# DEPREME MARUZ FARKLI YÜKSEKLİKTEKİ İKİ KOMŞU BETONARME BİNANIN ÇARPIŞMA ANALİZİ

**Gül ÇETİNKAYA[1] ve Mehmet AKKÖSE[2]**

[1] *İnşaat Yüksek Mühendisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, 61080, Trabzon*
[2] *Yrd. Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, 61080, Trabzon*
*E-mail: gl.cetinkaya@gmail.com*

**ÖZET:**

Farklı dinamik karakterlere sahip komşu binalar, deprem sırasında farklı yerdeğiştirmeler yaparlar. Komşu binalar arasında yetersiz ya da hiç boşluk bırakılmaması durumunda çarpışmalar meydana gelir. Deprem sonrası yapılan araştırmalar, binalarda meydana gelen bölgesel hasarların birçoğunun bu tür çarpışmalardan kaynaklandığını ortaya koymuştur. Bu çalışmada, kat yükseklikleri ve dinamik karakterleri (kat kütleleri ve yapısal rijitlikleri) birbirinden farklı komşu iki binanın deprem sırasındaki davranışı incelenmiştir. Binalar arasında meydana gelen döşeme-kolon çarpışması, iki ayrı model ile temsil edilmiştir. Bunlardan birincisi, lineer viskoelastik yay ile temsil edilen Kelvin-Voigt modelidir. Bu model, lineer elastik bir yaydan ve çarpışma sırasındaki enerji kaybını temsil etmesi amacıyla bir sönümleyiciden oluşmaktadır. İkincisi ise, lineer olmayan elastik yay ile temsil edilen Hertz modelidir. Binalar üç boyutlu döşeme-kolon sistemi olarak modellenmiş ve binalar arasındaki mesafe Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Analizler, 1999 Kocaeli depremi dikkate alınarak SAP2000 programı yardımıyla zaman tanım alanında gerçekleştirilmiştir. Çarpışma analizleri sonucunda, binalarda oluşan yerdeğiştirmeler, kesit tesirleri ve çarpışma kuvvetleri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çarpışma, Kelvin-Voigt modeli, Hertz modeli, Boşluk elemanı

## 1. GİRİŞ

Aynı dinamik karakterlere sahip iki ya da daha fazla binanın günümüz koşullarında yan yana inşa edilemeyeceği göz önünde bulundurulursa; aralarında yetersiz ya da hiç boşluk bırakılmayan farklı dinamik karakterlerdeki komşu binaların deprem sırasında yapacakları farklı yerdeğiştirmeler sonucunda meydana gelebilecek çarpışmaların etkileri ihmal edilmemelidir. Nitekim 1964 yılında meydana gelen Great Alaska depremi sırasında iki ayrı binada çarpışma etkisi görülmüştür. Anchorage-Westward Hotel'i ve West Anchorage Lisesinde çarpışmadan dolayı orta derecede hasarların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Her iki yapıda genleşme derzleriyle ayrılarak inşa edilmiş ve çarpışma olayının da bu derzler arasında meydana geldiği belirtilmiştir. Ancak Anchorage-Westward Hotel'inde meydana gelen çarpışmanın yükseklikleri birbirinden farklı (14 katlı-3 katlı) bölümler arasında oluştuğu gözlemlenmiştir (Muthukumar, 2003).
1971 yılında meydana gelen San Fernando depremi sırasında Olive View Hastanesinin ana binasıyla ondan bağımsız olarak tasarlanıp inşa edilen ek bina (Stairway Tower) arasında meydana gelen çarpışmada, çarpışmanın ek binanın kalıcı olarak $5^o$ eğilmesine yol açtığı tespit edilmiştir (Jankowski, 2009).
1972 yılında meydana gelen Managua (Nicaragua) depremi sırasında beş katlı bir otelin her iki tarafındaki iki katlı komşu binalarla çarpışması sonucu üçüncü katının yıkıldığı belirtilmiştir (Garcia, 2004). Altı katlı bir diğer binanın, iki katlı komşu binayla çarpışması sonucunda çarpışma bölgesinde çeşitli hasarların meydana geldiği görülmüştür.
1981 yılında meydana gelen Central Greece depremi sırasında çarpışmadan dolayı komşu binalarda çeşitli hasarların meydana geldiği görülmüştür. Önemli hasarların hemen hemen hepsinin kolon-döşeme çarpışması sonucu meydana geldiği belirtilmiştir. Aynı sırada inşa edilmiş binalardan en dışta kalan iki binada çarpışma hasarlarının meydana geldiği tespit edilmiştir (Garcia, 2004).
1985 yılında meydana gelen Mexico City depremi sırasında hasar gören binaların %40'ının çarpışmaya maruz kaldığını, yıkılan binalarında %15'inde çarpışma izlerinin bulunduğu Rosenblueth ve Meli (1986)

