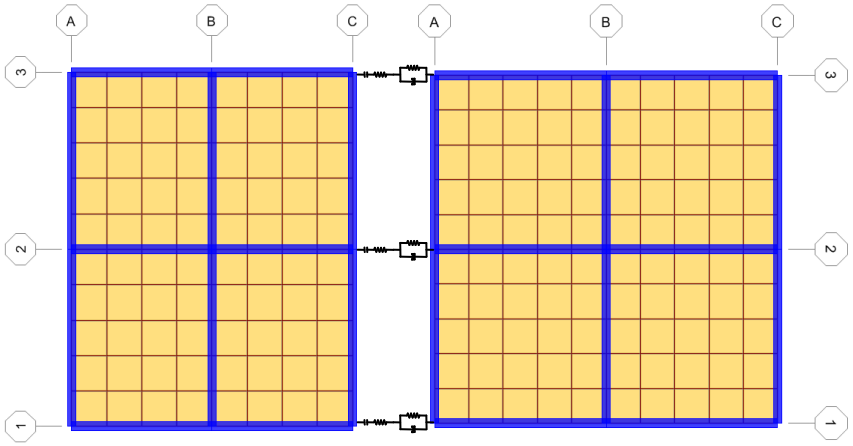
Komşu binalar üç boyutlu kolon-kiriş sistemi olarak modellenmiş ve binalar arasındaki mesafe DBYBHY (2007) kurallarına uygun olarak 3cm seçilmiştir. Analizler, 1992 Erzincan depreminin doğu-batı bileşeni dikkate alınarak SAP2000 programı yardımıyla zaman tanım alanında gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3'te görülen Model 1, Model 2 ve Model 3'teki binaların deprem kaynaklı çarpışma analizinde; yatay X-doğrultusunda yaptıkları rölatif yer değiştirmelerin zamanla değişimi karşılaştırmalı olarak Şekil 4'te, binaların birbirleriyle temas ettikleri sırada meydana gelen çarpışma kuvvetlerinin zamanla değişimi ise Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 3, her üç modelde de binaların birbirine temas ettikleri göstermektedir. Model 1'de iki defa, Model 2 ve Model 3'te ise dört defa bu temas gerçekleşmektedir. Bu temaslar sırasında meydana gelen en büyük çarpışma kuvvetinin Model 1'de 89,59kN, Model 2'de 386,88kN ve Model 3'te 317,07kN olarak gerçekleştiği Şekil 4'ten anlaşılmaktadır. Model 2 ve 3'teki düzensizlik durumunda meydana gelen çarpışma kuvveti, Model 1'deki düzensizliğin olmadığı duruma göre sırasıyla 4,32 ve 3,54 kat artmıştır. Bu ise, bitişik nizamda inşa edilen binalardan herhangi birinde planda düzensizliğin bulunması, düzensizliğin bulunmaması durumuna göre çarpışma kuvvetinin birkaç kat artarak yapısal elemanlarda hasarların oluşabileceğine, çarpışma sırasında beklenmedik bir etkiye maruz kalabilecek olan yapısal elemanların işlevlerini yitirebileceğine ve istenmeyen durumlarla karşılaşılabileceğine işaret etmektedir.

