Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development
UMAGD, (2019) 11(2), 515-527.
10.29137/umagd.495192
Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:2 Haziran/June 2019
Araştırma Makalesi / Research Article

Betonarme Binalarda Kısa Kolon Etkilerinin Araştırılması

Investigation of Short Column Effects in Reinforcement Concrete Buildings

Emrah Meral[1]

[1]*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80000 Osmaniye, TÜRKİYE*

***Başvuru/Received**: 11/11/2018* ***Kabul/Accepted**: 15/06/2019* ***Son Versiyon/Final Version**: 30/06/2019*

Öz

Bu çalışmanın amacı kısa kolon davranışının betonarme yapılar üzerindeki etkilerinin doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analizlerle belirlenmesidir. Bu sebeple hiçbir düzensizliği bulunmayan 4- ve 7- katlı referans binalar 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanmıştır. Daha sonra bu binaların zemin katındaki x yönünde en dış iki aksındaki kolonların net boylarının azaltılmasıyla kısa kolonlu bina modelleri hazırlanmıştır. Bu kapsamda, 3-B bina modellerinin her iki asal doğrultularında 12 adet gerçek deprem ivme kaydıyla toplamda 96 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yapı elemanlarının hasar seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca yapı sistemi için taban kesme kuvveti, tepe noktası ve göreli kat ötelenme oranı gibi parametreler elde edilmiştir. Kısa kolon etkilerinin belirlenebilmesi için bu değişkenler referans ve kısa kolonlu binalar açısından karşılaştırılmıştır. Değerlendirmelere göre 4- ve 7- katlı kısa kolonlu modellerde zemin kat kolonlarında sırasıyla %40 ve %60 dolayında göçme hasarı tespit edilmiştir. Kısa kolonlu modellerde referans binalarına göre taban kesme kuvveti talepleri fazla olurken deplasman talepleri ise düşük hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler

"Kısa kolon, zaman tanım alanında analiz"

Abstract

The aim of this study is to determine the effects of short column behavior on reinforced concrete structures by nonlinear time history analysis. For this reason, 4- and 7-storey reference buildings with no irregularities are designed per 2007 Earthquake Code. Building models with short column were then prepared by reducing the net length of the columns on the two outer axes in the x direction on the ground storey of these buildings. In this context, a total of 96 analyzes have been carried out with 12 real earthquake acceleration records in both prime directions of 3-D building models. The damage levels of the structural elements were determined according to the results of the analysis. In addition, parameters such as base shear force, roof and interstory drift ratio are obtained for the structure system. In order to determine the short column effects, these variables were compared for reference buildings and buildings with short column. According to the evaluations, 40% and 60% collapse damage were detected in the ground storey columns of the 4- and 7-storey short column models, respectively. In short column models, base shear force demands were higher while displacement demands were low with respect to reference buildings.

Key Words

"Short column, time history analysis"

***Sorumlu Yazar:** emrahmeral@osmaniye.edu.tr*

1. Giriş

Ülkemizde bulunan betonarme yapıların çoğunluğunu orta katlı binalar oluşturmaktadır. Ülkemiz dünyanın en yoğun deprem kuşaklarının birisinde bulunduğundan bu binalar deprem tehlikesi altındadır. Depremler yapılarda çok farklı hasar türlerine yol açabilmektedir. Bu yüzden hasarların sebeplerinin ortaya konması binaların tasarım aşamasında bu hasarların önüne geçilmesini sağlayacaktır. Diğer taraftan, deprem etkileri altında yapıların hasar almasının kaçınılamaz ve öngörüldüğü durumlarda, araştırmacı yapının elemanlarına ait hasar seviyelerini ve bu hasarların hangi bölgelerde oluşacağını doğru bir şekilde belirlerse depremin zararlarını asgari düzeye indirmiş olacaktır. Bundan dolayı deprem riski altındaki binaların davranışının doğru değerlendirilmesi bu binaların deprem performansı açısından oldukça önem arz etmektedir.

Geçmiş depremlerde meydana gelen yapısal hasarlar ve binaların performanslarıyla ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda yumuşak kat, zayıf kat, kısa kolon, güçlü kiriş-zayıf kolon, kapalı çıkma, yetersiz enine donatı ve düşük beton dayanımı gibi yapısal düzensizlikler ve eksiklikler hasarların temel nedenleri arasında gösterilmiştir (Bayraktar vd., 2013; Inel vd., 2013; Ozmen vd., 2014; Yon vd., 2015). Bu yapısal kusurların içinde bulunan ve mevcut çalışmanın da konusu olan kısa kolon ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar aşağıda özetlenmiş ve açıklanmıştır.

Özmen (2005), yumuşak kat, kısa kolon ve kapalı çıkma gibi düzensizliklerin orta yükseklikteki betonarme binaların yapı performansları üzerinde etkilerini değerlendirmiştir. Kısa kolon davranışının anlaşılabilmesi için 4- ve 7- katlı üç boyutlu her iki yönde simetrik olan referans binalara zemin katta farklı perde yüksekliği kullanılarak yarım perdeler eklenmiş ve kısa kolonlu modeller oluşturulmuştur. Referans ve kısa kolonlu binaların doğrusal olmayan statik analizlerinden kapasite eğrileri elde edilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Dikkate alınan farklı yarım perde yüksekliğine göre her kısa kolonun gerçek kısa kolon davranışı göstermeyebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Işık (2006), 5-, 8- ve 11 katlı üç boyutlu betonarme yapılarda zemin katta dolgu duvar yüksekliklerini arttırarak kısa kolon oluşumunu incelemiştir. Mod birleştirme yöntemi kullanılarak yapılan analizlere göre seçilen bazı kolonlarda duvar yüksekliğine bağlı olarak moment, kesme kuvveti ve yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Kolonlardaki moment değişimlerinin birbirlerinden farklı olduğu belirlenmiştir. Çerçevenin boş ve dolu olması durumundaki kesme kuvvetleri arasında çok ciddi bir farkın bulunmadığı, ancak duvarın çerçeveyi tam doldurduğu durum ile bir adım öncesindeki kesme kuvvetleri arasında ciddi farkın oluştuğu görülmüştür. Yer değiştirme verilerinin ise artan duvar yüksekliği ile azaldığı gözlemlenmiştir.

Mutlu (2007), 3- katlı ve iki boyutlu betonarme bir bina seçerek kısa kolon etkisini araştırmak amacıyla zemin katta kolonlar arasındaki duvarlarda farklı bant pencere boşlukları bırakarak 32 farklı bina modeli oluşturmuştur. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizleri sonucunda binaların zemin katındaki bazı kolonların gerilme dağılımları ve yatay yük-yer değiştirme grafikleri elde edilerek incelenmiştir. Zemin katın tamamen duvarlı ve duvarsız olduğu modeller hariç diğer modellerin tamamında seçilen kolonlarda bant pencerenin olduğu kısımda normal gerilme değerinin artarak bant pencerenin üst bölümünde en büyük değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Zemin kattaki bant pencere alanı ile yapının yatay yük kapasitesinin ters orantılı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır.

Yön ve Sayın (2008), kısa kolon etkisini incelemek için kısa kolonlu ve kısa kolonsuz iki boyutlu 7- katlı betonarme yapı modelleri tasarlamışlardır. Kısa kolonlu model, zemin ve 1. katında kısa kolon fiktif çubuklarla oluşturulan dolgu duvarların yüksekliği düşürülerek hazırlanmıştır. Diğer kısa kolonsuz olan modelde ise tüm katlar bölme duvarlı olarak yapılmıştır. Doğrusal statik analizler sonucunda her iki modele ait elemanların hasar durumları belirlenerek kıyaslamalar gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlara göre kısa kolonlu modelin zemin ve 1. katındaki tüm kirişlerin göçme durumunda olduğu, diğer kısa kolonsuz modelin aynı katlarında ise sadece birkaç kirişin göçme konumuna ulaştığı, bunun dışındaki tüm kirişlerin ise ileri hasarda kaldığı belirlenmiştir. Zemin ve 1. katın dışındaki tüm katlarda bulunan kirişlerin hasar seviyelerinin ise her iki modelde birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Kolonlarda ise kısa kolonlu modelde bazı kolonlar ileri hasar seviyesine gelirken, kısa kolonsuz modelde aynı kolonlardaki hasar seviyesi belirgin hasarda kalmıştır. Diğer kolonların hasar seviyeleri ise her iki modelde benzer olarak hesaplanmıştır.