tarafından belirtilmiştir. Mexico City depreminin çarpışmadan dolayı yapılarda meydana gelen hasarların en çok görüldüğü deprem olduğu vurgulanmıştır.
1989 yılında meydana gelen Loma Prieta depremi sırasında 200'den fazla çarpışma olayının meydana geldiğini ortaya koyan Kasai ve Maison (1997), buna bağlı olarak 500'den fazla binanın etkilendiğini belirtmişlerdir. Etkilenen bu binaların merkez üstünden 90km uzaklıkta olduğunu vurgulayarak daha yakın çevrede meydana gelebilecek depremlerin yol açacağı çarpışma hasarlarının daha büyük boyutlara ulaşacağını ortaya koymuşlardır. Deprem sırasında oluşan çarpışma hasarları; farklı kat yüksekliğine sahip binaların döşeme-kolon çarpışma hasarları, tek tip binaların aralarında boşluk bırakılmadan inşa edilmesi sonucu oluşan çarpışma hasarları ve aynı sırada inşa edilmiş bina gruplarından en dışta kalan binalarda görülen çarpışma hasarları şeklindedir.
1999 yılında meydana gelen Atina depremi sonrasında genleşme derzleriyle bölünmüş bir okul binasının çatı parapetlerinin birbirleriyle çarpışması sonucu hasarların meydana geldiği görülmüştür (Vasiliadis ve Elenas, 2002).
1999 yılında Türkiye'de meydana gelen Kocaeli depremi sırasında oluşan çarpışma hasarları, çoğunlukla farklı kat yüksekliklerine sahip iki komşu binanın döşeme-kolon çarpışmalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Aynı sırada inşa edilmiş bina gruplarında kenar binalar da çarpışma hasarlarının olduğu gözlemlenmiştir. Aynı deprem sırasında Gölcük'teki altı katlı bir binanın iki katlı komşu binayla çarpışması sonucu altı katlı binanın üçüncü kat döşemesi üzerinde kalan kolonun büyük ölçüde hasar gördüğü ve iki katlı binanın da ikinci kat kolonlarında oluşan büyük kesme kuvvetleri sonucu yıkıldığı ortaya konmuştur (Muthukumar, 2003). Bazı viyadüklerdeki tabliye derzlerinde de çarpışma kaynaklı hasarların oluştuğu gözlemlenmiştir.
Yapılan araştırmalar sonucunda, çarpışmanın doğrudan binaların yıkılmasına yol açmadığı, ancak çarpışmadan dolayı yapısal elemanlarda oluşan hasarların bina davranışını önemli ölçüde etkilediği, tasarım sırasında dikkate alınan kesit etkilerinin de buna paralel olarak değiştiği ortaya konmuştur. Çarpışma sırasında beklenmedik bir etkiye maruz kalan yapısal elemanların işlevlerini yitirebileceği dolayısıyla yapıların bir kısmının ya da tamamının yıkılabileceği belirtilmiştir. Bu sebeple, bu çalışmada farklı kat yüksekliğine sahip biri esnek diğeri rijit iki komşu binanın, 1999 Kocaeli depremi etkisi altında oluşabilecek çarpışmalar sırasındaki dinamik davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. ÇARPIŞMA MODELLERİ

### *2.1. Kelvin-Voigt Modeli (Lineer Viskoelastik Yay Modeli)*

Bu model, lineer bir yaydan ($k_L$) ve çarpışma sırasındaki enerji kaybını temsil etmesi için de bir sönümleyiciden ($c_L$) oluşmaktadır. Yayın i ve j uçlarının tanımlandığı doğrultudaki rölatif yerdeğiştirmeleri sonucu kuvvet aktarımı başlamaktadır. Dolayısıyla lineer viskoelastik yay tüm deprem süresince kuvvet aktarmaktadır. Çarpışma kuvveti; $u(t) = u_i(t) - u_j(t)$ ve $\acute{u}(t) = \acute{u}_i(t) - \acute{u}_j(t)$ olmak üzere aşağıdaki şekilde temsil edilmektedir;

$$F_ç = k_L\, u(t) + c_L\, \acute{u}(t) \qquad u(t) \geq 0 \qquad \text{(çarpışmanın olduğu durum)} \qquad (1a)$$

