

Önüretimli Betonarme Çerçeveveli Binalarda Deprem Yüğü Azaltma Katsayısının Araştırılması

INVESTIGATION OF RESPONSE MODIFICATION FACTORS FOR PRECAST CONCRETE BUILDINGS WITH FRAMES

ABSTRACT

Moment-resisting beam-column connections including emulative and mechanical components (welding) are widely used solutions in precast construction practice in Turkey. Hybrid connections are constructed by welding of corbel plates to beam end plates where beam longitudinal rebars are welded, and casting of concrete through the designated gaps in column elements at site. This study presents the development of a numerical model for simulating the cyclic behaviour of hybrid connections to be used to assess seismic performance of multi-storey precast concrete structures. The numerical model includes truss-based elements for beam-column connections and fiber-based elements for beams and columns. In this scope, response modification factors of precast concrete moment frames are investigated by performing static pushover and incremental dynamic analyses on three- and five-storey frames. Response modification factors for precast moment frames are obtained by the ratio of the maximum to yield peak ground accelerations.

ÖZET

Ülkemizdeki önüretimli betonarme binalarda ıslak ve mekanik (kaynaklı) bileşenleri içeren hibrit kolon-kiriş bağlantıları yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Hibrit bağlantılar, kiriş boyu-

na donatılarının kaynaklandığı kiriş uç plakalarının kısa konsol plakasına kaynaklanması ve kolonda bırakılan boşluklara sahada beton dökümü ile oluşturulmaktadır. Bu çalışmada, çok katlı, hibrit bağlantıları bulunan önüretimli binaların sismik performansının belirlenmesinde kullanılabilecek bir sayısal benzeşim modeli sunulmuştur. Hibrit bağlantılar için kurulan sayısal model, birleşim bölgesi için doğrusal olmayan kafes kiriş, birleşim bölgesi dışındaki kolon ve kirişlerde ise kesit hücresi (lif) modelleme yaklaşımlarını içermektedir. Çalışma kapsamında, önüretimli betonarme çerçevelerin deprem yükü azaltma katsayıları, üç ve beş katlı çerçevelerin doğrusal olmayan statik itme ve artımsal dinamik analizleri ile araştırılmıştır. Önüretimli çerçeve tipi binaların deprem yükü azaltma katsayıları, artımsal dinamik analizlerde ulaşılan maksimum yer ivmesinin akma anındaki maksimum yer ivmesine oranı olarak belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

Önüretimli betonarme yapılar gerek ülkemizde, gerekse Avrupa'da yapım kalitesi ve üretim sürecindeki hızlılık bakımından sağladığı avantajlarla endüstriyel yapılarda uygulanmaktadır. Önüretimli betonarme yapıların çok katlı yapılarda uygulanması, yeterli dayanım, süneklik ve rijitliğe sahip moment aktarabilen bağlantıların geliştirilmesine bağlıdır. Önüretimli moment aktarabilen kolon-kiriş bağlantılarının geliştirilmesi için yönetmeliklerde önerilecek bağlantının deneysel ya da analitik yöntemlerle monolitik sisteme



Dr. Sadık Can GİRGIN

Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2004 yılında mezun oldu. Kasım 2007'de araştırma görevlisi olarak atandığı DEÜ İnşaat Mühendisliği Bölümünde Dr. Öğretim üyesi olarak 2018 Ocak ayından beri görev yapmaktadır. Doktora sırasında California Üniversitesi, Berkeley (ABD)'de (2012) ve doktora sonrasında Virginia Politeknik ve Üniversitesinde (ABD) (2015-16) misafir araştırmacı olarak bulundu. 2014 yılı Mayıs ayında "Moment aktaran prefabrik betonarme kompozit iç kolon-kiriş bağlantılarının iyileştirilmesi" tezi ile doktora çalışmalarını tamamladı. Çalışma alanları: deneysel yapı mekaniği, yapıların onarımı ve güçlendirilmesi, betonarme yapıların analitik modellenmesi, performans dayalı tasarım.

eşdeğerliğinin belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Ülkemizdeki önüretimli yapılarda yaygın olarak uygulanan hibrit kolon-kiriş bağlantıları (Negro ve Toniolo, 2012), kirişte negatif moment sürekliliği yerinde dökme tamamlayıcı beton ile, pozitif moment sürekliliği ise kiriş boyuna donatılarının kaynaklanması ile sağlanmaktadır (Girgin v.d., 2017a).

Önüretimli betonarme yapıların ve yapı elemanlarının depreme dayanıklı tassa-

rımı için yönetmeliklerde dayanıma ve şekildeğiştirmeye göre tasarım esasları belirlenmiştir (TBDY, 2017). Dayanıma göre tasarımda *deprem yükü azaltma katsayısının* (R_a) belirlenmesi, binaya etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanabilmesi için temel parametredir. Karadoğan v.d. (2015) çalışmasında tek katlı, mafsallı bağlantıları bulunan önüretimli binaların kolonlarının yerdeğiştirme taleplerinin ve deprem yükü azaltma katsayılarının belirlenebilmesi için hesap adımları önermiştir. Zafar (2009) çalışmasında, moment aktaran betonarme çerçeve tipi yapılarda deprem yükü azaltma katsayılarının belirlenmesi için artımsal dinamik analiz (IDA) yaklaşımı uygulanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı ($R(T)$), artımsal dinamik analiz uygulandığı en büyük yer ivmesinin, sistemin akmaya ulaştığı andaki yer ivmesine oranlanması ile elde edilmiştir (Zafar, 2009).