Çağatay ve Beklen (2009), dolgu duvarın kısa kolonun kesme kuvvetine etkisini incelemek için açıklıklarına göre tek açıklıktan beş açıklığa kadar değişen tek katlı iki boyutlu modeller hazırlamışlardır. Doğrusal statik analiz kapsamında açıklıkları 5m ve 10m seçilen modellere yatay yük uygulanarak kısa kolonların etrafına kolonlara dik doğrultuda belirli adımlarla duvar eklenmiştir. Analizler sonucunda 10m açıklık için hesaplanan kesme kuvveti değişimlerinin ve artış miktarının 5m açıklığa göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca açıklığın %20'si kadar kolonların yanına dolgu duvar eklendiğinde kesme kuvvetinin %50 ile %80 arasında azalabileceği belirtilmiştir.

Demir vd. (2013), betonarme yapıların en alt katında bulunan perde duvar yüksekliğinin ¼ 'ü kadar bırakılan bant pencere boşluklarının sebep olduğu kısa kolon davranışının iyileştirilmesini deneysel olarak araştırmışlardır. Bunun için yaklaşık ½ ölçekli bir tanesi boş çerçeve, ikincisi kısa kolonlu model diğerleri ise kısa kolonlu modele açıklığın 0.25 ve 0.375 katı betonarme kanat dolgu duvar eklenmesi suretiyle 4 farklı model üretilmiştir. Deney elemanları tersinir tekrar eden yatay yüklere maruz bırakılarak bunlara ait yük-ötelenme ilişkileri elde edilmiştir. Bulunan deney sonuçlarına göre sisteme kanat dolgu duvar eklenmesiyle kısa kolon davranışının ciddi miktarda iyileştirilebileceği belirlenmiştir.

Tayfur ve Can (2018), perde duvarlarda bant tipinde bırakılan boşlukların çerçeve davranışına etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla bant pencere/çerçeve yüksekliği oranı sabit kalacak şekilde 5 tane model oluşturulmuştur. Ayrıca ilgili çerçeveye belirli adımlarla kanat duvar eklenerek tamamen duvarla doluncaya kadar devam ettirilmiştir. Yatay yükler altında çerçevelerin doğrusal statik analizleri yapılarak sistemin yer değiştirmeleri ve kolonların kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Kanat duvar boyunun artmasıyla hem yer değiştirmelerde hem de kısa kolonların kesme kuvvetlerinde düşüş olduğu belirlenmiştir. Dikkate alınan 5 model için bulunan kesme kuvvetlerinin birbirine yakın olmasına rağmen sünek davranışın görülmemesi, ötelenmeleri azaltırken kısa kolonun oluşma olasılığını da artırdığı belirtilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, betonarme binalardaki kısa kolon davranışı genellikle doğrusal yöntem ve iki boyutlu modeller kullanılarak incelenmiştir. Buna ek olarak yapıların doğrusal olmayan davranışları dikkate alındığında ise doğrusal olmayan statik analiz ve sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca çalışmalar kısa kolonlu modellerin kesme kuvveti, momenti, gerilme durumları ve yük-yer değiştirme ilişkileri gibi parametreler üzerine yoğunlaşmakta olup yapıyı oluşturan elemanların hasar seviyelerine ve hasarların oluştuğu bölgeler üzerinde pek durulmamıştır. Bu çalışmanın amacı betonarme binalarda kısa kolon davranışının doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleriyle belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda hiçbir düzensizliğe sahip olmayan üç boyutlu 4- ve 7- katlı referans binalar oluşturulmuştur. Daha sonra bu binaların x doğrultusundaki en dış akslarında ve zemin katında bulunan kolonların boylarının azaltılmasıyla elde edilen kısa kolonlu modeller ile referans binalar kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Oluşturulan bina modellerinin doğrusal olmayan analizleri sonucunda yapı elemanlarının hasar seviyeleri ve sisteme ait taban kesme kuvveti, tepe noktası ve göreli kat ötelenmeleri gibi parametreler hesaplanarak kısa kolonun bu değişkenlerin üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

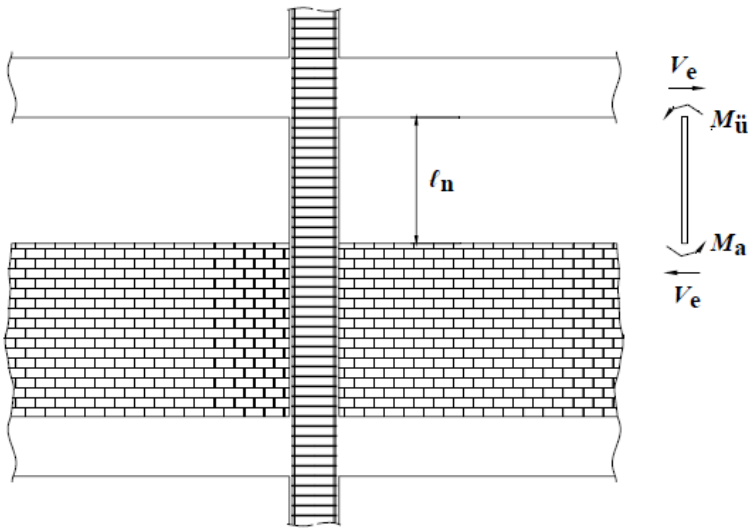
2. Materyal ve Metot

2.1. Kısa Kolon Davranışı

Betonarmeyi oluşturan çelik ve beton birbirini tamamlayan çok farklı özellikteki malzemelerdir. Bilindiği gibi çelik çekme gerilmelerine karşı dayanıklı iken beton basınç gerilmelerine karşı koymaktadır. Buna karşın şekildeğiştirme açısından bakıldığında beton gevrek, çelik ise sünek bir davranış göstermektedir. Eğer betonarme bir elemanda göçme hasar seviyesine ulaşılmasına beton sebep oluyorsa gevrek hasar, çelik neden oluyorsa sünek hasarın oluştuğundan bahsedilebilir. Kısa kolon davranışı, yapı elemanlarında donatı çeliğinin akmaması durumunda depremin enerjisi yeterince sönümlenemeden elemanların kesme kapasitelerinin aşılmasıyla gevrek bir şekilde göçme hasarının oluşmasıdır.

Bant pencere, bodrum katta havalandırma boşlukları, kat kirişlerindeki süreksizlikler, eğimli arazideki temellerin farklı kotlarda uygulanması, kolon yüksekliği boyunca devam etmeyen dolgu ve perde duvarlar gibi düzenlemeler kolonun serbest yüksekliğini kısaltarak deprem yüklemesi durumunda binada kısa kolon davranışının oluşmasına neden olurlar (Şekil 1). Toplam moment sabit hale geldiğinde kolonun alacağı kesme kuvvetinin kolonun net uzunluğu ile ters orantılı olarak değiştiği Denklem 1'de açıkça gözükmektedir. Bu nedenle kolonun net boyu azaldıkça kolona etkiyen kesme kuvveti yükselecektir. Kısa kolonlu modellerin gerçek anlamda kısa kolon davranışı gösterebilmesi için göçme hasar seviyesine kesme etkisiyle ulaşması gerekmektedir.