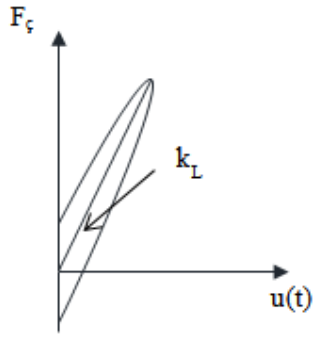
$$F_ç = 0 \qquad u(t) < 0 \qquad \text{(çarpışmanın olmadığı durum)} \qquad (1b)$$

Burada; $u_i(t)$ ve $u_j(t)$ komşu binaların aynı doğrultudaki rölatif yerdeğiştirmeleri, $c_L$ lineer sönüm sabitini, $\acute{u}_i(t)$ ve $\acute{u}_j(t)$ komşu binaların aynı doğrultudaki rölatif hızlarını, $k_L$ lineer elastik yay sabitini ve $F_ç$ çarpışma kuvvetini temsil etmektedir. Lineer sönüm sabiti ve sönüm oranı ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

$$c_L = 2\xi \sqrt{k_L \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}} \qquad (2)$$

$$\xi = \frac{\ln e}{\sqrt{\pi^2 + (\ln e)^2}} \qquad (3)$$

Burada; $m_1$ ve $m_2$ çarpışan elemanların kütlelerini, $\xi$ çarpışan kütlelerin sönüm oranını, e çarpışma katsayısını temsil etmektedir. Kelvin-Voigt modelinde çarpışma kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişki Şekil 1'de verilmiştir (Muthukumar ve DesRoches, 2006).




Şekil 1. Lineer viskoelastik yay modelinde çarpışma kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişki.

Bu modelde, yay ve sönüm katsayısı lineer değiştiğinden hesaplamalarda büyük kolaylık sağlamaktadır.

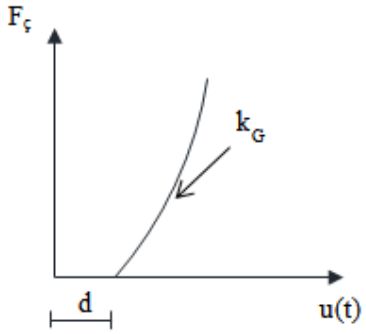
### *2.2. Hertz Modeli (Lineer Olmayan Elastik Yay Modeli)*

Bu modelde çarpışma kuvveti ile yerdeğiştirme ilişkisini temsil edebilmek için Hertz temas yasasından yararlanılmıştır. Lineer olmayan elastik yay, binalar arasındaki boşluğun (d) kapanmasıyla devreye girmektedir. Çarpışma kuvveti, $u(t) = u_i(t) - u_j(t)$ olmak üzere aşağıdaki şekilde temsil edilmektedir;

$$F_ç = k_G\ [u(t) - d]^{3/2} \qquad u(t) - d > 0 \qquad \text{(çarpışmanın olduğu durum)} \qquad (4a)$$

$$F_ç = 0 \qquad u(t) - d \leq 0 \qquad \text{(çarpışmanın olmadığı durum)} \qquad (4b)$$

Burada; $u_i(t)$ ve $u_j(t)$ komşu binaların aynı doğrultudaki rölatif yerdeğiştirmeleri, d iki bina arasındaki boşluğu, $k_G$ lineer olmayan elastik yay sabitini, $F_ç$ çarpışma kuvvetini temsil etmektedir. Lineer olmayan elastik yay modelinde çarpışma kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişki Şekil 2'de verilmiştir (Muthukumar ve DesRoches, 2006). Hertz modelinde yayın tamamen elastik çalışması söz konusudur.

