

# Yumuşak Kat Düzensizliğine Sahip Bitişik Nizam Binaların Deprem Kaynaklı Çarpışma Analizi

<sup>1</sup>Murat Pala \*<sup>1</sup>Ömer Faruk Tekin, <sup>1</sup>Musa Eşit,

<sup>1</sup>Faculty of Engineering Department of Civil Engineering, Adiyaman University, 02040, Adiyaman, Turkey

### Özet

Bitişik nizam yapıların deprem anındaki farklı dinamik davranışları, eğer aralarında yeterli miktarda derz boşluğu bırakılmamış ise yapılarda bölgesel hasarlara neden olabilirler. Çekiçleme etkisi de denilen bu etkiyle son yıllarda meydana gelen depremlerde, farklı titreşim periyoduna sahip bitişik nizam yapılarda bölgesel hasarlar meydana gelmiştir. Deprem sonrası yapılan araştırmalarda, meydana gelen hasarların birçoğunun bu tür çarpışmalardan kaynaklandığı görülmüştür. Bu çalışmada, Deprem yönetmeliğinde B2 düzensizliği olarak adlandırılan – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliğine (Yumuşak Kat) – sahip bitişik nizam yapı örnekleri SAP2000 yardımıyla modellenerek çarpışmalar sırasındaki dinamik davranışları incelenmiştir. Farklı kat yüksekliğine sahip ve bitişik olarak inşa edilecek yapılarda analizler, El Centro (1940) depremi dikkate alınarak oluşabilecek deplasmanlar ve çarpışma kuvvetleri araştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar, yapıların yeterli derz aralıklarına sahip olma durumu ile karşılaştırılarak B2 düzensizliğine sahip yapılarda çekiçleme etkisinin yıkıcı etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitişik nizam, periyot, çekiçleme, derz boşluğu, B2 düzensizliği

## Earthquake Induced Collision Analysis of Adjacent Structures with Soft Story Irregularity

#### Abstract

If adjacent buildings are not separated properly from each other, the joints can cause local damage to structures because of different dynamic behaviour of adjacent structures during earthquake. The earthquakes in recent years, due to this effect, also called seismic pounding effect, it has occurred local damage on adjacent structures which has different period. Researches carried out it have been demonstrated that, most of the damage caused from these collisions, in after the earthquake. In this study, adjacent structures modelled with SAP2000, its dynamic behaviour were investigated during collisions which have B2 irregularity called in Earthquake Code – Neighbouring Stiffness Irregularity (Soft Storey). It was analysed displacements and pounding forces that may occur considering the El Centro (1940) earthquake. The results was compared with the structures which have sufficient gap between them and it has tried to be determined the destructive effects of seismic pounding effects on structures with B2 irregularity.

Key Words: Adjacent structure, period, seismic pounding effect, gap, B2 irregularity

\*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Adiyaman University, 02040, Adiyaman, TURKEY. E-mail address: ftekin@adiyaman.edu.tr, Phone: +904162233808, Fax: +904162233809

## 1. Giriş

Depremler sonucu binalarda meydana gelen hasarlar incelendiğinde, komşu binalar arasında yeterli boşluğun bırakılmamasından kaynaklı çarpışmalar sonucu binalarda bölgesel birtakım hasarların oluştuğu gözlenmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, deprem sırasında farklı dinamik davranışlar sergileyen komşu binaların çarpışması sonucu oluşan etkilerin ihmal edilmemesinin gerekliliğini ortaya koymuştur.