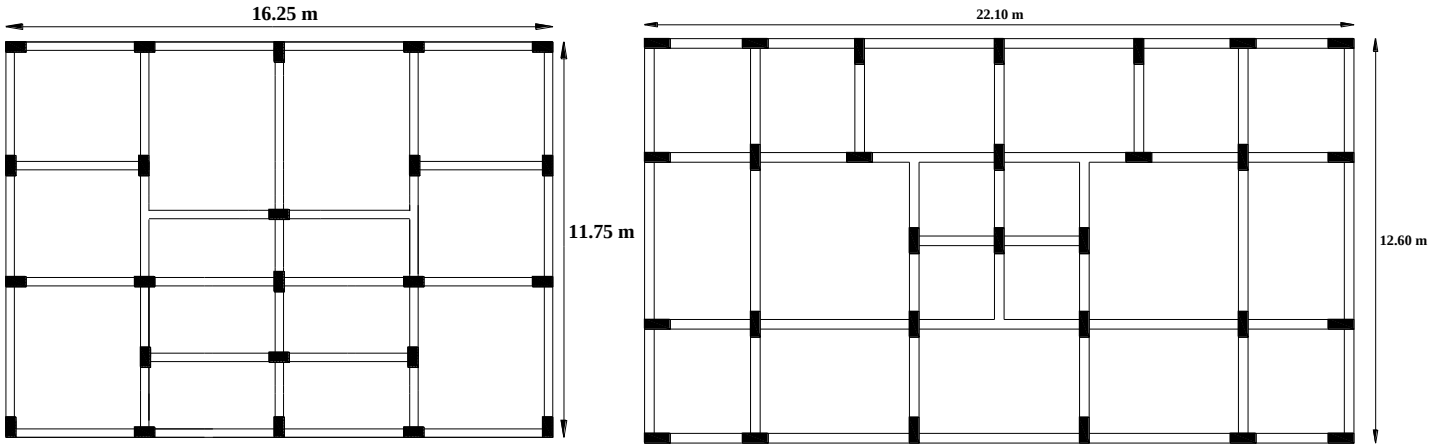
$$V_e = (M_a + M_{ü}) / \ell_n \tag{1}$$



Şekil 1. Kolon net yüksekliğinin kısaltılması

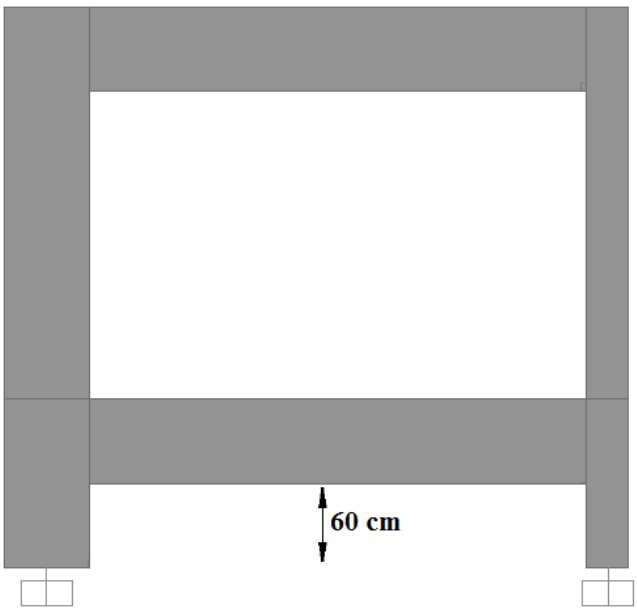
2.2. Binalara ait Model Özelliklerinin Tanımlanması

Orta katlı betonarme binaların temsil edilmesi amacıyla 4- ve 7- katlı bina modellerinin tasarımı yapılmıştır. Bina modellerinin oluşturulmasında 2007 Deprem Yönetmeliği şartları dikkate alınmıştır (DBYBHY, 2007). Binalara ait kalıp planları Şekil 2'de verilmiştir. Yapı modellerinin Z3 zemin sınıfı üzerinde ve birinci derece deprem bölgesinde olduğu kabul edilerek süneklik düzeyi yüksek olarak ele alınmıştır. Bina modellerinin taşıyıcı sisteminin sadece çerçevelerden oluştuğu dikkate alınarak perde kullanılmamıştır. Malzeme dayanımı için karakteristik beton basınç dayanımı 25 MPa, boyuna ve enine donatılarının karakteristik akma dayanımı 420 MPa kullanılmıştır. Modellerin enine donatıları için sargı bölgelerinde 100 mm aralıklarla yerleştirilmiş 8mm çapında tek etriyeli çirozsuz donatılar göz önüne alınmıştır. Kolon ve kirişlerin boyuna donatı oranları seçilen kesitlerin %1'i kadar kullanılmıştır. Bina modellerinin oluşturulmasında ve analizlerinin gerçekleştirilmesinde SAP2000 programı kullanılmıştır (SAP2000, 2018). Çalışma kapsamında referans (REF) olarak isimlendirilen düzenli bina modelleri konut olarak tasarlanmış olup kat yükseklikleri ise 2.8m olarak alınmıştır. Çalışmada kısa kolon davranışı, modellenen binaların x yönündeki en dış iki aksında bulunan kolonların yüksekliklerinin en alt katta kirişin altından itibaren 60 cm bant pencereye denk gelecek biçimde oluşturulmasıyla dikkate alınmıştır (Şekil 3). Kısalan boyları sebebiyle rijitlikleri artan kısa kolonların yapının rijitlik merkezini etkileyip burulma etkileri oluşturabileceğinden bu kolonlar binanın iki tarafında düşünülerek salt kısa kolon etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu modellerin isimlendirilmesinde "KK" ifadesi kullanılmıştır. Çalışmada dolgu duvarların ağırlıkları modellerde göz önüne alınmış olup modellerin yatay dayanımına olan etkisi dikkate alınmamıştır. Döşemeler tasarım sırasında yapılmamış, kendi ağırlıkları ve taşıdığı yükler bu döşeme parçalarının yanındaki kirişlere yayılı yük biçiminde tanımlanmıştır. Ayrıca döşemeler için rijit diyafram kabulü yapılarak her kat hizasında uygulanmıştır.



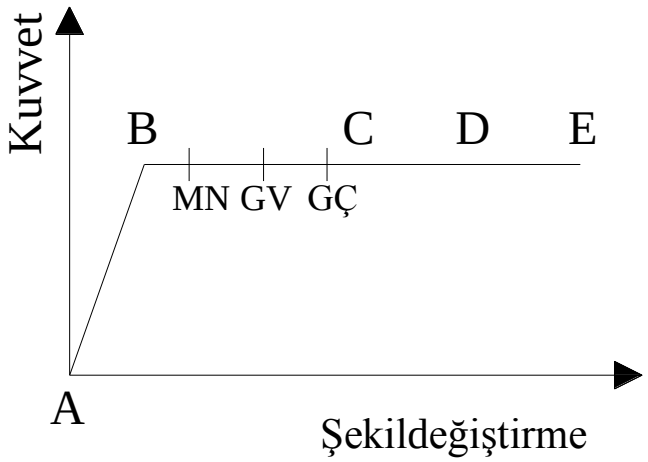
(a) 4- katlı bina (b) 7- katlı bina

Şekil 2. Bina modellerinin kalıp planları



Şekil 3. Kısa kolonların oluşturulması

Yapılarda doğrusal olmayan davranış elemanlara atanan plastik mafsallarla sağlanmıştır. Bir plastik mafsala ait kuvvet-şekildeğiştirme davranışı için Şekil 4'de A, B, C, D ve E (performans durumları için MN, GV ve GÇ) sınırları belirlenmiştir. Eğilme mafsallarına ait bu sınırların oluşturulabilmesi için her bir elamana ait moment-eğrilik ilişkilerinin tanımlanması gerekir. Bunun için elemanların kritik olan kesitlerinde enine donatı durumu göz önüne alınarak sargılı betona ait birim şekildeğiştirme-dayanım ilişkileri elde edilmiştir. Donatı çeliğine ait birim şekildeğiştirme-dayanım ilişkisi DBYBHY-2007'de önerildiği şekliyle kullanılmıştır. Moment mafsalları için hasar sınır değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Moment mafsallarına ilave olarak, kolonlara kesme ve eksenel yük mafsalları, kirişlere ise kesme mafsalları atanmıştır. Kesme mafsallarında belirli bir süneklik öngörülmemiş, yapıyı oluşturan elemanlar kesme kapasitelerine ulaşınca göçme durumuna geldiği kabul edilmiştir. Kesme dayanımları TS500 (2000)'e göre alınmıştır. Özellikle kısa kolonlu modellerde kısa kolon davranışının açığa çıkabilmesi için oluşturulan kısa kolonlarda kesme mafsallarının tanımlanması oldukça önemlidir. Plastik mafsal boyu DBYBHY-2007'de önerilen kesit yüksekliğine ait boyutun yarısı olarak kullanılmıştır. Beton modeli olarak DBYBHY-2007'de tanımlanan Mander sargılı beton modeli dikkate alınmıştır (Mander vd., 1988). Elemanların eksenel yük miktarı, malzeme özellikleri, eleman tipi ve boyutları, boyuna ve enine donatı içeriği gibi parametrelerin göz önüne alınmasıyla moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilerek plastik mafsalların tanımlanması ve bunların modellere aktarılması için SEMAp programından yararlanılmıştır (SEMAp, 2008).