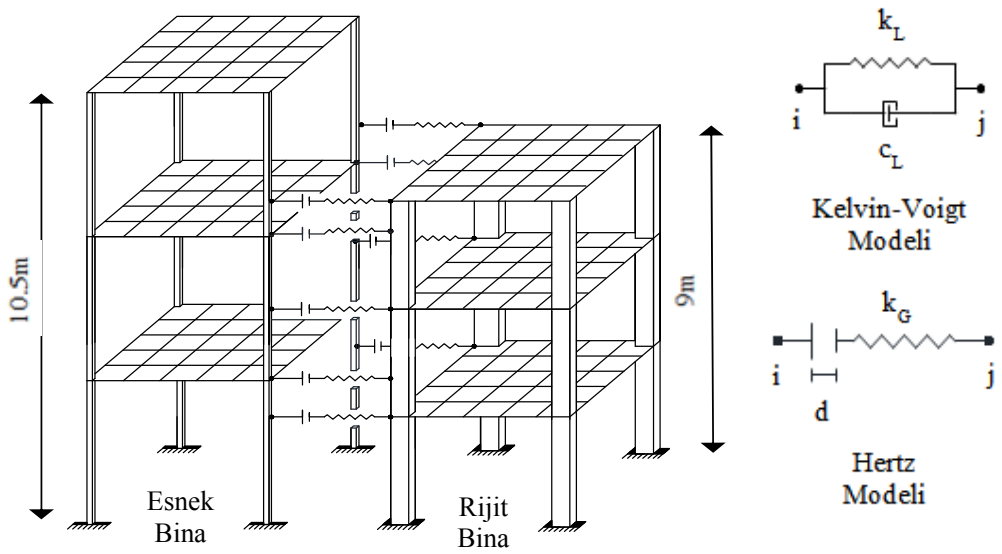



Şekil 2. Lineer olmayan elastik yay modelinde çarpışma kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki ilişki.

## 3. SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada, farklı kat yüksekliğine sahip biri esnek diğeri rijit iki komşu binanın, 1999 Kocaeli depremi etkisi altında oluşabilecek çarpışmalar sırasındaki dinamik davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Binaların taşıyıcı sistemi TS500 (2000)'de belirtilen minimum değerler göz önüne alınarak döşeme-kolon sistemi şeklinde tasarlanmıştır. Binalar arasındaki çarpışma, Kelvin-Voigt ve Hertz modeli olmak üzere iki farklı yay modeli ile ayrı ayrı temsil edilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi çarpışmanın bina kat seviyeleri

hizasında; yani döşeme-kolon çarpışması şeklinde meydana geldiği göz önüne alınmıştır. Buna bağlı olarak 12 adet yay eleman, çarpışmanın meydana gelebileceği tüm noktalara yerleştirilmiştir.




Şekil 3. Komşu binalar arasında tanımlanan çarpışma modelleri

Binalar arasındaki boşluk DBYBHY (2007)'de konu ile ilgili açıklamanın 2.10.3.2. maddesine göre; 10.5m bina yüksekliği için d = 4cm alınmıştır. Her iki bina modeli için yapısal özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bina modellerinin yapısal özellikleri

| Yapısal Özellikler | Kat Kütleleri m [kg] | Kat Yükseklikleri H [m] | Kolon Boyutları bxh [$m^2$] |
|---|---|---|---|
| Esnek Bina | 5325 | 3.5 | 0.3x0.3 |
| Rijit Bina | 19687 | 3 | 1x1 |

Tasarlanan çarpışma modellerindeki yay rijitlikleri, Jankowski (2005)'te tespit edilmiş olan deneysel değerler göz önünde bulundurularak Tablo 2'de belirtilmiştir. Kelvin-Voigt modelindeki sönüm değeri ise beton-beton çarpışmaları için tespit edilmiş olan sönüm oranı $\xi = 0.14$ ve çarpışma katsayısı $e = 0.65$'e bağlı olarak hesaplanmıştır. İki farklı döşeme-kolon çarpışması söz konusu olduğundan, çarpışan elemanların kütleleri göz önüne alınarak hesaplanan iki farklı sönüm değeri $c_{L1} = 1.51x10^5$ kg/s ve $c_{L2} = 0.74x10^5$ kg/s şeklindedir.

Tablo 2. Bina modellerinin ve yay elemanlarının özellikleri

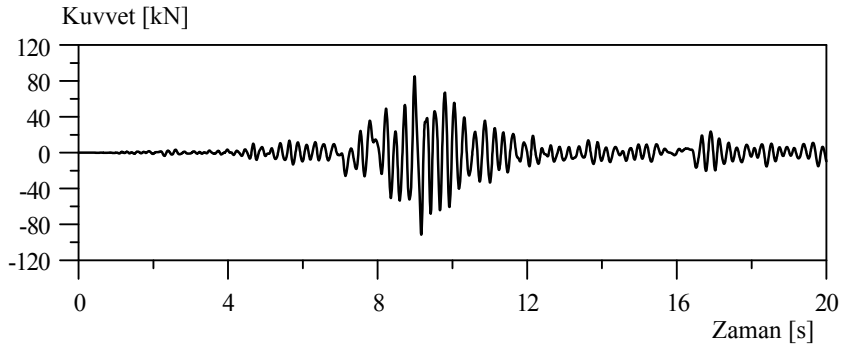
| Malzeme Özellikleri (C20) | Hertz Modeli (Lineer Olmayan Elastik Yay) | Kelvin-Voigt Modeli (Lineer Viskoelastik Yay) |
|---|---|---|
| Elastisite Modülü $E_c = 2.8x10^{10}$ N/$m^2$ | $k_G = 1.13x10^9$ N/$m^{3/2}$ | $k_L = 9.35x10^7$ N/m |
| Poisson Oranı $\nu = 0.2$ | | |
| Kütle Yoğunluğu $\rho = 2500$ kg/$m^3$ | | |