Maison and Kasai (1992), farklı yapı çarpışmaları için hareketin serbestlik derecesi eşitliğini oluşturmuştur. Bu teoriyle, bilgisayar ortamında 15 katlı bir binanın davranış özelliklerini incelemiştir [1]. Rahman et al. (2001), farklı dinamik özelliklere sahip 12 katlı ve 6 katlı iki binanın çarpışmasını zemin özelliklerini de göz önünde bulundurarak incelemiştir [2]. Papadrakakis et al. (2004), impuls- momentum iliskisine davanarak iki bina arasında 3 boyutlu carpışma analizini yapmıştır [3]. Gong and Hao (2005), cift yönlü yer hareketine maruz kalan simetrik olan ve olmayan bir katlı sistemler arasında burulma etkilerini analiz etmistir [4]. Wang and Chau (2008), simetrik olmayan iki bina arasındaki burulma carpısmasını lineer olmayan Hertz modeli tekniğini kullanarak modellemiştir. Yapılan çalışmalar sonucu, genel olarak burulma etkisinin ötelenme etkisine göre karmaşık olduğunu ifade etmiştir [5]. Çetinkaya (2011), farklı rijitliklere sahip iki komşu binanın çarpışmasını 4 farklı yay modeli için analiz etmiş ve sonuçları karşılaştırmıştır. Binalar arasındaki etkilesimin en net görüldüğü modelin Hertz (lineer olmayan elastik yay) modeli olduğu sonucunu elde etmiştir [6]. Mahmoud et al. (2012), deprem etkisi altında eşit yükseklikteki iki lineer olmayan yapının çarpışmasının yanı sıra, zemin esnekliğinin de bu iki yapıya etkisini incelemiştir. Analizler sonucunda zeminin döngüsel ve yatay hareketlerinin iki binanın carpışmasına etki ettiğini gözlemlemiştir [7].

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)'de, planda ve düşey doğrultuda düzensizliklerden kaçınılması tavsiye edilmektedir [8]. Ancak, özellikle giriş katların diğer katlardan daha yüksek yapılması yönetmelikte B2 düzensizliği olarak adlandırılan – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliğine – sahip yapıların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada yumuşak kat düzensizliğine sahip komşu binaların çarpışması durumu incelenmiştir.

## 2. Çarpışma Modeli

Bu çalışmada çarpışma modelini temsil edebilmek amacıyla Hertz yasasından faydalanılmıştır. Hertz modelinde binalar arası kuvvet aktarımını belirleyebilmek amacıyla lineer olmayan elastik yay kullanılmaktadır. Binalar arası tanımlanan boşluğun (d) kapanması ile yay devreye girmekte ve kuvvet aktarmaktadır. Çarpışma kuvveti aşağıdaki şekilde gösterilmiştir [9];

$F_c = k_h (u_1 - u_2 - d)^{3/2}$	$u_1-u_2-d > 0$	(çarpışmanın olduğu durum)
$F_c = 0$	$u_1$ - $u_2$ - $d \le 0$	(çarpışmanın olmadığı durum)

Burada;  $u_1$  ve  $u_2$  komşu binaların aynı doğrultuda rölatif yer değiştirmeleri, d binalar aradı bırakılan boşluk,  $k_h$  yay sabiti,  $F_c$  ise çarpışma kuvvetini temsil etmektedir. Şekil 1'de yay ile çarpışma kuvveti arasındaki ilişki verilmiştir [9].







Şekil 2. Hertz (Lineer olmayan elastik) yay modeli [6]

#### 3. Sayısal Uygulama

Bu çalışmayla, biri B2 (yumuşak kat) düzensizliğine sahip, diğeri herhangi bir düzensizliğe sahip olmayan, farklı yüksekliklere sahip iki komşu binanın, 1940 El Centro depremi etkisi altında çarpışması sonucu meydana gelecek etkilerin, binalar arasındaki mesafeye bağlı olarak değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Binalar arasındaki çarpışma Hertz modeli ile temsil edilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi çarpışmanın birinci kat seviyesinde döşeme-kolon çarpışması, diğer katlarda ise döşeme-döşeme çarpışması şeklinde meydana geldiği göz önüne alınmıştır. 12 adet yay elemanı, çarpışmanın meydana gelebileceği noktalara yerleştirilmiştir.



Şekil 3. B2 düzensizliğine sahip çarpışma modeli

DBYBHY (2007) bölüm 2.3.2.1' de belirtildiği üzere B2 düzensizliği deprem hesap yönteminin seçiminde etken olan düzensizliklerdendir [8]. DBYBHY (2007) tablo 2.1' de B2 düzensizliği; 'birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı ( $\eta_{ki}$ ) 'nin 2.0'den fazla olması durumu' olarak tanımlanmaktadır. Burada  $\eta_{ki}$  'nin denklemi aşağıdaki gibidir;

 $[\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i) ort / (\Delta_{i+1} / h_{i+1}) ort > 2.0 veya \eta_{ki} = (\Delta_i / h_i) ort / (\Delta_{i-1} / h_{i-1}) ort > 2.0]$ 

Burada  $\Delta_i$  i'inci katın göreli ötelemesi,  $\Delta_{i+1}$  i+1'inci katın göreli ötelemesi, h<sub>i</sub>, h<sub>i-1</sub>ve h<sub>i+1</sub> kat yükseklikleridir.