Şekil 4. Plastik mafsala ait kuvvet - şekildeğiştirme ilişkisi

Tablo 1. Hasar sınırlarını oluşturan birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Nokta	Beton -ε_c	Donatı Çeliği-ε_s
B	Akma dayanımı ve eğilme rijitliği belirler	
MN	$(\varepsilon_{cu})_{\text{MN}} = 0.0035$	$(\varepsilon_s)_{\text{MN}} = 0.010$
GV	$(\varepsilon_{cg})_{\text{GV}} = 0.0035 + 0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \le 0.0135$	$(\varepsilon_s)_{\text{GV}} = 0.040$
GÇ	$(\varepsilon_{cg})_{\text{GV}} = 0.004 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \le 0.018$	$(\varepsilon_s)_{\text{GÇ}} = 0.060$
C	$(\varepsilon_{cg})_{\text{C}} = 0.030$	$(\varepsilon_s)_{\text{C}} = 0.5\varepsilon_{su}$
D	$(\varepsilon_{cg})_{\text{D}} = 0.035$	$(\varepsilon_s)_{\text{D}} = 0.75\varepsilon_{su}$
E	$(\varepsilon_{cg})_{\text{E}} = 0.040$	$(\varepsilon_s)_{\text{E}} = \varepsilon_{su}$

Tablo 1'de gösterilen; ε_c: beton basınç birim şekildeğiştirmesi, ε_{cu}: en dış beton lifindeki basınç birim şekildeğiştirmesi, ε_{cg}: çekirdek betonunun en dış lifindeki şekildeğiştirmesi, ρ_s: kesitte mevcut olan enine donatının hacimsel oranı, ρ_{sm}: DBYYHY-2007'ye göre kesitte olması gereken enine donatı hacimsel oranı, ε_s: çelik birim şekildeğiştirmesi, ε_{su}: çeliğin kopma uzaması birim şekildeğiştirmesini ifade etmektedir.

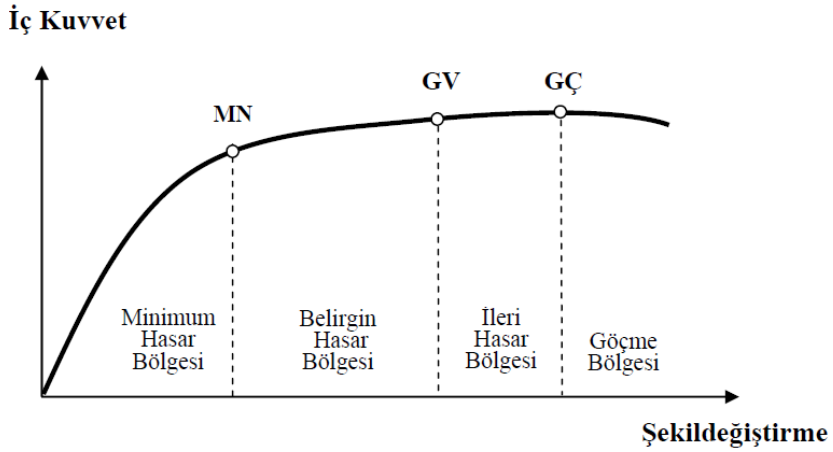
Çalışmada oluşturulan referans bina modellerinin karakteristik özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Betonarme yapı elemanlarının tasarımında çatlamış kesitlerin etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ dikkate alınmıştır (DBYBHY, 2007). Kirişlerde 0.4EI ve kolonlarda eksenel yükün seviyesine göre 0.4EI ile 0.8EI arasında bulunan değerler kullanılmıştır.

Tablo 2. Referans binalarına ait yapısal özellikler

Parametre	Yön	4-katlı bina	7-katlı bina
Yapının Boyutları (m)	**X**	16.25	22.1
	Y	11.75	12.6
Yapı Yüksekliği (m)		11.2	19.6
Kiriş Sayısı		36	44
Kiriş Boyutları (mm)		250x600	300x600
Kolon Sayısı		23	29
Kolon Boyutları(mm)		300x600	300x800
Period (s)	**X**	0.41	0.59
	Y	0.37	0.60
Yapı Ağırlığı (kN)		8328	21291

2.3. Elemanlara ait Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

Yapı elemanlarında eğilmeden dolayı oluşan hasar seviyeleri, bu elemanlarda hesap edilen beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri ile Tablo 1'de verilen hasar sınır şekildeğiştime kapasitelerinin karşılaştırılmasıyla belirlenir. Burada MN minimum hasar sınırını, GV güvenlik sınırını, GÇ ise elemanların göçme sınırını tanımlamaktadır. Kritik kesitlerin hasar seviyesi MN'nin altında kalan elemanlar minimum hasar bölgesi'nde (MH), MN ve GV arasında kalanlar belirgin hasar bölgesi'nde (BH), GV ile GÇ arasında kalanlar ileri hasar bölgesi'nde (İH), GÇ'yi aşanlar ise göçme bölgesi'nde (GÇ) bulunurlar (Şekil 5). Kesmeden dolayı oluşan gevrek hasarlar için herhangi bir süneklik dikkate alınmadığından dolayı elemanlar kesme dayanımına erişince göçme bölgesinde (GÇ) olduğu varsayılmıştır.



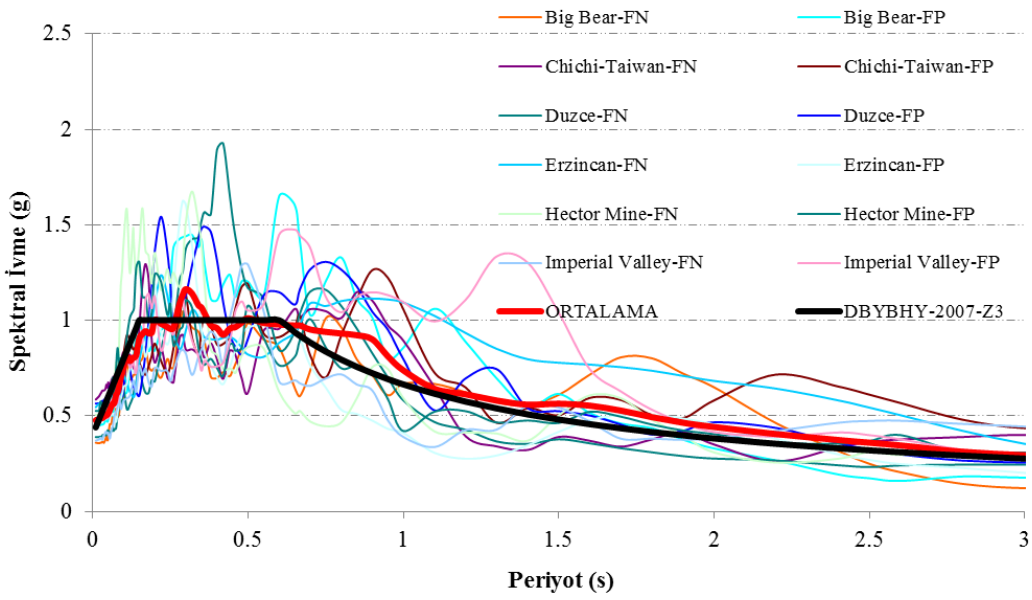
Şekil 5. Sünek elemanlar için hasar durumları (DBYBHY, 2007)