Yapısal sistemlerin değerlendirilmesinde uygulanacak sayısal modellerin yapıda gelişebilecek hasar modları ile rijitlik, enerji tüketimi ve dayanım karakteristiklerini yansıtabilmesi gereklidir. Sayısal modelleme yaklaşımları; yığılı plastisite, yayılı plastisite, makro modeller ve kafes sistem modelleri olmak üzere dört ana başlıkta toplanabilir.

Kafes kiriş analogisi betonarme elemanlarda kesme etkilerinin modellenilebilmesi amacı ile geliştirilmiştir. Betonarme perdelerin çevrimsel davranışının sayısal benzeştirilmesinde Lu ve Panagiotou (2014) tarafından sonlu eleman boyut etkilerini dikkate alan kafes sistem modeli geliştirilmiştir. Moharrami v.d. (2015) kesme etkilerine karşı yetersiz kolonlarda agrega kenetlenmesinin kesmeye katkısını dikkate alan kafes sistem modeli önermiştir. Bowers (2014) çalışmasında, sünekliği yetersiz betonarme çerçevelerde

kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kafes sistem modelini; birleşim bölgesi dışındaki kolon ve kiriş elemanlarda ise yayılı plastisite yaklaşımını uygulamıştır.

Bu çalışmada, moment aktaran hibrit kolon-kiriş bağlantıları bulunan önüretimli betonarme çerçevelerin deprem yükü azaltma katsayıları araştırılmıştır. Bu amaçla, üç ve beş katlı çerçeve modelleri hibrit bağlantılar için önerilen sayısal modele bağlı olarak oluşturulmuştur. Süneklik düzeyi yüksek önüretimli betonarme binaların deprem yükü azaltma katsayıları, doğrusal olmayan statik itme ve artımsal dinamik analizler uygulanarak değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Islak-kaynaklı (hibrit) önüretimli kolon-kiriş bağlantılarının çevrimsel davranışlarının iyileştirilmesi kapsamında 1 adet monolitik (referans), 5 adet iç önüretimli kolon-kiriş bağlantı testi gerçekleştirilmiştir. Deneysel numuneleri süneklik düzeyi yüksek önüretimli betonarme bir binanın iç kolon-kiriş birleşimlerini temsil etmektedir (Girgin v.d., 2017a). Çalışma kapsamında SP3-R kolon-kiriş bağlantı numunesinin test sonuçları sunulmuştur. SP3-R numunesinin boyutları ve donatı detayları Şekil 1'de verilmektedir. Betonarme kiriş 300 mm genişliğinde ve 350 mm yüksekliğinde önüretimli; üst kısmı ise yerinde dökme 150 mm'lik tamamlayıcı betondan oluşmaktadır (Şekil 1a). Önüretimli kolon kare kesitli ve 400 mm boyutlarında olup, 300 mm uzunluğundaki kısa konsol ve birleşim panelinin üstünde tamamlayıcı beton için bırakılan 150 mm'lik boşluktan oluşmaktadır. Kiriş alt boyuna donatıları kiriş uç plakasına kaynaklanmakta; kiriş üst boyuna donatısı ise birleşim panelinin üst kısmındaki boşluktan geçirilerek moment aktarımı sağlanmaktadır (Şekil 1c). Kolon-kiriş bağlantı