DBYBHY (2007)' de komşu binalar arası bırakılacak mesafe ile ilgili bölümde 2.10.3.2. maddesi gereğince, yüksekliği 30 m olan binalar için d=11 cm olması gerekmektedir [8]. Bu çalışmada binalar arası mesafe 1 cm' den başlayarak çarpışmanın olmadığı durum elde edilene kadar birer cm artırılarak analiz tekrarlanmıştır.

Her iki binada da kolon boyutları 40x40 cm<sup>2</sup>'dir. Kiriş boyutları 9 katlı olan bina için 60x25 cm<sup>2</sup>, 4 katlı olan bina için 50x25 cm<sup>2</sup>'dir. Döşeme kalınlığı her iki bina için de 15 cm'dir. 9 katlı olan binanın birinci kat yüksekliği 6 m'dir. Diğer bütün kat yükseklikleri iki bina için de 3 m'dir. Bu şartlar altında binanın zemin katında  $\eta_{ki} = 2,46$  olmaktadır ve 9 katlı olan bina DBYBHY (2007)' de B2 düzensizliği olarak adlandırılan – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliğine sahip olmaktadır.

B2 düzensizliğine sahip olan 9 katlı bina daha sonra B2 düzensizliği ortadan kaldırılarak Şekil 3'de göründüğü gibi her bir kat yüksekliği 3 m, toplam yüksekliği 30 m olan 10 katlı binaya dönüştürülüp analiz tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. B2 düzensizliğine sahip olmayan çarpışma modeli

Oluşturulan modelde beton-beton çarpışmalarını temsil edebilmek için Jankowski (2005)'te deneysel çalışmalar sonucu tespit edilmiş olan  $k_h = 1,19 \times 10^9$  N/m<sup>3/2</sup> değeri [10], lineer olmayan elastik yay sabiti olarak kullanılmıştır. Betonun birim hacim ağırlığı 25 kN/m<sup>3</sup>, poisson oranı v = 0,2 ve sınıfı C25/30 alınmıştır.

Dinamik analizler, 1940 El Centro depremi verileri kullanılarak SAP2000 programı yardımıyla Zaman Tanım Alanında Mod Süperpozisyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 4. Bulgular

Hertz modelinde çarpışma zamanı ve çarpışma kuvveti belirlenebilmektedir. Binalar arasındaki mesafe değiştikçe çarpışmanın zamanı, sayısı ve kuvveti de değişmektedir. Binalar arasındaki mesafe 1 cm iken, B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 6, 9 ve 12 m seviyelerindeki yaylarda kuvvet aktarımı olmuştur. Bu kuvvetlerden en büyüğü 12 m seviyesindeki yayda 4,2. saniyede 516,5 kN olarak tespit edilmiştir (şekil 5-a). (Şekil 6-a)' da B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 12 m seviyelerindeki en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir. B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 9 ve 12 m seviyelerindeki yaylarda kuvvet aktarımı olmuştur. En büyük kuvvet 4,9. saniyede 717,9 kN 'dur (şekil 5-b). Şekil (6-b)' de B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir.



Şekil 5. Binalar arası mesafe 1 cm iken meydana gelen çarpışma kuvveti değişimi



Şekil 6. Binalar arası mesafe 1 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri

Binalar arasındaki mesafe 2 cm iken, B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 9 ve 12 m seviyelerindeki yaylarda kuvvet aktarımı olmuştur. Bu kuvvetlerden en büyüğü 9 m seviyesindeki yayda 2,2. saniyede 1122 kN olarak tespit edilmiştir (şekil 7-a). (Şekil 8-a)' da B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 9 m seviyelerindeki en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir. B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, sadece binaların 12 m seviyelerindeki yayda kuvvet aktarımı olmuştur. En büyük kuvvet 2,2. saniyede 971,2 kN 'dur (şekil 7-b). (Şekil 8-b)' de B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir.