2.4. Analizlerde Kullanılan İvme Kayıtlarının Özellikleri

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtları gerçek depremler arasından seçilen farklı özelliklere sahiptir (Peer, 2011). Çalışmada 2007 Deprem Yönetmeliği'nde Z3 sınıfı zemin üzerinde aşılma olasılığı 50 yılda %10 olan tasarım spektrumu göz önüne alınarak 12 adet ivme kaydı ölçeklendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışmada faya normal (FN) ve faya paralel (FP) olmak üzere ikişer adet bileşeni kullanılan ivme kayıtlarının özellikleri Tablo 3'de verilmiştir. Seçilen kayıtların %5 sönüm için bulunan ivme spektrum değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Spektrum değerleri oldukça geniş bir bant aralığına saçılırken, bina periyotlarının 0.30-0.60 saniye aralığında olduğu dikkate alındığında 12 ivme kaydının ortalamasının yönetmelik spektrumuna yakın olduğu gözükmektedir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan deprem ivme kayıtlarına ait özellikler

No	Deprem Adı	Yıl	İstasyon	Bileşen	Ölçek Faktörü	PGA (g)	PGV (cm/s)	Vs30 (m/s)
1	Big Bear	1992	San Bernardino - E & Hospitality	FN	4.481	0.355	58.06	271.4
2	Big Bear	1992	San Bernardino - E & Hospitality	FP	4.481	0.451	61.38	271.4
3	Chi-Chi	1999	CHY101	FN	1.294	0.585	110.73	258.9
4	Chi-Chi	1999	CHY101	FP	1.294	0.489	140.39	258.9
5	Duzce	1999	Duzce	FN	1.086	0.388	67.53	276
6	Duzce	1999	Duzce	FP	1.086	0.564	86.28	276
7	Erzincan	1992	Erzincan	FN	1.12	0.545	106.85	274.5
8	Erzincan	1992	Erzincan	FP	1.12	0.47	50.72	274.5
9	Hector Mine	1999	Amboy	FN	2.573	0.502	67.22	271.4
10	Hector Mine	1999	Amboy	FP	2.573	0.521	56.21	271.4
11	Imperial Valley	1979	EC County Center FF	FN	2.057	0.37	112.07	192.1
12	Imperial Valley	1979	EC County Center FF	FP	2.057	0.457	88.36	192.1



Şekil 6. Depremlerin ivme kayıtlarına ait %5 sönüm için elastik tepki spektrumları

3. Bulguların Değerlendirilmesi

Gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda referans (REF) ve kısa kolonlu (KK) binaların elemanlarına ait hasar seviyeleri belirlenmiştir. Tüm ivme kayıtlarının sonuçları dikkate alınarak 4- ve 7-katlı modellerde sırasıyla Tablo 4-5'de kirişlerin, Tablo 6-7'de ise kolonların hasar oranlarının katlardaki dağılımı x ve y yönlerine göre gösterilmiştir. Net uzunlukları 60 cm'ye indirilmiş kolonlar artan rijitliklerinden dolayı kesme dayanımlarından daha fazla kesme kuvvetlerini kendilerine çekerek etrafında bağlı olan kirişlerin eğilme kapasitelerine ulaşıp sünek davranmalarını engelleyerek deformasyon yapmalarını sınırlamışlardır. Bunun sonucu olarak referans binalarındaki zemin kattaki kiriş hasar durumlarının kısa kolonlu binalara göre daha ileri seviyede olduğu Tablo 4-5'de açıkça görülmektedir. Üst katlarda da referans bina kirişlerinin daha sünek davrandığı görülmekle birlikte bazı katlarda kısa kolonlu modellere ait kirişlerin daha fazla hasar aldığına da rastlanmıştır. 4- katlı binaların en uç seviyedeki kiriş hasarlarına bakıldığında x yönü için zemin kat kirişlerinin %43.42'si belirgin hasar (BH) bölgesinde olduğu belirlenirken, y yönünde ise aynı kattaki kirişlerin %2.63'ü göçme bölgesinde (GÇ) olduğu görülmüştür. X ve y yönlerine

ait hasar seviyeleri kıyaslandığında y yönünde ilk iki kattaki kirişlerin bazılarının ileri hasar ve göçme bölgesinde olduğu, üçüncü katta ise diğer yöne göre minimum hasardan belirgin hasara geçen sınırlı sayıda kirişlerin olduğu anlaşılmaktadır. Hem referans hem de kısa kolonlu 4- katlı binalarda en üst kattaki kirişlerin tamamının minimum hasar (MH) bölgesinde yer aldığı belirlenmiştir.

Tablo 4. 4-katlı binada katlara göre kiriş hasar oranları (%)

Model	Kat No	X Yönü				Y Yönü			
		MH	BH	İH	GÇ	MH	BH	İH	GÇ
REF	1	56.58	43.42	0.00	0.00	50.88	46.05	0.44	2.63
	2	83.55	16.45	0.00	0.00	81.58	15.79	0.00	2.63
	3	100.00	0.00	0.00	0.00	97.37	2.63	0.00	0.00
	4	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
KK	1	84.65	15.35	0.00	0.00	85.31	12.28	0.44	1.97
	2	73.46	26.54	0.00	0.00	72.37	25.00	0.00	2.63
	3	100.00	0.00	0.00	0.00	96.93	3.07	0.00	0.00
	4	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00

Benzer şekilde, 4-katlı bina kirişlerinde olduğu gibi 7-katlı referans binaların kirişleri de kısa kolonlu binalara göre daha fazla deformasyon yaparak sünek bir davranış sergilemiştir. Minimum hasarı geçen kirişlerin hem referans hem kısa kolonlu bina gruplarında ilk dört katta yoğunlaştığı Tablo 5'de görülmektedir. Kiriş hasarları en fazla referans binalarda görülmekle birlikte ikinci katta x ve y yönlerinde sınırlı miktarda sırasıyla %0.67 ve %2.17 göçme oranları elde edilmiştir. Ayrıca göçme bölgesinde bulunan kirişlerin tamamının eğilmeden dolayı sünek bir şekilde göçme konumuna ulaştığı kesmeden kaynaklı göçme durumunun oluşmadığı tespit edilmiştir. Hem 4- katlı hem de 7- katlı kısa kolonlu modellerde ikinci kat kirişlerinin ilk kata göre hasar seviyesinin daha ileride olduğu belirlenmiştir. Kiriş hasar oranlarının beklenen bir biçimde zemin kattan birinci kata geçişin dışında üst katlara doğru azalan bir eğilim gösterdiği Tablo 5'den anlaşılmaktadır.

Tablo 5. 7-katlı binada katlara göre kiriş hasar oranları (%)

Model	Kat No	X Yönü				Y Yönü			
		MH	BH	İH	GÇ	MH	BH	İH	GÇ
REF	1	49.50	44.83	5.17	0.50	59.00	35.83	3.33	1.83
	2	47.50	47.17	4.67	0.67	56.67	37.67	3.50	2.17
	3	56.50	43.50	0.00	0.00	61.17	36.83	0.50	1.50
	4	90.17	9.83	0.00	0.00	80.00	19.67	0.00	0.33
	5	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
	6	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
	7	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
KK	1	73.17	25.17	1.67	0.00	73.83	23.00	2.17	1.00
	2	52.00	47.50	0.50	0.00	60.17	37.67	0.83	1.33
	3	59.83	40.17	0.00	0.00	63.67	35.00	0.00	1.33
	4	85.50	14.50	0.00	0.00	81.83	17.83	0.00	0.33
	5	99.83	0.17	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
	6	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
	7	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00

4-katlı kısa kolonlu binada zemin katta bulunan 23 kolondan 10 tanesi kısa kolon olarak tasarlanmıştır. Referans binalarda göçme konumuna geçen kolon görülmezken kısa kolonlu modellerde zemin katta x ve y yönünde sırasıyla kolonların %34.78 ve %40.58'i göçme seviyesine ulaşmıştır (Tablo 6). Kısa kolon olarak düşünülen 10 kolonun 6 tanesinin uzun boyutunun x yönünde olmasından dolayı kolonların kesme dayanımlarının y yönüne göre kısmen fazla olmasının x yönünde göçme konumuna geçen kolonları bir miktar azalttığı düşünülmektedir. Göçme seviyesindeki kolonların tamamı kısa kolonların kesme kırılmasıyla göçme hasarına uğramasından oluşmaktadır. Referans ve kısa kolonlu bina gruplarının her ikisinde de minimum hasarın ilk üç katta aşıldığı tespit edilmiştir. Alt katlardan üst katlara doğru gidildikçe kolonlardaki hasar seviyesinin azaldığı görülmektedir (Tablo 6).