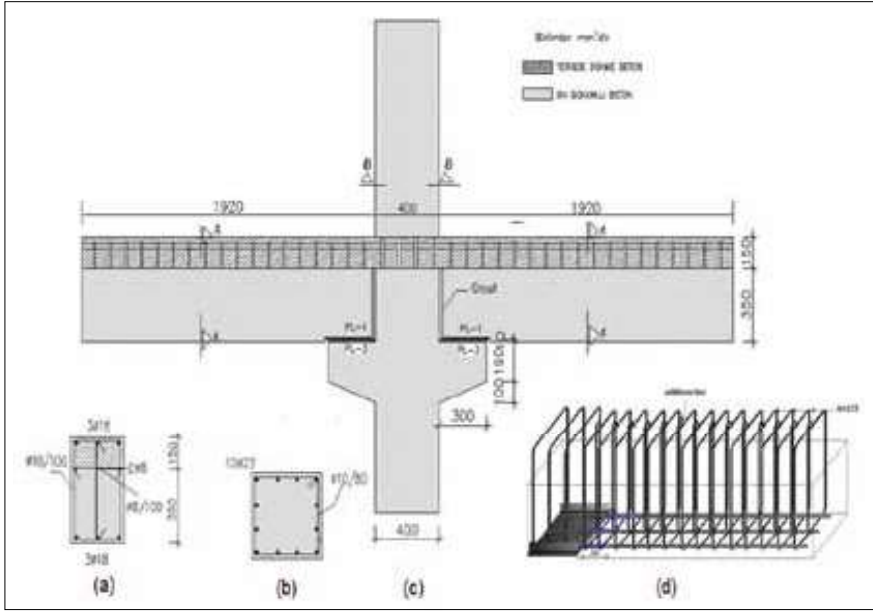


Doç. Dr. İbrahim Serkan MISIR

Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü'nden 1999 yılında mezun oldu. 1999 - 2001 tarihleri arasında Marmara depremi sonrası hasar tespit ve güçlendirme projesi hazırlanması görevlerinde bulundu. Mayıs 2004-2016 tarihleri arasında DEÜ İnşaat Müh. Bölümü Yapı Müh. Laboratuvarı'nın kurucu üyesi olarak Uzman kadrosunda görev yaptı. Nisan 2016'dan itibaren DEÜ İnşaat Müh. Bölümü'nde Doçent ünvanı ile görev yapmaktadır. 2011 yılında "Betonarme Yapıların Deprem Davranışının İyileştirilmesinde Çimento Şerbeti Emdirilmiş Lifli Beton (SIFCON) Kullanımı" tezi ile doktor ünvanı aldı. 2014 yılında TÜBİTAK 2219 yurtdışı araştırma bursu ile Virginia Politeknik ve Eyalet Üniversitesi/ABD'de doktora sonrası araştırmalarda bulundu. Çalışma alanları: deneysel yapı mekaniği ve dinamiği, yapıların onarımı ve güçlendirilmesi, betonarme ve yığma yapıların analitik modellenmesi, performans dayalı tasarım.

testleri sırasında, plakaya kaynaklı kiriş boyuna donatılarının düşük birim deformasyonlarda kopma meydana geldiği belirlenmiştir. Kaynaklı boyuna donatılardaki birim deformasyon taleplerinin azaltılması amacıyla boyuna donatı çapının 10 katı kadar bölgede aderans bozulması ($L_u = 10d_b$) uygulanmıştır.

Deneysel gün test edilen küp numune dayanımları silindirik dayanımına çevrilerek kolon elemanlar için 45 MPa, kiriş elemanlar içinse 40 MPa olarak belirlenmiştir. Tamamlayıcı betonun



Şekil 1. SP3-R kolon-kiriş bağlantısı (a) Kiriş ve (b) Kolon en kesitleri, (c) Bağlantı numunesi, (d) Aderans bozulması uygulanması (Girgin v.d., 2017a).

deney günü silindir numune dayanımı 35 MPa'dır. Kiriş boyuna donatılarının akma dayanımı 461 MPa, maksimum dayanımı 596 MPa olarak belirlenmiştir.

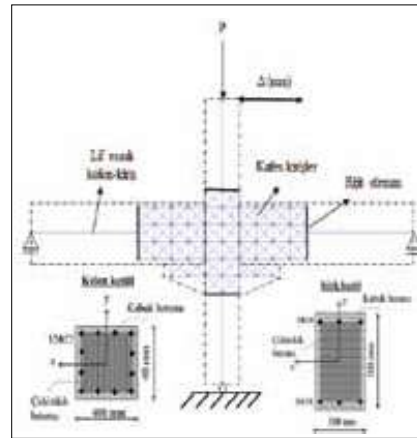
Kolona deney süresince aksel yük kapasitesinin % 8'i düzeyinde basınç yükü uygulanmıştır. Testler sırasında, yerdeğiştirmeler ACI 374 (2005)'e uygun olmak üzere kolon tepe ucuna tersinir-tekrarlı üçer adet tam çevrim olarak ötelenme oranları cinsinden uygulanmıştır.

Deneyler numunelerin elastik ötesi davranışlarının geniş bir bölgede ortaya konabilmesi için % 4 görel kat ötelenme oranına kadar sürdürülmüştür. SP3-R numunesinde ilk eğilme kesme çatlakları % 0.35 ve % 1 ötelenme oranlarında gözlenmiştir. Birleşimdeki ilk diyagonal çatlaklar % 1.4 ötelenme oranında gelişmiştir. İtme ve çekme yönlerinde maksimum dayanıma % 2.2 ötelenme oranında ulaşılmış, % 3.5 ötelenme oranının ikinci çevrimine kadar dayanımda azalma gözlenmemiştir. SP3-R numunesinde donatı

burkulması engellenebilmiştir. Kiriş alt plakasına kaynaklı boyuna donatılarda gelişen birim deformasyonlar aderans bozulması ile azaltılabilmektedir.

3. KOLON-KIRIŞ BİRLEŞİM BÖLGESİ SAYISAL MODELİ

Sayısal model çalışmaları, yapı ve deprem mühendisliğinde kullanılan OpenSees sonlu elemanlar yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (McKenna v.d., 2015). Hibrit kolon-kiriş bağlantıları



Şekil 2. Önüretimli kolon-kiriş birleşim bölgesi için kurulan sayısal model (Girgin v.d., 2017b).