Dinamik analizler, 1999 yılında gerçekleşen Kocaeli depreminin (PGA = 0.358g) ivme-zaman verileri (URL-1, 2011) kullanılarak SAP2000 programı yardımıyla Zaman Tanım Alanında Mod Süperpozisyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

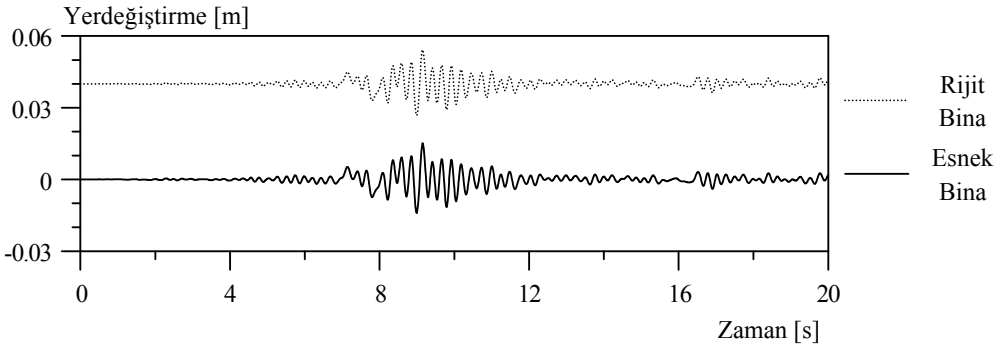
## 4. BULGULAR

### *4.1. Kelvin-Voigt Modeli ile İlgili Bulgular*

Bu modelde lineer viskoelastik yay tüm deprem süresince çalıştığından aktardığı en büyük basınç kuvveti çarpışma kuvveti olarak ele alınabilir. Aktarılan en büyük kuvvet, rijit binanın 3. kat döşeme seviyesindeki yaylarda 9,16. saniyede 91kN değerindedir (Şekil 4). Şekil 5'te görüldüğü üzere esnek binanın 9m seviyesindeki en büyük yerdeğiştirmesi 9,15. saniyede 0,015m, rijit binanın ise 9,15. saniyede 0,014m'dir.



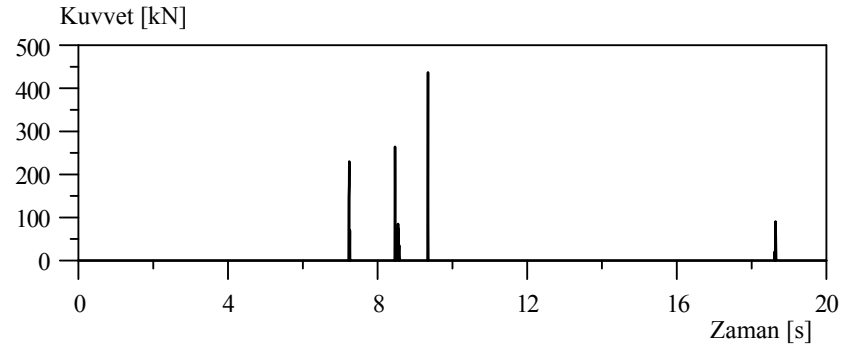

Şekil 4. 9m seviyesindeki lineer viskoelastik yayda meydana gelen çarpışma kuvvet değişimi