Tablo 6. 4-katlı binada katlara göre kolon hasar oranları (%)

Model	Kat No	X Yönü				Y Yönü			
		MH	BH	İH	GÇ	MH	BH	İH	GÇ
REF	1	39.13	60.51	0.36	0.00	34.42	65.58	0.00	0.00
	2	83.33	16.67	0.00	0.00	61.59	38.41	0.00	0.00
	3	96.01	3.99	0.00	0.00	94.20	5.80	0.00	0.00
	4	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
KK	1	46.01	15.22	3.99	34.78	34.78	21.74	2.90	40.58
	2	75.72	24.28	0.00	0.00	67.03	32.97	0.00	0.00
	3	95.65	4.35	0.00	0.00	91.67	8.33	0.00	0.00
	4	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00

Erzincan-FN ivme kaydıyla yapılan doğrusal olmayan zaman tanım analizi sonucunda 7- katlı referans binanın zemin katındaki kolonlarda eğilmeden kaynaklı sünek bir şekilde göçme hasarı oluşmuştur. Buna bağlı bir biçimde diğer ivme kayıtları sonuçları arasında her iki yönde referans binada % 8.33'lük bir göçme hasarı olarak Tablo 7'de karşımıza çıkmaktadır. Zemin katın dışındaki diğer katlara bakıldığında en fazla sadece ileri hasara geçen sınırlı miktarda kolon bulunmaktadır. Kısa kolonlu olarak oluşturulan 7- katlı binada 29 kolondan 13 kolonun net boyu kısaltılarak kısa kolon haline getirilmiştir. Kısa kolonlu modellerin zemin katında x ve y yönünde sırasıyla kolonların en fazla %60.63 ve %54.89'u göçme hasarına uğramıştır. Elde edilen bu göçme hasarı oranlarına 4-katlı binadan farklı olarak kesme etkisiyle göçme durumuna ulaşılmasının yanında birkaç ivme kaydında moment kapasitesine eriştikten sonra deformasyon yaparak göçmeye ulaşan kolonlar da dâhil edilmiştir. Kısa kolonların hepsinin göçme durumuna kesme etkisiyle ulaştığı görülmüştür. Kısa kolon olarak tasarlanan 13 kolondan 8 kolonun uzun boyutunun x yönünde olmasına rağmen 4- katlı kısa kolonlu bina sonuçlarından farklı olarak eğilmeden dolayı göçme hasarı alan kolonların da katılmasıyla x yönünde daha fazla göçme hasarına geçen kolon miktarı elde edilmiştir. Hem referans hem de kısa kolonlu bina modellerinde en üst kat kolonların tamamının minimum hasarda bulunduğu hesaplanmıştır.

Tablo 7. 7-katlı binada katlara göre kolon hasar oranları (%)

Model	Kat No	X Yönü				Y Yönü			
		MH	BH	İH	GÇ	MH	BH	İH	GÇ
REF	1	19.54	68.10	4.02	8.33	29.31	62.36	0.00	8.33
	2	82.76	14.37	2.87	0.00	78.74	19.83	1.44	0.00
	3	79.60	19.83	0.57	0.00	83.91	16.09	0.00	0.00
	4	85.34	14.66	0.00	0.00	89.08	10.92	0.00	0.00
	5	94.25	5.75	0.00	0.00	98.28	1.72	0.00	0.00
	6	98.28	1.72	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
	7	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
KK	1	18.97	12.64	7.76	60.63	17.82	25.29	2.01	54.89
	2	46.26	49.14	0.00	4.60	55.75	44.25	0.00	0.00
	3	85.92	13.22	0.86	0.00	85.92	13.79	0.29	0.00
	4	85.92	14.08	0.00	0.00	89.37	10.63	0.00	0.00
	5	94.25	5.75	0.00	0.00	98.85	1.15	0.00	0.00
	6	98.85	1.15	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
	7	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00

Kısa kolon davranışının ayrıca sistem bazındaki etkilerini görebilmek amacıyla 96 adet 3-B doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinden elde edilen taban kesme kuvveti, tepe noktası ötelenme ve maksimum göreli kat ötelenme oranı parametreleri kıyaslanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Modeller arasındaki değişimlerin daha iyi anlaşılması adına analizlerden bulunan taban kesme kuvveti değerleri yapının ağırlığına oranlanarak "taban kesme kuvveti oranı", tepe noktası deplasman değerleri bina yüksekliğine oranlanarak "tepe noktası ötelenme oranı" ve göreli kat deplasman değerleri de kat yüksekliği ile oranlanarak "göreli kat ötelenme oranı" parametreleri bulunmuştur. Gerçekleştirilen analizler sonucunda kısa kolonlu (KK) bina modellerinden hesaplanan değerler ile referans (REF) bina verileri karşılaştırılarak kısa kolonlu binalar ile referans binalar arasındaki farklar irdelenmiştir. Farkların ortaya konması için bulunan sonuçların minimum, maksimum, standart sapma ve ortalama değerleri hesaplanarak istatistiksel açıdan bunların modeller arasındaki değişimleri üzerinden açıklamalar yapılmaya çalışılmıştır.

Gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre 4- ve 7- katlı referans binalarına ve kısa kolonlu binalara ait taban kesme kuvveti oranları Tablo 8'de gösterilmiştir. Net kolon boyunun azaltılmasıyla oluşturulan kısa kolonlardaki rijitlik artışına bağlı olarak kısa kolonlu binalara ait taban kesme kuvveti oranları ortalama değerler üzerinden değerlendirildiğinde referans binalara göre 4- ve 7- katlı binalarda sırasıyla yaklaşık %15 ve %10 dolayında artış görülmüştür. Taban kesme kuvveti oranları incelendiğinde hem referans hem kısa kolonlu binaların x ve y yönlerinde birbirine yakın sonuçlar bulunduğu görülmektedir. Katlar arasındaki farklara bakıldığında 7- katlı referans ve kısa kolonlu modellerde sırasıyla 4- katlı binalara göre %30 ve %35 civarında düşük taban kesme kuvveti oranları elde edilmiştir. Bu da kat sayısı arttıkça taban kesme kuvveti oranın azaldığını göstermektedir.