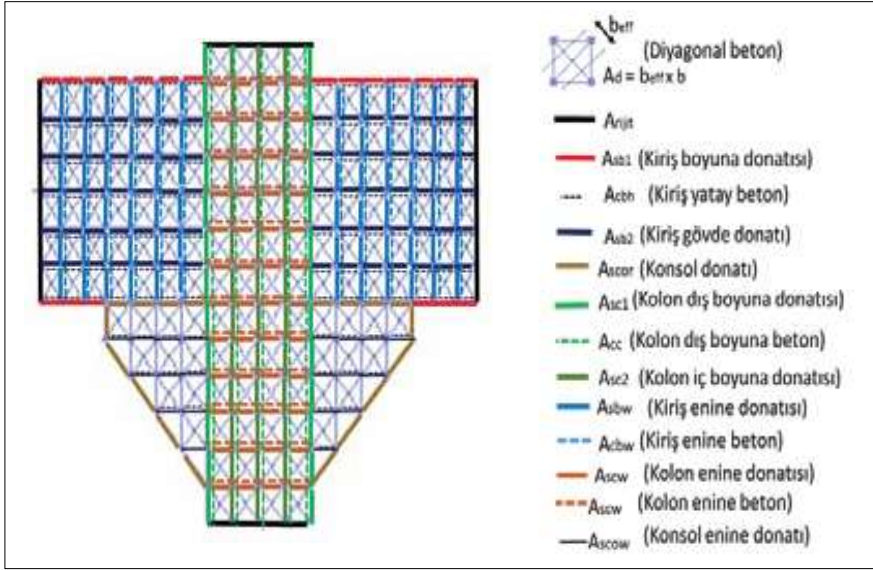
Prof. Dr. Serap KAHRAMAN

Lisans eğitimini Orta Doğu Teknik Üniversitesi, yüksek lisans ve doktora eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi'nde tamamladı. Akademik çalışmalarını Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü'nde sürdürmektedir.

Mukavemet, ileri yapı statığı, sonlu elemanlar yöntemi, plak teorisi derslerini vermekte, deneysel yapı mekaniği, deprem riski, deprem hasarlarının azaltılması, betonarme yapıların deprem performanslarının iyileştirilmesi, kullanıcı dostu güçlendirme yöntemleri, yapı sağlığının gözlenmesi, mühendislik eğitimi üzerine çalışmaktadır.

için oluşturulan sayısal modelde bölgesinde doğrusal olmayan kafes kiriş modelleme yaklaşımı esas alınmıştır. Birleşim bölgesi dışında bulunan kolon ve kirişler ise doğrusal olmayan kesit hücresi (lif) esaslı kolon-kiriş elemanı ile tanımlanmıştır. Kolon ve kirişler kuvvet esaslı doğrusal olmayan eleman ve iki integrasyon noktası ile tanımlanmış olup kafes sisteme rijit elemanlarla bağlanmıştır (Şekil 2).

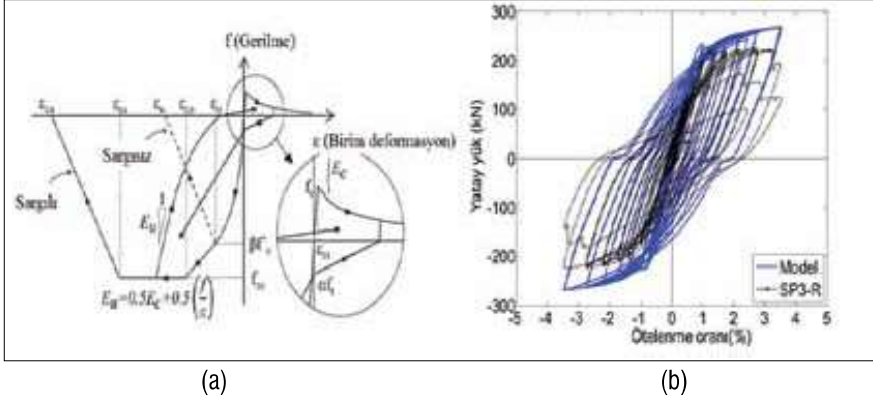
Birleşim bölgesindeki kafes kiriş modeli, kolon ve kirişteki enine ve boyuna donatıların yerleşimine göre belirlenmiştir. Kafes sistemi oluşturan çubuk elemanlar Şekil 3'de verilmektedir ve diyagonal elemanların yatayla yaptığı açı (θ_0) 42°'dir. Kiriş gövdesindeki yatay donatılar gövde donatı alanlarının çubuk sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir. Kafes sistem elemanlarının alanları Tablo 1'de verilmektedir.



Şekil 3. Kafes kiriş modeli ve çubuk elemanları (Girgin ve Kahraman, 2016).

Tablo 1. Kafes kiriş modelinde çubuk eleman alanları (mm²)

A _{sb1}	A _{cbh}	A _{sb2}	A _{scor}	A _{sc1}	A _{cc}	A _{sc2}	A _{sbw}	A _{cbw}	A _{scw}	A _{ccw}	A _{sow}
763.4	48000	78.5	1270	1520.5	6400.0	760.3	235.6	4800.0	157.1	28000	226.2



Şekil 4. (a) Beton modelleri için gerilme-birim şekildeğiştirme ilişkileri, (b) Deneysel veri ile sayısal modelin kıyaslanması

Sayısal modellerdeki beton kafes elemanlarla beton kesit hücreleri için Lu ve Panagiotou (2014) tarafından geliştirilen *Concretewbeta* beton modeli uygulanmış olup gerilme-birim deformasyon ilişkileri Şekil 4a'da verilmektedir. Beton başlangıç elastisite modülü, $E_c = 5000\sqrt{f_c}$ (MPa) ile hesaplanmıştır. Basınç bölgesinde ulaşılan basınç dayanımı sonrasında azalan kısımda

ϵ_u değeri Lu ve Panagiotou (2014) tarafından verilen yöntemle belirlenmiştir. Sargılı betonun basınç dayanımı ve en büyük birim şekildeğiştirme Mander (1988) beton modeline göre hesaplanmıştır.