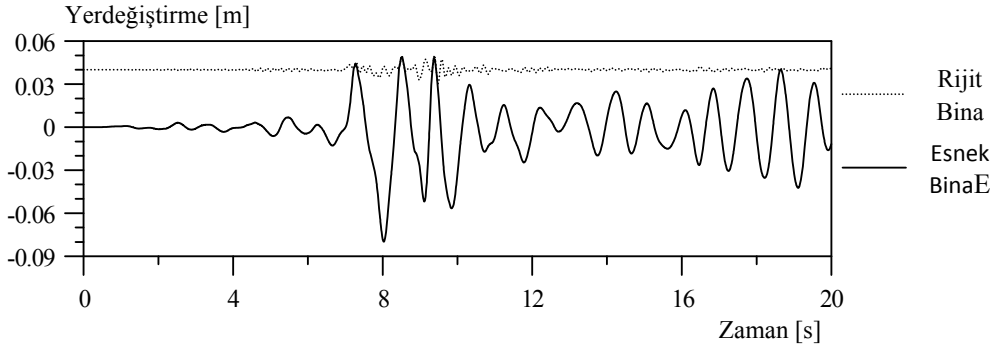

Şekil 5. Binaların 9m seviyelerindeki noktaların birbirlerine göre rölatif yerdeğiştirmeleri

### *4.2. Hertz Modeli ile İlgili Bulgular*

Bu modelde binalar arasındaki boşluk (d) tanımlanabildiğinden çarpışma zamanı ve çarpışma kuvveti kesin olarak belirlenebilmektedir. Dolayısıyla sadece rijit binanın 3. kat döşeme (9m) seviyesindeki yayların kuvvet aktardığı tespit edilmiştir. En büyük çarpışma kuvveti değeri 9,34. saniyede 437kN'dur (Şekil 6). Şekil 7'de görüldüğü üzere esnek binanın 9m seviyesindeki en büyük yerdeğiştirmesi 8,03. saniyede 0,08m, rijit binanın ise 9,39. saniyede 0,01m'dir.



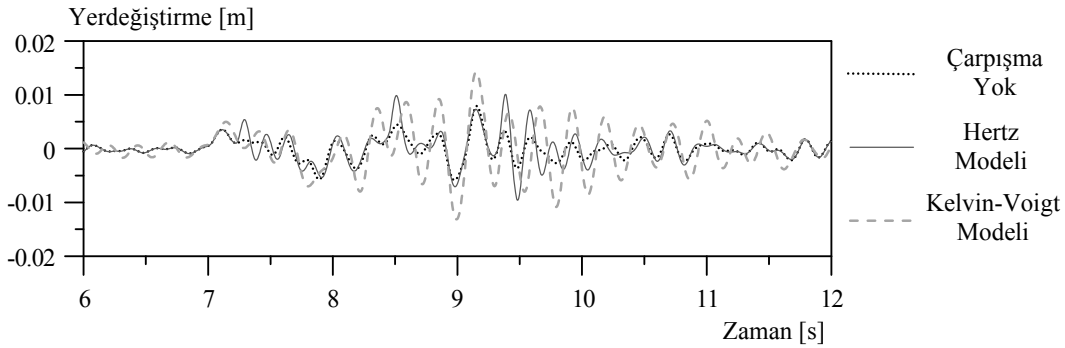

Şekil 6. 9m seviyesindeki lineer olmayan elastik yayda meydana gelen çarpışma kuvvet değişimi




Şekil 7. Binaların 9m seviyelerindeki noktaların birbirlerine göre rölatif yerdeğiştirmeleri

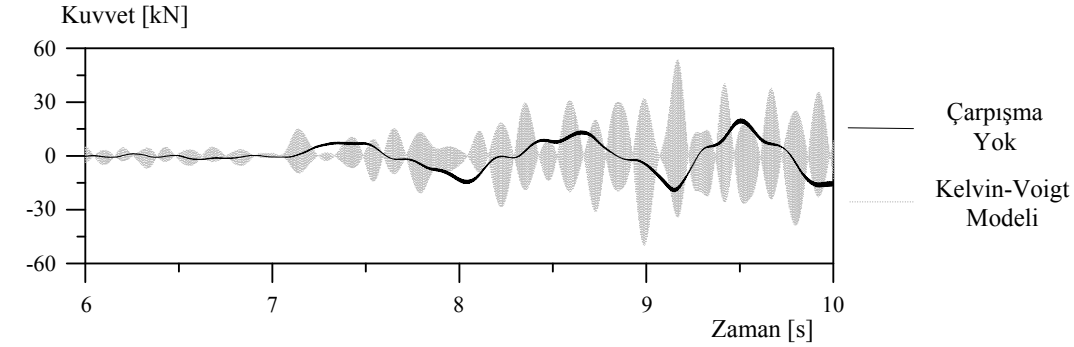
### *4.3. Karşılaştırmalar*

Esnek binanın 9m seviyesindeki noktaların en büyük yerdeğiştirme değeri Kelvin-Voigt modelinde 9,15. saniyede 0,015m, Hertz modelinde 8,03. saniyede 0,08m'dir. Çarpışma olmaması durumunda ise en büyük yerdeğiştirme değeri 9,98. saniyede 0,137m olmaktadır. Rijit binanın 3. kat döşeme seviyesindeki en büyük yerdeğiştirme değeri Kelvin-Voigt modelinde 9,15. saniyede 0,014m, Hertz modelinde 9,39. saniyede 0,01m'dir. Çarpışma olmaması durumunda ise en büyük yerdeğiştirme değeri Şekil 8'de görüldüğü gibi 9,15. saniyede 0,0079m olmaktadır.