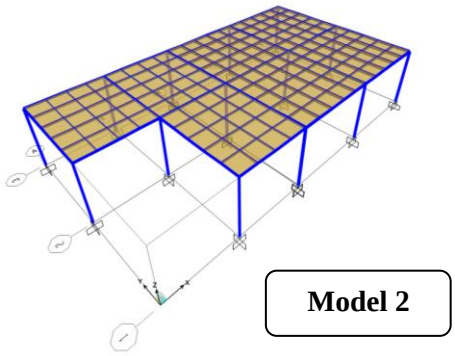


Model 1

Üç Boyutlu Görünüş

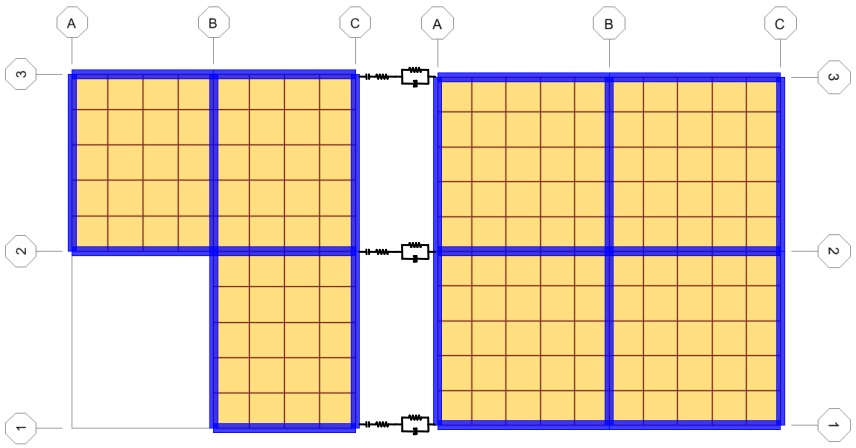


Plan

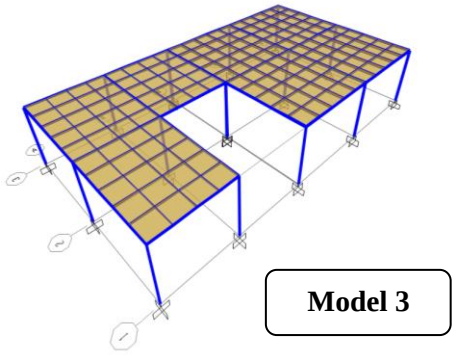


Model 2

Üç Boyutlu Görünüş

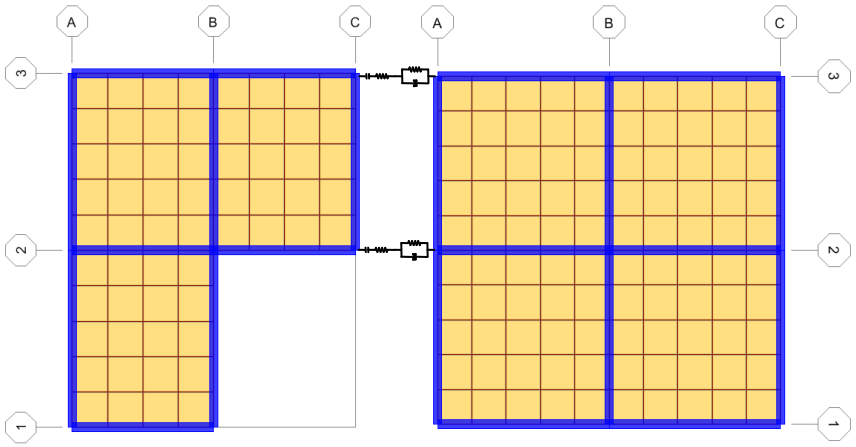


Plan



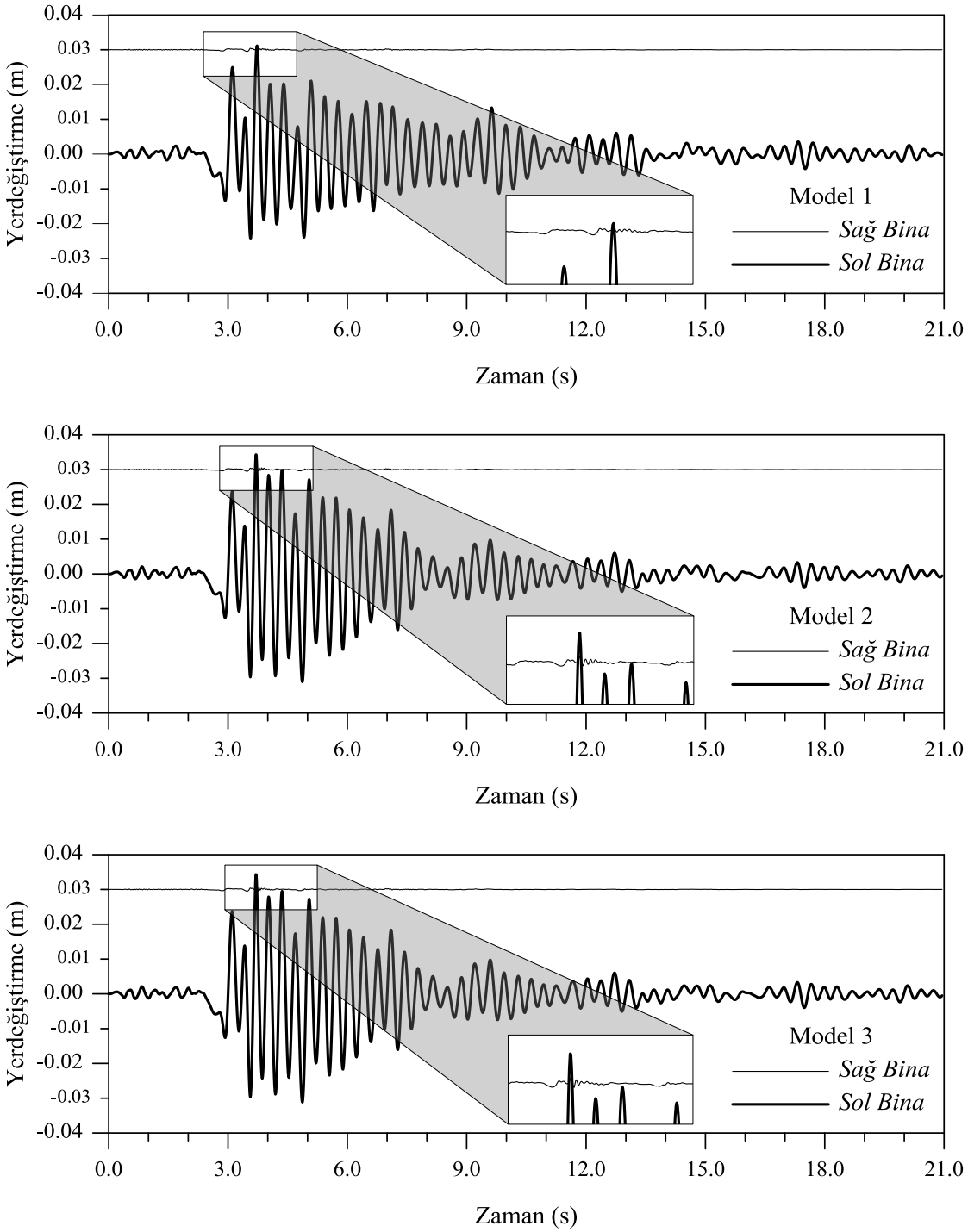
Model 3

Üç Boyutlu Görünüş

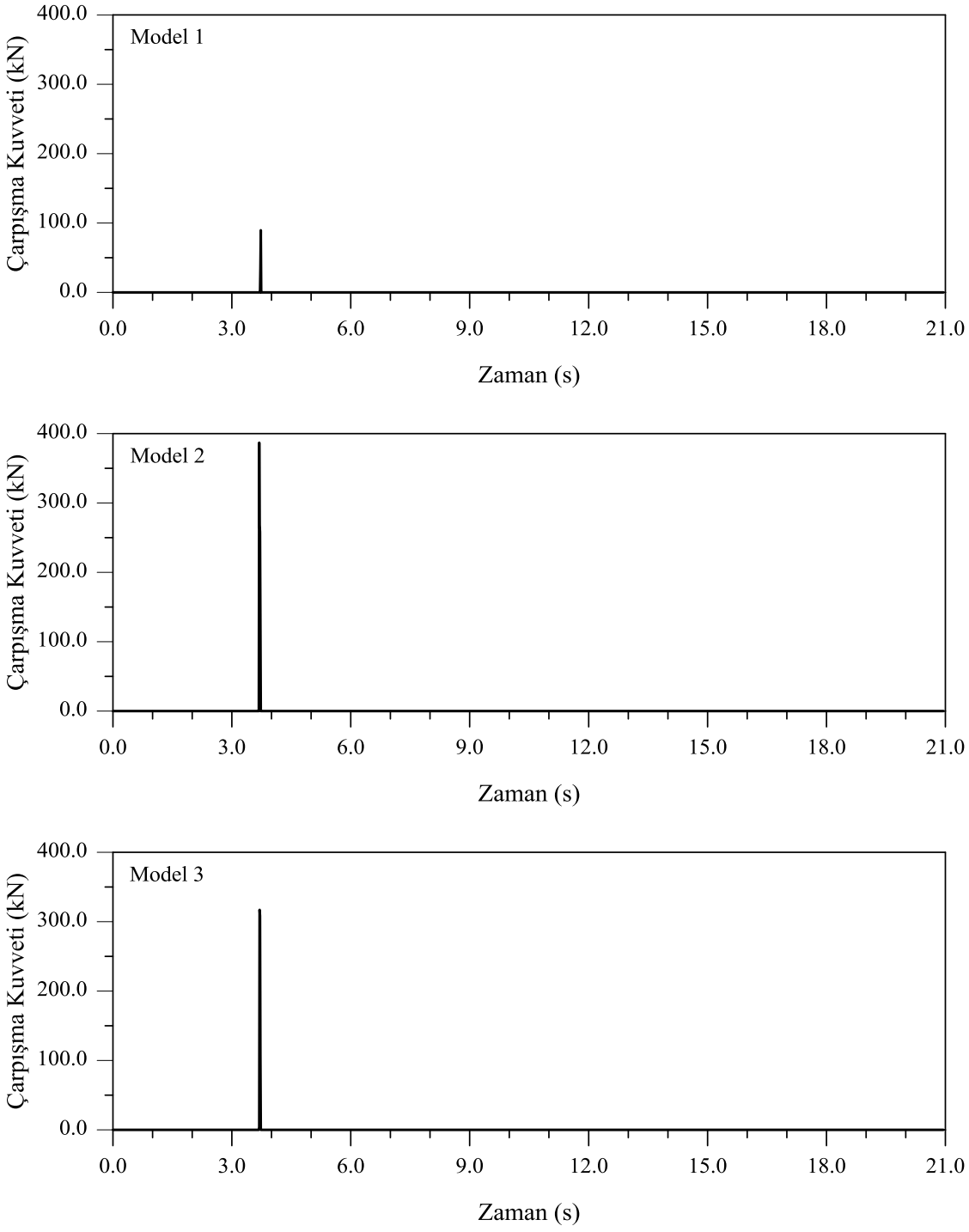


Plan

Şekil 3. Planda düzensizliğe sahip olan ve olmayan bina modellerinin üç boyutlu ve plan görünüşü



Şekil 4. Model 1, Model 2 ve Model 3'teki binaların birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri



Şekil 5. Model 1, Model 2 ve Model 3'teki binaların birbirleriyle temas ettikleri sırada meydana gelen çarpışma kuvvetlerinin zamanla değişimi

4. SONUÇLAR

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (2007), yapısal düzensizliklerden kaçınılması tavsiye edilmektedir. Ancak, kentsel gelişimin hızla artması ve buna paralel olarak konut fiyatlarındaki hızlı artıştan dolayı birçok bina, mülkiyet sınırları tamamen kullanılarak inşa edilmek zorunda kalmıştır. Bu ise, çeşitli geometrilere sahip düzensiz ve bitişik nizamda binaların inşa edilmesine sebep olmuştur. Bu çalışmada, planda düzensizliğe sahip binaların deprem kaynaklı çarpışma davranışı incelenmiştir.