Yatay ve düşeydeki beton kafes elemanlarının çekme dayanımı, $f_t = 0.33\sqrt{f_c}$ (MPa) olarak alınmıştır. Çekme dayanımına ulaştık-



Doç. Dr. Özgür ÖZÇELİK

1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesinden İnşaat Mühendisi, 2002 yılında aynı üniversiteden Yüksek Mühendis ünvanı aldı. Aynı yıl University of California, San Diego'da doktora çalışmalarına başladı. 2008 yılında bu üniversiteden doktor ünvanını alarak mezun oldu. Dokuz Eylül Üniversitesinde, Aralık 2009 - Ocak 2014 tarihleri arasında yardımcı doçent, Ocak 2014'ten beri de doçent olarak akademik çalışmalarını sürdürmektedir.

Araştırma alanları: deneysel yapı dinamiği, yapı dinamiği, deprem mühendisliği, mühendislik yapılarının sistem tanımlaması, yapı sağlığının izlenmesi (structural health monitoring), operasyonel modal analiz, istatistiksel ve adaptive sinyal işleme, sonlu eleman yöntemleri, zemin-temel-yapı etkileşimi, deprem simülasyonu (sarsma tablası) dinamiği, doğrusal olmayan yapı-sarsma tablası dinamik etkileşimi, deprem simülasyonu modellenmesi, dizaynı ve kontrolü, büyük ölçekli sarsma tablası testleri şeklindedir.

tan sonraki azalma, Stevens (1991) tarafından verilen çekme güçlenmesi denklemine göre belirlenmiştir. Diagonal beton kafes elemanlarda ise çekme dayanımı dikkate alınmamıştır. Diagonal beton kafes elemanlarda beton basıncının enine doğrultudaki çekme birim deformasyonlarına bağlı değişimi analizin her adımında azaltma katsayısı ile çarpımı ile elde edilmiştir. Kolon ve kirişteki enine ve boyuna donatılarda ise OpenSees'de yer alan *Re-*

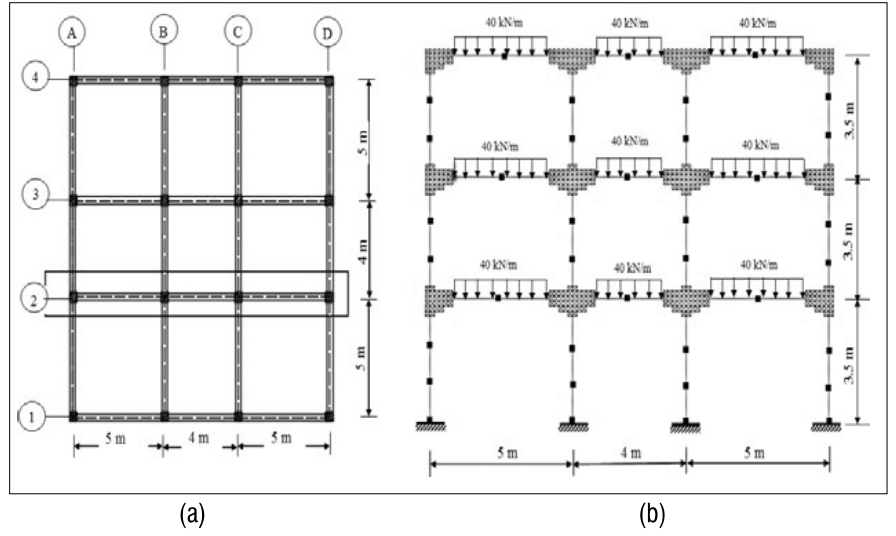
*inforcing*Steel donatı malzeme modeli tanımlanmıştır.

SP3-R kolon-kiriş bağlantısı için deneysel çalışmada elde edilen ve sayısal modelde hesaplanan tepe yükü- yerdeğiştirme grafikleri Şekil 4b'de verilmiştir. Sayısal model % 3.5 ötelenme oranının 2. çevrimine kadar deneysel çalışmada elde edilen dayanıma yakın değerdedir. Sayısal modelde maksimum ulaşılan yük ile deneysel olarak belirlenen yük değeri oranı 1.15 olarak belirlenmiştir.