Şekil 7. Binalar arası mesafe 2 cm iken meydana gelen çarpışma kuvveti değişimi



Şekil 8. Binalar arası mesafe 2 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri

Binalar arasındaki mesafe 3 cm iken, B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 12 m seviyelerindeki yayda kuvvet aktarımı olmuştur. 12 m seviyesindeki yayda oluşan kuvvetlerden en büyüğü 4,4. saniyede 252,3 kN olarak tespit edilmiştir (şekil 9-a). (Şekil 10-a)' da B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 12 m seviyelerindeki en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir. B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki yayda oluşan en büyük kuvvet 5,9. saniyede 233,1 kN 'dur (şekil 9-b). (Şekil 10-b)' de B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki yayda oluşan en büyük kuvvet 5,9. saniyede 233,1 kN 'dur (şekil 9-b). (Şekil 10-b)' de B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki yayda oluşan en büyük kuvvet 5,9. saniyede 233,1 kN 'dur (şekil 9-b). (Şekil 10-b)' de B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki yayda oluşan en büyük kuvvet 5,9. saniyede 233,1 kN 'dur (şekil 9-b).



Şekil 9. Binalar arası mesafe 3 cm iken meydana gelen çarpışma kuvveti değişimi



Şekil 10. Binalar arası mesafe 3 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri

Binalar arasındaki mesafe 4 cm iken, B2 düzensizliğinin olduğu durumda, sadece binaların 12 m seviyelerindeki yayda kuvvet aktarımı olmuştur yayda oluşan kuvvetlerden en büyüğü 4,4. saniyede 634,5 kN olarak tespit edilmiştir (şekil 11-a). (Şekil 12-a)' da B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 12 m seviyelerindeki en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir. B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki yayda oluşan en büyük kuvvet 2,2. saniyede 1361 kN 'dur (şekil 11-b). (Şekil 12-b)' de B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki yayda oluşan en büyük kuvvet 2,2. saniyede 1361 kN 'dur (şekil 11-b). (Şekil 12-b)' de B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir.



Şekil 11. Binalar arası mesafe 4 cm iken meydana gelen çarpışma kuvveti değişimi



Şekil 12. Binalar arası mesafe 4 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri

Binalar arasındaki mesafe 5 cm iken, B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 12 m seviyelerindeki yayda kuvvet aktarımı olmuştur. 12 m seviyesindeki yayda oluşan kuvvetlerden en büyüğü 3,5. saniyede 736,1 kN olarak tespit edilmiştir (şekil 13-a). (Şekil 14-a)' da B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 12 m seviyelerindeki en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir. B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki yayda oluşan en büyük kuvvet 6. saniyede 171,5 kN 'dur (şekil 13-b). (Şekil 14-b)' de B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki yayda oluşan en büyük kuvvet 6. saniyede 171,5 kN 'dur (şekil 13-b). (Şekil 14-b)' de B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir.







Şekil 14. Binalar arası mesafe 5 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri

Binalar arasındaki mesafe 6 cm iken, çarpışma sadece B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 12 m seviyelerinde olmuştur. Binaların 12 m seviyesindeki yayda oluşan kuvvetlerden en büyüğü 4,5. saniyede 242,8 kN olarak tespit edilmiştir (şekil 15-a). (Şekil 16a)' da B2 düzensizliğinin olduğu durumda, binaların 12 m seviyelerindeki en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir. B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binalar arasında çarpışma oluşmamaktadır (şekil 15-b). (Şekil 16-b)' de B2 düzensizliğinin olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri verilmiştir.



Şekil 15. Binalar arası mesafe 6 cm iken meydana gelen çarpışma kuvveti değişimi



Şekil 16. Binalar arası mesafe 6 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin elde edildiği noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri

Binalar arasındaki mesafe 7 cm iken, B2 düzensizliğinin olduğu ve olmadığı durumların ikisinde de binalar arasında çarpışma meydana gelmemiştir. B2 düzensizliğinin olduğu ve olmadığı durumda, binaların 12 m seviyelerindeki noktalarının birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri sırasıyla (Şekil 17-a) ve (Şekil 17-b)' de verilmiştir.