Gerçekleştirilen analizler neticesinde söylenebilir ki; bitişik nizamda inşa edilen binalardan herhangi birinde planda düzensizliğin bulunması, düzensizliğin bulunmaması durumuna göre çarpışma kuvvetinin birkaç kat artarak yapısal elemanlarda hasarlar oluşabilir, bu yapısal elemanlar çarpışma sırasında beklenmedik bir etkiye maruz kalabilir ve hatta yapıların bir kısmının veya tamamının yıkılabileceği gibi istenmeyen durumlarla karşılaşılabilir.

KAYNAKLAR

DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Tarihi: 06.03.2007, Resmi Gazete Sayısı: 26454, Ankara, Türkiye.

Garcia, D.L. (2004). Separation Distance Necessary to Prevent Seismic Pounding Between Adjacent Structures, PhD Thesis, University of New York, Buffalo.

Jankowski, R. (2005). Non-linear viscoelastic modeling of earthquake-induced structural pounding, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Earthquake Engineering Structures **34**, 595-611.

Jankowski, R. (2009). Non-linear FEM analysis of earthquake induced pounding between the main building and the stairway tower of the Olive View Hospital, *Engineering Structures* **31**, 1851-1864.

Kasai K. ve Maison, B.F. (1997). Building Pounding Damage During The 1989 Loma Prieta Earthquake, *Engineering Structures* **19:3**,195-207.

Muthukumar, S. (2003). A Contact Element Approach with Hysteresis Damping For The Analysis and Design of Pounding in Bridges, In Partial Fulfillment of the Requirements, PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, Georgia.

Muthukumar, S. ve DesRoches, R. (2006). A Hertz Contact Model with Non-linear damping for Pounding Simulation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Earthquake Engineering Structures **35**,811-828.

Ohta, R., Wijeyewickrema, A.C. ve Farahani, A. (2006). End building pounding during earthquakes, Symposium on Infastructure Development and the Environment, 7-8 December, University of Philippines, Diliman, Quezon City, Philippines.

Rosenblueth, E. ve Meli, R. (1986). The 1985 earthquake: Causes and effects in Mexico City, *Concrete International* **8:5**, 23-34.

SAP2000 (2011). Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.

Shakya, K., Wijeyewickrema, A.C. ve Ohmachi, T. (2008). Mid-column seismic pounding of reinforced concrete buildings in a row considering effects of soil, 14th World Conference on Earthquake Engineering , October 12-17, Beijing, China.

Vasilliadis, L. ve Elenas, A. (2002). A performance of school buildings during the Athens earthquake of 7 September 1999, *12th European Conference on Earthquake Engineering*, 264.