Tablo 8. 4- ve 7-katlı binalara ait taban kesme kuvveti oranları

Depremler	4-katlı bina				7-katlı bina			
	REF		KK		REF		KK	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Big Bear-FN	0.42	0.44	0.50	0.50	0.31	0.30	0.35	0.32
Big Bear-FP	0.45	0.46	0.53	0.51	0.33	0.32	0.36	0.33
Chichi-Taiwan-FN	0.45	0.47	0.52	0.52	0.33	0.31	0.38	0.37
Chichi-Taiwan-FP	0.41	0.44	0.52	0.54	0.32	0.30	0.32	0.31
Duzce-FN	0.43	0.46	0.53	0.54	0.29	0.28	0.32	0.31
Duzce-FP	0.43	0.46	0.54	0.52	0.31	0.30	0.28	0.28
Erzincan-FN	0.47	0.48	0.55	0.55	0.35	0.34	0.38	0.36
Erzincan-FP	0.43	0.43	0.48	0.50	0.29	0.29	0.32	0.32
Hector Mine-FN	0.41	0.40	0.47	0.50	0.28	0.28	0.32	0.31
Hector Mine-FP	0.42	0.42	0.42	0.45	0.30	0.28	0.34	0.32
Imperial Valley-FN	0.42	0.42	0.46	0.49	0.29	0.27	0.33	0.32
Imperial Valley-FP	0.44	0.46	0.52	0.50	0.33	0.31	0.37	0.35
Maksimum	0.47	0.48	0.55	0.55	0.35	0.34	0.38	0.37
Minimum	0.41	0.40	0.42	0.45	0.28	0.27	0.28	0.28
Standart Sapma	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
Ortalama	0.43	0.45	0.50	0.51	0.31	0.30	0.34	0.32

Kısa kolonlarının rijitliğinin artması ve kesme etkisiyle göçme konumuna geçen kolonların varlığı yapının deformasyon yapma yeteneğini sınırladığı için kısa kolonlu binaların referans binalara kıyasla sünek davranamadığı Tablo 9'da görülmektedir. Bununla bağlantılı olarak 4- ve 7- katlı referans binaların tepe noktası ötelenme oranları kısa kolonlu bina modellerine göre sırasıyla %45 ve %27 civarında fazla hesaplanmıştır. Kısa kolon davranışının bulunan tepe noktası ötelenme sonuçları üzerindeki etkisinin 4-katlı binada 7-katlı binaya göre daha fazla hissedildiğini söylemek mümkündür. Tepe noktası ötelenme oranlarına ait minimum ile maksimum değerlerin arasındaki fark 4- ve 7- katlı binalarda sırayla 2.2 ile 2.8 ve 4.5 ile 5.2 aralıklarında değişmektedir.

Tablo 9. 4- ve 7-katlı binalara ait tepe noktası ötelenme oranları (%)

Depremler	4-katlı bina				7-katlı bina			
	REF		KK		REF		KK	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Big Bear-FN	0.43	0.33	0.27	0.23	0.58	0.53	0.38	0.43
Big Bear-FP	0.66	0.54	0.46	0.37	0.93	0.82	0.89	0.85
Chichi-Taiwan-FN	0.50	0.49	0.33	0.24	0.82	0.76	0.58	0.67
Chichi-Taiwan-FP	0.35	0.51	0.24	0.32	0.87	0.82	0.72	0.68
Duzce-FN	0.53	0.46	0.35	0.39	0.66	0.61	0.63	0.60
Duzce-FP	0.73	0.76	0.60	0.49	0.70	0.67	0.22	0.21
Erzincan-FN	0.94	0.76	0.52	0.40	1.41	1.48	1.00	1.11
Erzincan-FP	0.46	0.38	0.35	0.31	0.36	0.32	0.31	0.30
Hector Mine-FN	0.34	0.35	0.36	0.35	0.29	0.30	0.26	0.27
Hector Mine-FP	0.35	0.27	0.21	0.23	0.39	0.37	0.31	0.33
Imperial Valley-FN	0.39	0.31	0.28	0.24	0.49	0.47	0.37	0.38
Imperial Valley-FP	0.50	0.36	0.27	0.28	0.74	0.79	0.60	0.59
Maksimum	0.94	0.76	0.60	0.49	1.41	1.48	1.00	1.11
Minimum	0.34	0.27	0.21	0.23	0.29	0.30	0.22	0.21
Standart Sapma	0.18	0.16	0.12	0.08	0.31	0.32	0.26	0.27
Ortalama	0.51	0.46	0.35	0.32	0.68	0.66	0.52	0.53

4- ve 7-katlı binalara ait göreli kat ötelenmesi değerlerinin kat yüksekliğine bölünmesi sayesinde elde edilen maksimum göreli kat ötelenme oranları Tablo 10'da gösterilmiştir. Referans binalarının kısa kolonlu binalara göre daha sünek davrandığı tepe noktası

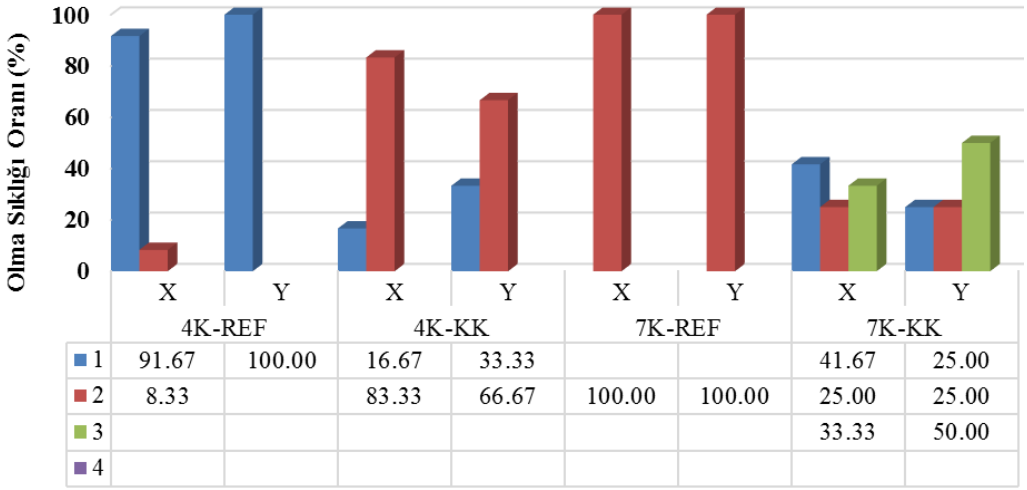
ötelenme oranlarında olduğu gibi göreli kat ötelenme sonuçlarında da görülmektedir. Ortalama göreli kat ötelenme oranları üzerinden yapılan kıyaslamada 4- ve 7- katlı referans binalara ait değerler kısa kolonlu bina verilerine bölündüğünde sırasıyla x yönü için 1.36, 1.02 ve y yönü için ise 1.29, 1.17 değerleri bulunmuştur.

Tablo 10. 4- ve 7- katlı binalara ait göreli kat ötelenme oranları (%)

Depremler	4-katlı bina				7-katlı bina			
	REF		KK		REF		KK	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Big Bear-FN	0.67	0.60	0.49	0.45	1.06	0.99	0.89	0.75
Big Bear-FP	1.18	0.93	0.82	0.90	1.83	1.51	3.51	2.28
Chichi-Taiwan-FN	0.86	0.92	0.57	0.41	1.55	1.42	1.16	1.18
Chichi-Taiwan-FP	0.59	0.99	0.41	0.56	1.63	1.49	2.11	1.46
Duzce-FN	0.93	0.84	0.65	0.72	1.16	1.03	1.16	1.10
Duzce-FP	1.26	1.50	1.46	1.35	1.35	1.21	0.39	0.39
Erzincan-FN	1.77	1.53	0.92	0.83	2.86	2.85	1.92	1.96
Erzincan-FP	0.79	0.70	0.63	0.60	0.66	0.61	0.56	0.54
Hector Mine-FN	0.51	0.55	0.62	0.67	0.50	0.54	0.47	0.52
Hector Mine-FP	0.60	0.45	0.37	0.41	0.66	0.64	0.61	0.57
Imperial Valley-FN	0.67	0.53	0.49	0.43	0.90	0.86	0.71	0.72
Imperial Valley-FP	0.83	0.63	0.46	0.54	1.39	1.43	1.74	0.99
Maksimum	1.77	1.53	1.46	1.35	2.86	2.85	3.51	2.28
Minimum	0.51	0.45	0.37	0.41	0.50	0.54	0.39	0.39
Standart Sapma	0.36	0.36	0.30	0.27	0.65	0.63	0.91	0.60
Ortalama	0.89	0.85	0.66	0.66	1.30	1.22	1.27	1.04

Hesaplanan istatistiksel verilerin standart sapma değerleri incelendiğinde taban kesme kuvvetine ait standart sapmaların tepe noktası ve göreli kat deplasmanların değerlerine göre daha düşük bulunduğu belirlenmiştir. Tüm bina gruplarının taban kesme kuvvetleri için standart sapma değerleri birbirine yakın olmakla birlikte kısa kolonlu modellerde referans binalara göre deplasman taleplerine ait standart sapma değerlerinde genel olarak bir miktar azalma hesaplanmıştır. Katlar açısından bakıldığında 4- katlı binaların tepe noktası ve göreli kat ötelenme oranlarına ait standart sapma değerlerinin 7- katlı binalara kıyasla daha düşük hesaplandığı görülmüştür.