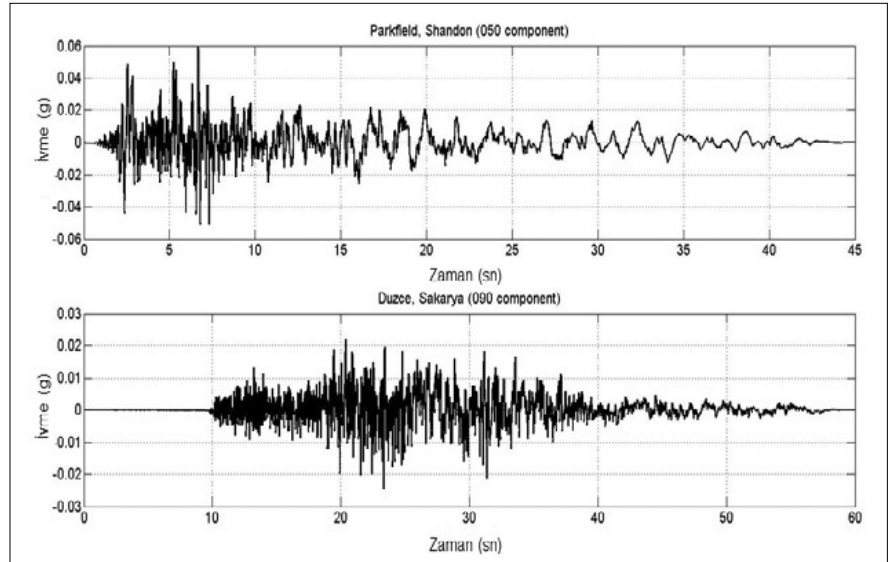
4. ÖNÜRETİMLİ ÇERÇVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN YAPISAL ANALİZLERİ

4.1 Yapısal Analiz Modelleri

Önüretimli betonarme çerçeve tipi binaların deprem yükü azaltma katsayıları üç katlı (M3) ve beş katlı (M5) çerçevelerin analizleri ile araştırılmıştır (Girgin v.d., 2017b). İş merkezine ait plan ve incelenen üç açıklıklı çerçeve ve Şekil 5a'da verilmektedir. 2-2 aksı için Şekil 5b'de verilen yapısal analiz modelinde kolon, kiriş ve bağlantı boyutları ile donatı detayları Şekil 1'de verilen numune detayları dikkate alınmıştır. Kirişlerde hesap yükü 40 kN/m olarak hesaplanmıştır. Kiriş ve kolonlar için iki integrasyon noktası bulunan kuvvet esaslı kolon-kiriş elemanları tanımlanmıştır. Hibrit kolon-kiriş birleşim bölgesi, Şekil 3'de verilen sayısal model ile temsil edilmektedir. Modellerin 1. ve 2. modları için %5 kritik sönüm oranına karşılık gelen Rayleigh sönümü uygulanmıştır. Kat kütleleri kolon-kiriş birleşimlerine kat düzeylerinde tanımlanmıştır. Üç katlı (M3) ve beş katlı (M5) modeller için hâkim moda ait periyotları 0.34 sn ve 0.51 sn olarak hesaplanmıştır. Önüretimli çerçevelerin sismik performanslarının belirlenebilmesi için doğrusal olma-



Şekil 5. (a) Önüretimli bir betonarme binanın planı, (b) Üç katlı (M3) çerçevenin yapısal analiz modeli (Girgin v.d., 2017b)



Şekil 6. Artımsal dinamik analizler (IDA) için kullanılan ölçeklenmemiş deprem kayıtları

yan artımsal dinamik analizler ve statik analizler gerçekleştirilmiştir.

4.2 Artımsal Dinamik Analiz Yöntemi

Betonarme yapıların sismik performansının değerlendirilmesinde doğrusal olmayan statik itme analizleri ve doğrusal olmayan dinamik analizler yaygın olarak uygulanmaktadır. Artımsal dinamik analiz (IDA) yaklaşımı, maksimum görece kat ötelenme oranı (θ_{max}), kesit dönmesi gibi hasar ölçütlerini binanın hâkim moduna ait

spektral ivme değeri ($S_a(T_1; \%5)$) gibi şiddet ölçütleri ile ilişkilendirmek üzere Vamvatsikos ve Cornell (2002) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Artımsal dinamik analiz yönteminde, bir ya da birden fazla ölçeklenmemiş (kaydedilmiş) deprem kaydı seçilmektedir. Yapının ilk moduna karşılık gelen spektral ivme, $S_a(T_1; \%5)$ elastik bölgeden başlayıp (0.05g, 0.1g v.b.) artacak şekilde seçilen ölçeklenmemiş deprem kayıtları ölçek faktörü ile

arttırılır. Arttırılan her deprem kaydı için gerçekleştirilen dinamik analizlerde elde edilen maksimum görece kat ötelenme oranları (θ_{max}) ve spektral ivme $S_a(T_1; \%5)$ değerlerinin çizilmesi ile artımsal dinamik analiz (IDA) eğrileri elde edilir. Artımsal dinamik analizler, eğride ardışık noktalar arasındaki eğimin, elastik bölgedeki eğimin %20'nden az değerine ulaşmaya kadar sürdürülmüştür (FEMA 350, 2000). Bu çalışmada, çerçevelerin sismik performansının belirlenebilmesi için Şekil 6'da verilen Düzce (1999) ve Parkfield (1966) deprem kayıtları kullanılmıştır (PEER, 2017).