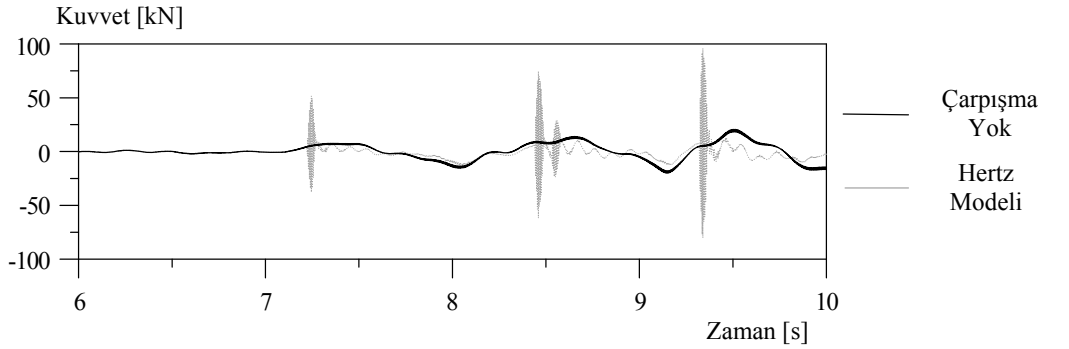



Şekil 8. Rijit binanın 3. kat döşeme seviyesindeki noktaların yerdeğiştirmesi

Her iki çarpışma modelinden ve çarpışma olmaması durumundan elde edilen kesme kuvveti değerleri göz önüne alınırsa esnek binanın 1. ve 2. kat kolonlarındaki kesme kuvveti değerleri çarpışma olmaması durumundan daha küçük bulunmuştur. Esnek binanın 3. kat kolonlarındaki en büyük kesme kuvveti değeri Kelvin-Voigt modelinde 9,16. saniyede 53,7kN, Hertz modelinde 9,34. saniyede 96,0kN'dur. Çarpışma olmaması durumunda ise en büyük kesme kuvveti değeri 9,05. saniyede 20,7kN olmaktadır. Kelvin-Voigt ve Hertz modellerinden elde edilen kesme kuvveti değerlerinin çarpışma olmaması durumundan elde edilen değerlerle karşılaştırılması Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.



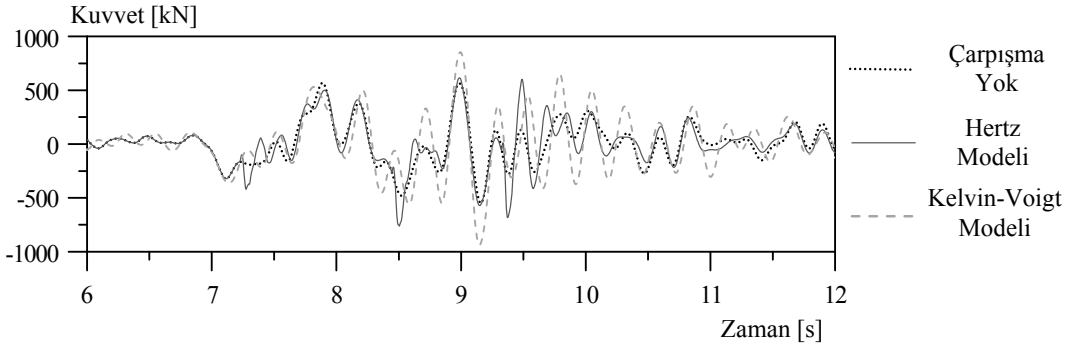

Şekil 9. Kelvin-Voigt modelinde esnek binanın 3. kat kolonlarındaki kesme kuvveti değerleri




Şekil 10. Hertz modelinde esnek binanın 3. kat kolonlarındaki kesme kuvveti değerleri