Dikkate alınan binalarda göreli kat deplasmanına ait maksimum değerin oluştuğu kat bulunarak diğer katlar arasındaki durumu Şekil 7'de verilmiştir. 4- katlı referans ve kısa kolonlu binalarda maksimum göreli kat deplasmanının 1. ve 2. katta oluştuğu gözlemlenirken, referans binalarda 1. katta kısa kolonlu binalarda ise 2. katta sıklıkla ortaya çıktığı belirlenmiştir. 7- katlı referans binalarında ise maksimum deplasmanın tamamının 2. katta oluştuğu belirlenirken kısa kolonlu bina modellerinde 1., 2. ve 3.kata yayıldığı görülmüştür.



Şekil 7. 4- ve 7-katlı binalarda maksimum göreli kat ötelenmesinin oluştuğu katlara göre dağılımı (maksimum göreli kat deplasmanının ilgili katta oluşma sayısı /seçilen ivme kaydı sayısı)

4. Sonuçlar

Bu çalışmada kısa kolon davranışının orta katlı betonarme yapılar üzerindeki etkileri doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerle belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla herhangi bir düzensizliğe sahip olmayan 4- ve 7- katlı referans bina modelleri 3-B olarak tasarlanmıştır. Daha sonra kısa kolon etkilerinin belirlenebilmesi için modellerin x yönündeki en dış iki aksında bulunan kolonların net boyları kısaltılarak kısa kolonlu bina modelleri oluşturulmuştur. Gerçek deprem ivme kayıtları arasından seçilen 12 adet deprem kaydıyla referans ve kısa kolonlu binaların x ve y yönünde olmak üzere toplamda 96 adet doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Doğrusal olmayan analizler sonucunda 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre yapı elemanlarının hasar seviyeleri ve sistem bazındaki taban kesme kuvveti oranı, tepe noktası ve göreli kat ötelenme oranı gibi parametreler hesap edilmiştir. Referans ve kısa kolonlu binalardan elde edilen hasar durumları ve değişkenler üzerinden karşılaştırmalar yapılarak kısa kolon davranışının etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bilgiler doğrultusunda aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

- Kısa kolonlu modellerde kesme etkisinden dolayı kısa kolonlar moment kapasitelerine ulaşamayıp etrafındaki bağlı olan kirişleri zorlamadıklarından kirişlerin yeterli deformasyon yapmalarını sınırlandırmıştır. Buna bağlı olarak referans binaların zemin katındaki kiriş hasarlarının kısa kolonlu binalara göre daha ileride olduğu bulunmuştur. Ayrıca kısa kolonlu bina modellerinin ikinci kat kirişlerindeki hasar durumunun zemin kata göre daha fazla olduğu görülmüştür.

- 4- katlı referans binada göçme hasarına uğrayan kolona rastlanmazken kısa kolonlu modellerde zemin katta kolonlarda %40'a varan oranda göçme hasarı elde edilmiştir. 7-katlı binada kolonlardaki göçme durumuna bakıldığında referans binanın zemin katında %8 gibi sınırlı bir hasar görülürken kısa kolonlu binada %60 dolayında hasarın olduğu tespit edilmiştir. Tüm modeller dikkate alındığında zemin kattan üst katlara doğru gidildikçe genel olarak kolonlardaki hasar seviyesinin azalarak iyileştiği gözlemlenmiştir.

- Kolonların net boylarının azaltılmasıyla oluşturulan kısa kolonların rijitliğinin artması ve kendilerine daha fazla kesme kuvveti çekmesinden dolayı 4- ve 7- katlı kısa kolonlu binalarda referans binalara göre sırasıyla taban kesme kuvveti oranlarında yaklaşık %15 ve %10 civarında artış hesaplanmıştır.

- Kısa kolonların sünek davranışa izin vermemesi deplasman taleplerinde de hissedilirken 4- ve 7- katlı referans binalarda tepe noktası ötelenme oranlarında kısa kolonlu bina modellerine göre sırasıyla %45 ve %27 dolayında artış bulunmuştur.

- Göreli kat ötelenme oranlarında da tepe noktası ötelenme taleplerindeki değişime benzer bir eğilim görülmüştür. Referans binaların kısa kolonlu bina modellerine göre sünek bir davranış sergilediği 4- ve 7- katlı referans binaların göreli kat ötelenme oranlarının yaklaşık olarak referans binalara kıyasla sırayla %30 ve %10 civarında fazla olduğu hesaplanmıştır.

- Genel olarak değerlendirildiğinde kısa kolonun hasar durumuna etkisi 7-katlı binada 4-katlı binaya göre daha fazla olurken taban kesme kuvveti ve deplasman taleplerindeki değişim miktarı 4-katlı binada 7-katlı binaya nazaran daha fazla hissedilmektedir.

Referanslar

Bayraktar, A., Altunişik, A. C., Pehlivan, M. (2013). Performance and damages of reinforced concrete buildings during the October 23 and November 9, 2011 Van, Turkey, earthquakes. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 53, 49-72. doi: 10.1016/j.soildyn.2013.06.004

Çağatay, İ.H., Beklen, C. (2009). Düzlem çerçevelerde kısa kolon etkisinin incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(1), 91-97.

DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

Demir, S., Hüsem, M., Altın, S., Pul, S., Bikçe, M., Emsen, E. (2013). Mevcut betonarme yapılarda kısa kolon davranışlarının iyileştirilmesi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül, Hatay.

Inel, M., Ozmen, H.B., Akyol, E. (2013). Observations on the building damages after 19 May 2011 Simav (Turkey) earthquake. Bulletin of Earthquake Engineering, 11(1), 255-283. doi: 10.1007/s10518-012-9414-3

Işık, G. (2006). Betonarme binaların zemin katında oluşabilen kısa kolon ve yumuşak kat davranışının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, Türkiye.

Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. Journal of Structural Engineering, 114(8), 1804-1825. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804)

Mutlu, M. (2007). Deprem etkisindeki betonarme binalarda kısa kolon etkisinin doğrusal olmayan davranışının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, Türkiye.

Ozmen, H.B., Inel, M., Akyol, E., Cayci, B.T., Un, H. (2014). Evaluations on the relation of RC building damages with structural parameters after May 19, 2011 Simav (Turkey) earthquake. Natural Hazards, 71(1), 63-84. doi: 10.1007/s11069-013-0900-y

Özmen, H.B. (2005). Hızlı değerlendirme yöntemlerinde kullanılan parametrelerin yapı performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye.

Peer. (2011). Pacific Earthquake Engineering Research Center. http://peer.berkeley.edu, Erişim tarihi: 10.12.2018.

SAP2000.V-20. (2018). Structural Analysis Program, Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual, Computers and Structures Inc., Berkeley (CA, USA).

SEMAp. (2008). Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı. Tubitak Proje No: 105M024.

Tayfur, B., Can, Ö. (2018). Farklı yüksekliğe sahip boşluklu perde duvarlara ait davranış eğrilerinin SAP2000 OAPI ile elde edilmesi. Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 6(3), 84-91.

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

Yon, B., Sayin, E., Calayir, Y., Ulucan, Z.C., Karatas, M., Sahin, H. , Alyamac, K.E., Bildik, A.T. (2015). Lessons learned from recent destructive Van, Turkey earthquakes. Earthquakes and Structures, 9(2), 431-453. doi: 10.12989/eas.2015.9.2.431

Yön, B., Sayın, E., (2008). Kısa kolon teşkilinin yapı hasarlarına etkisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24 (1), 241-259.