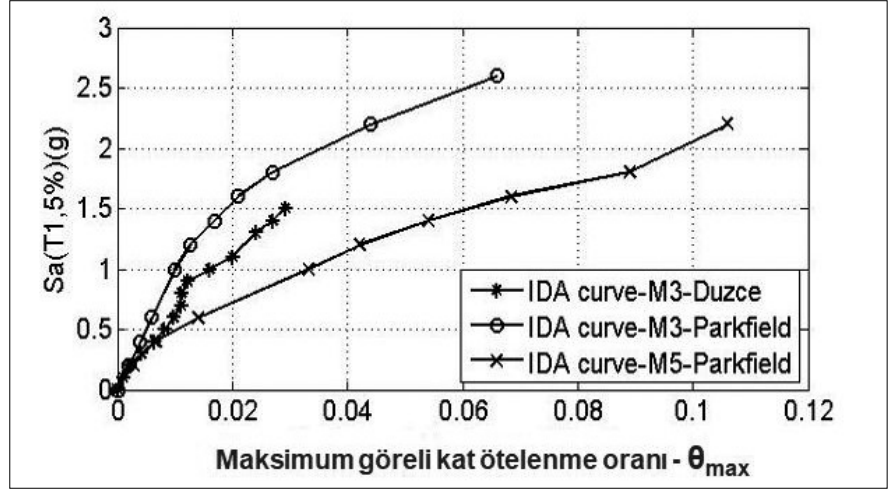
4.3 Analiz Sonuçları

3 ve 5 katlı yapısal analiz modellerinde (M3-M5) 35 adet doğrusal olmayan artımsal dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerde ulaşılan maksimum görece kat ötelenme oranı (θ_{max}) ile spektral ivme değerlerinin $S_a(T_1; \%5)$ birleştirilmesi ile Şekil 7'de verilen artımsal dinamik analiz (IDA) eğrileri elde edilmiştir. M3 ve M5 yapısal analiz modelleri için artımsal dinamik analizlerle, statik itme analizinden elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 8'de verilmektedir. Deprem yükü azaltma katsayıları $-R(T)$, Zafar (2009) çalışmasında göz önüne alınan yaklaşıma göre belirlenmiştir. Buna göre deprem yükü azaltma katsayısı, en büyük yer ivmesinin (PGA_y), sistemin akma anındaki yer ivmesine (PGA_u) olmak üzere

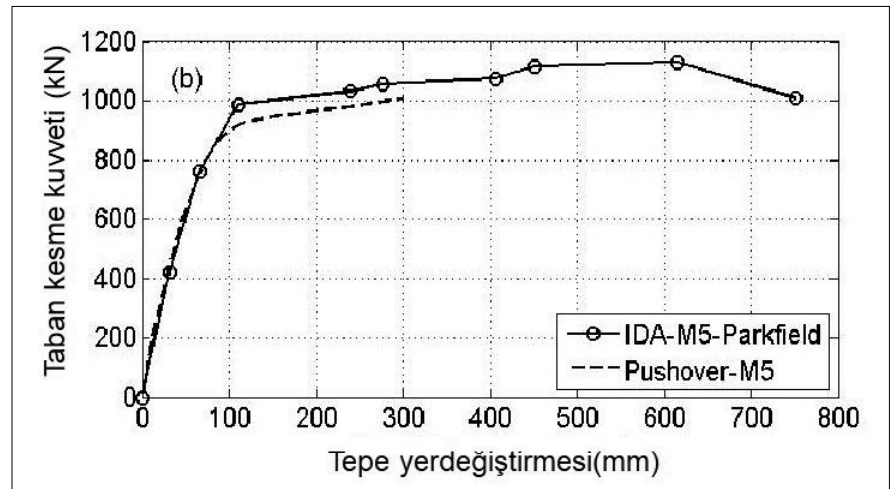
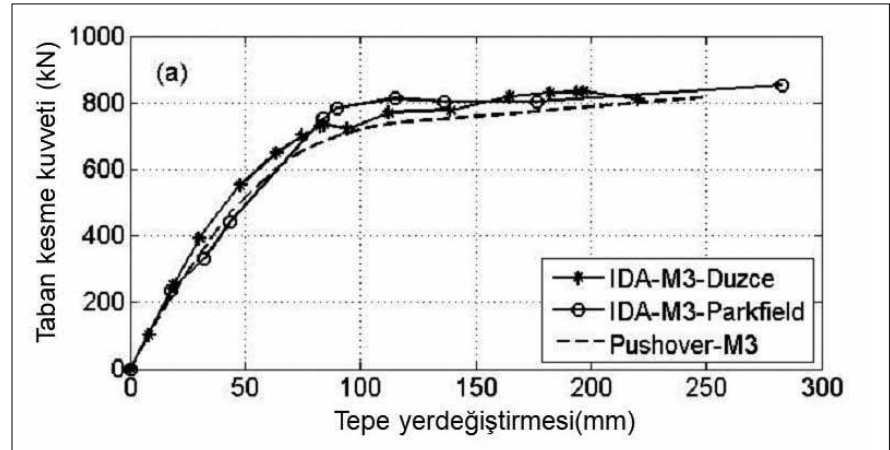
$$R(T) = \frac{PGA_u}{PGA_y} \quad (1)$$

denklemleri ile belirlenmiştir.