Şekil 17. Binalar arası mesafe 7 cm iken binaların 12 m seviyelerinin birbirlerine göre rölatif yer değiştirmeleri

#### 5. Sonuçlar

DBYBHY (2007)' de komşu binalar arası bırakılacak mesafe ile ilgili bölümün 2.10.3.2. maddesi gereğince bırakılması gereken minimum boşluğun incelenen durum için yeterli olduğu görülmüştür. Komşu yapılarda bırakılması gerekenden daha az boşluk bırakılması durumunda 1400 kN' a kadar varan büyüklükte çarpışma kuvveti elde edilmiştir. Bu durum, komşu binalar arası yetersiz boşluk bırakılması durumunda yapılarda kalıcı hasarların oluşabileceğini göstermektedir.

Yapılar arasındaki mesafe değiştikçe meydana gelen çarpışmaların zamanı, sayısı ve kuvveti değişmektedir. Erken saniyelerdeki çarpışmanın sönüm etkisi oluşturarak çarpma kuvvetinin daha düşük çıkmasına neden olduğu görülmüştür.

B2 düzensizliğinin bulunduğu durumla düzensizliğin bulunmadığı durum arasında elde edilen çarpışma kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Yapılar arasındaki mesafe 1 ve 4 cm olması durumunda B2 düzensizliğinin olmadığı durumda aktarılan kuvvet artarken, aradaki mesafenin 2,3 ve 5 cm olduğu durumlarda aktarılan kuvvet azalmıştır.

Yapılar arasındaki mesafe 6 cm olduğunda, B2 düzensizliğinin olduğu durumda çarpışma meydana gelirken, B2 düzensizliğinin olmadığı durumda yapılarda çarpışma gerçekleşmemektedir. Bu da DBYBHY (2007)' de belirtilen B2 düzensizliğinin yapılar üzerindeki olumsuz etkisini göstermekte ve yapılarda düzensizliklerden kaçınmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır.

## 6. Teşekkür

Bu çalışma (MUFBAP/2014-0003) Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

## 7. Kaynaklar

- [1] Maison B. and Kasai K. Dynamics of pounding when two Building Collide. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 1992;Vol. 21:771-786.
- [2] Rahman AM. Carr AJ. Moss PJ. Seismic pounding of a case of adjacent multiplestorey buildings of differing total heights considering soil flexibility effects. Bull NZ Soc Earthq Eng 2001;34:140–159.
- [3] Papadrakakis M., Apostolopoulou C., Zacharopoulos A. and Bitzarakis S. Threedimensional simulation of structural pounding during earthquakes. Journal of Engineering Mechanics 1996;ASCE 122:423-431.
- [4] Gong L. and Hao H. Analysis of coupled lateral-torsional-pounding responses of onestorey asymmetric adjacent structures subjected to bi-directional ground motions Part I: Uniform ground motion input. Advances in Structural Engineering 8 2005;5: 463-479.
- [5] Wang LX. and Chau KT. Chaotic Seismic Torsional Pounding between two Singlestory Asymmetric Towers. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China
- [6] Çetinkaya G. Deprem Yer Hareketine Maruz Komşu Binalarda Çarpışma Analizi, Yüksek Lisans Tezi 2011;Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [7] Mahmoud S. Elhamed AA. Jankowski R. Earthquake-induced pounding between equal height multi-storey buildings considering soil-structure interaction. Bulletin of Earthquake Engineering 2013;1-28.
- [8] DBYBHY Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Türk Standartlar Enstitüsü, 2007, Ankara, Türkiye.
- [9] Muthukumar S. ve DesRoches R. A Hertz Contact Model with Non-linear damping for Pounding Simulation. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Earthquake Engineering Structures 2006;35:811-828.
- [10] Jankowski R. Non-linear viscoelastic modeling of earthquake-induced structural pounding, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Earthquake Engineering Structures 2005;34:595-611.