Her iki çarpışma modelinden ve çarpışma olmaması durumundan elde edilen kesme kuvveti değerleri göz önüne alınırsa rijit binanın 1., 2. ve 3. kat kolonlarındaki kesme kuvveti değerleri çarpışma olmaması durumundan daha büyük çıkmaktadır. Rijit binanın 3. kat kolonlarındaki en büyük kesme kuvveti değeri Kelvin-Voigt modelinde 9,15. saniyede 120,3kN, Hertz modelinde 9,39. saniyede 96,0kN'dur. Çarpışma olmaması durumunda ise en büyük kesme kuvveti değeri 9,16. saniyede 59,3kN olmaktadır. 1. kat kolonlarındaki en büyük kesme kuvveti değeri de Kelvin-Voigt modelinde 9,15. saniyede 217,6kN, Hertz modelinde 8,52. saniyede 156,5kN'dur. Çarpışma olmaması durumunda ise en büyük kesme kuvveti değeri 9,16. saniyede 137,8kN olmaktadır.

Kelvin-Voigt modelinden elde edilen en büyük taban kesme kuvveti değeri 937kN, Hertz modelinde 761kN'dur. Çarpışma olmaması durumunda oluşan en büyük taban kesme kuvveti ise 569kN değerinde olmaktadır. Taban kesme kuvveti değerlerindeki değişim Şekil 11'de verildiği gibidir.




Şekil 11. Taban kesme kuvvetlerindeki değişim

## 5. SONUÇLAR

DBYBHY (2007)'deki ilgili açıklamanın 2.10.3.2. maddesine göre binalar arasında bırakılan minimum boşluğun her durum için yeterli olmadığı ve binalar arasında çarpışmanın (çekiçlemenin) meydana geldiği tespit edilmiştir. Aralarında yeterli boşluk bırakılmayan komşu binalardaki çarpışmanın da kısa binanın üst kotunda meydana geldiği belirlenmiştir. Kat yükseklikleri farklı iki komşu binanın çarpışması söz konusu olduğunda çarpışma çeşidinin döşeme-kolon çarpışması olduğu görülmüştür. Döşemenin kolondan daha güçlü olduğu göz önüne alınırsa bu çarpışma çeşidinde kolonun ciddi hasarlar görebileceği bilinmelidir.

Analizler sonucunda elde edilen grafiklerden yola çıkıldığında söylenebilir ki; çarpışma olayında binalar arasındaki etkileşimin en net görüldüğü model, lineer olmayan yay elemanın kullanıldığı Hertz çarpışma modelidir. Analiz edilen çarpışma modellerindeki yerdeğiştirmeler çarpışma olmaması durumuyla kıyaslandığında, binalardan esnek olanının yerdeğiştirmesinin diğer bina tarafından kısıtlandığı görülmüştür. Aynı durum için rijit binanın yerdeğiştirme değerlerinin çarpışmadan dolayı arttığı tespit edilmiştir.

Esnek binada, 3. kat kolonlarındaki kesme kuvveti değerlerinin çarpışmadan dolayı arttığı belirlenmiştir. Kolon kesme kuvvetinin Kelvin-Voigt modelinde 1,6 kat, Hertz modelinde ise 3,6 kat arttığı tespit edilmiştir. 2. ve 1. kat kolonlarındaki kesme kuvveti değerlerinde bir artış gözlemlenmemiştir. Rijit binada 3. kat kolon kesme kuvvetinin çarpışmadan dolayı Kelvin-Voigt modelinde 1,03 kat, Hertz modelinde ise 0,63 kat arttığı tespit edilmiştir. 2. ve 1. kat kolonlarındaki kesme kuvveti değerlerinde az miktarda artışlar gözlemlenmiştir.

Taban kesme kuvveti değerlerindeki artışların çarpışmadan dolayı Kelvin-Voigt modelinde 0,19 kat, Hertz modelinde ise 0,65 kat olduğu tespit edilmiştir.

**KAYNAKLAR**

Çetinkaya, G. (2011). Deprem Yer Hareketine Maruz Komşu Binalarda Çarpışma Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Garcia, D. L., (2004). Separation Distance Necessary to Prevent Seismic Pounding Between Adjacent Structures, For The Degree of Doctor of Philosophy, 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.

Maison, B. F. ve Kasai K (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 for the Degree of Doctor of Philosophy in Civil and Environmental Engineering, 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.

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

SAP2000 (1998). Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.

TS500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

URL– 1 (2011) http://peer.berkeley.edu/svbin/GeneralSearch, Kocaeli Depremi Düzce İvme-Zaman Kayıtları, 04 Nisan 2011.

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*, 2002, 264.