Şekil 8'de verilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkilerinde akma yerdeğiştirme FEMA P-395 (2011)'e göre maksimum kesme kuvvetinin (V_{bmax}) %40'ına karşılık gelen yük değeri ile maksimum dayanımın



Şekil 7. Yapısal analiz modelleri için artımsal dinamik analiz (IDA) eğrileri



Şekil 8. (a) 3 katlı ve (b) 5 katlı yapısal analiz modelleri için taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkileri

kesiştirilmesi ile belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirme karşılık gelen güçlü yer ivmesi (PGA_y), maksimum yer

ivmesi (PGA_u) ve hesaplanan deprem yükü azaltma katsayıları ($R(T)$) Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yapısal analiz modelleri için hesaplanan deprem yükü azaltma katsayıları (R(T))

Deprem kaydı	3 katlı çerçeve (M3)			5 katlı çerçeve (M5)			R(T)-TBDY (2017)
	PGA _y (g)	PGA _u (g)	R(T)	PGA _y (g)	PGA _u (g)	R(T)	
Parkfield	0.5	2.19	4.38	0.672	3.49	5.19	5
Duzce	0.401	2.01	5.02	-			

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada önüretimli betonarme moment aktarabilen hibrit bağlantılardan meydana gelen binaların deprem yükü azaltma katsayıları araştırılmıştır. Hibrit (mekanik-kaynaklı) kolon-kiriş bağlantıları için kafes kiriş ve kesit hücresi (lif) esaslı bir sayısal benzeşim modeli önerilmiştir. Sayısal benzeşim modeli, kolon-kiriş bağlantı deney sonuçları ile kıyaslandığında çevrimsel davranışı yeterli yaklaşıklıkla temsil edebildiği belirlenmiştir. 3 ve 5 katlı betonarme binalar için çerçeve modelleri oluşturularak doğrusal olmayan statik itme ve artımsal dinamik analizleri OpenSees yapısal analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Artımsal dinamik analizler için ölçeklenmemiş deprem kayıtları binaların spektral ivme değerlerine göre ölçek faktörleri ile artırılmıştır. Önüretimli betonarme çerçeveler için elde edilen deprem yükü azaltma katsayılarının, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) üstte ıslak-altta kaynaklı bağlantıları (MAB3) bulunan çerçeveler için verilen değerlerle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- 1- American Concrete Institute (2005). ACI 374.1.05 Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary. Michigan, U.S.A
- 2- Bowers, J.T. (2014). Nonlinear cyclic truss model for beam-column joints of non-ductile RC frames. M.Sc.

- thesis, Virginia Polytechnic and State University.
- 3- FEMA 350 (2000). Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings. Federal Emergency Management Agency, 2000.
- 4- FEMA P-795 (2011). Quantification of Building Seismic Performance Factors: Component Equivalency Methodology, Federal Emergency Management Agency.
- 5- Girgin, S.C., Kahraman, S. (2016). Üstte ıslak-altta kaynaklı kolon-kiriş bağlantılarının kafes kiriş analogisi ile modellenmesi, *Beton Prefabrikasyon*, 119, s:5-11.
- 6- Girgin, S.C., Misir, I.S. and Kahraman, S. (2017a). Experimental cyclic behavior of precast hybrid beam-column connections with welded components. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 11(2), 229-245.
- 7- Girgin, S.C., Misir, I.S. and Kahraman, S. (2017b). Seismic performance factors for precast buildings with hybrid beam-column connections. *Procedia Engineering*, 199, 3540-3545.
- 8- Karadoğan, H. F., Bal, I.E., Yüksel, E., Yuce, S.Z., Durgun, Y. and Soydan, C. (2015). An algorithm to justify the design of single storey precast structures. Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology. Springer International Publishing, 207-226.
- 9- Lu, Y. and Panagiotou, M. (2014). Three-dimensional cyclic beam-truss model for non-planar reinforced

ced concrete walls, *Journal of Structural Engineering*, 140(3).

- 10- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., ve Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete, *Journal of Structural Division (ASCE)*, 114 (8), 1804-1826.
- 11- McKenna, F., Fenves, G. L., Scott, M. H., and Jeremic, B. (2015). Open system for earthquake engineering simulation. <http://opensees.berkeley.edu>.
- 12- Moharrami, M., Koutromanos, I., Panagiotou, M., and Girgin, S. C. (2015). Analysis of shear-dominated RC columns using the nonlinear truss analogy. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 44(5), 677-694.
- 13- Negro, P., and Toniolo G. (2012). Design guidelines for connections of precast structures under seismic actions. Report EUR 25377 EN, European Commission.
- 14- PEER (2017). Pacific Earthquake Engineering Research Center Ground Motion Database. <http://ngawest2.berkeley.edu/>
- 15- Stevens, N. J., Uzumeri, S. M., Collins, M. P., and Will, T. G. (1991). Constitutive model for reinforced concrete finite element analysis, *ACI Structural Journal*, 99 (10), 2109-2122.
- 16- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY). (2018)
- 17- Vamvatsikos, D., and Allin Cornell, C. (2002). Incremental dynamic analysis. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 31.3: 491-514.
- 18- Zafar, Adeel (2009). Response modification factor of reinforced concrete moment resisting frames in developing countries. MSc Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign.