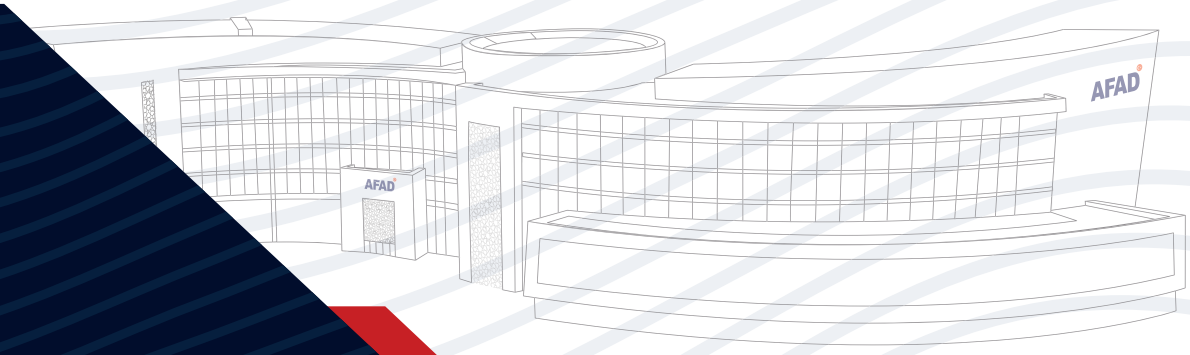
T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI
AFET VE ACİL DURUM YÖNETİMİ BAŞKANLIĞI

AFAD

2023 ON YILIN ARDINDAN ULUSAL DEPREM ARAŞTIRMA PROGRAMI

UDAP ÇALIŞTAYI

GENİŞLETİLMİŞ BİLDİRİ ÖZETLERİ



65 AR-GE PROJESİ

Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü

Kasım 2023

ÖNÜRETİMLİ BETONARME BİNALARIN DAYANIMA GÖRE TASARIMINDA SİSMİK PERFORMANS FAKTÖRLERİNİN ANALİTİK ÇALIŞMALAR ARACILIĞIYLA ARAŞTIRILMASI

Sadık Can Girgin[1], Halil Dinçer[1], Merve Gündoğan[1],
İbrahim Serkan Mısır[1], Vesile Hatun Akansel[3], Serap Kahraman[1]

[1]*Dokuz Eylül Üniversitesi*
[2]*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi*

E-mail: sadik.girgin@deu.edu.tr

UDAP-Ç-22-05: Önüretimli Betonarme Binaların Dayanıma göre Tasarımında Sismik Performans Faktörlerinin Analitik Çalışmalar Aracılığıyla Araştırılması

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

GİRİŞ

Önüretimli betonarme yapılar düşük maliyet, yüksek kalite ve hızlı üretim açısından sağladıkları avantajları ile rağbet görmekte olup ülkemizde 90'lı yıllardan itibaren inşa edilen endüstriyel yapıların oldukça büyük bir kısmını tek katlı ve ara katı bulunan önüretimli betonarme binalar oluşturmaktadır. Ülkemizdeki deprem yönetmeliklerinin son 20 yıl içerisindeki gelişimi göz önüne alındığında, önüretimli betonarme binaların tasarımı ile ilgili koşulların kapsamında önemli düzenlemeler yapılmıştır. Önüretimli betonarme binaların depreme dayanıklı yapı tasarımında, mühendislik pratiği açısından dayanıma göre tasarım çok daha fazla tercih edilir durumdadır. Bununla birlikte, dayanıma göre tasarımda temel parametre olarak kullanılan taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) değerlerinin, TBDY-2018 ve önceki deprem yönetmelikleri arasında belirgin şekilde değiştirildiği gözlenmektedir. Örneğin süneklik düzeyi yüksek, çerçeve tipi moment aktaran önüretimli binalarda R katsayısı Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (ABYBHY (1998)) için 6; Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) de 7 iken bu değer Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'inde (TBDY-2018) bağlantı tipine bağlı olarak 5 veya 7 değerlerini almaktadır. Ayrıca TBDY-2018'de bina yükseklik sınıfları (BYS) tanımlanarak önüretimli binalarda uygulanacak bağlantı tipi için de sınırlamalar getirilmiştir. Projede gerçekleştirilecek çalışmanın kapsamı aşağıda sunulmuştur:

(i) Literatürde Tam Ard-Germeli Bağlantı (MAB2) ve Üstte Islak-Altta Kaynaklı (MAB3) tipte moment aktaran bağlantı testleri incelenerek veritabanı oluşturulacaktır. MAB2 ve MAB3 kolon-kiriş bağlantılarının farklı parametrelere göre doğrusal olmayan moment-eğrilik ilişkileri LS Dyna sonlu elemanlar programında ayrıntılı sonlu elemanlar modelleri ile belirlenecektir. Elde edilen moment-kesit dönmesi iskelet eğrileri ile STKO (Scientific Toolkit for OpenSees) ve Seismostruct programlarının yardımı ile de literatürdeki deneysel çalışmalarda elde edilen çevrimsel davranış ile sayısal doğrulama çalışmaları yapılacaktır.

(ii) Moment aktaran bağlantılar için MAB2 ve MAB3 kullanılan çeşitli yapıların tasarım detayları ve geometrileri incelenecektir. TS 500 (2000) ve TBDY (2018) hesap tasarım ve kuralları dikkate alınarak DD-2 deprem düzeyi için dayanıma göre tasarımı gerçekleştirilmiş endüstriyel tek katlı, arakatlı önüretimli binalar ile konut ve okul türü çok katlı önüretimli bina örnekleri dikkate alınarak arketip (ilk örnek) çerçeveler oluşturulacaktır. Endüstriyel binalar için İzmir'de endüstriyel binaların çoğunlukta olduğu bölgeler dikkate alınacaktır. Endüstriyel bina örneklerinde çatı seviyesinde mafsallı, arakatta moment aktarabilen; konut ve okul türü binalar için ise moment aktarabilen bağlantılar göz önüne alınacaktır.

(iii) Doğrusal olmayan analiz yöntemi olarak FEMA P695'e göre artımsal dinamik analizler gerçekleştirilecektir. Bu analizi gerçekleştirmek için deprem kayıtları seçilecek ve deprem kaydı takımları oluşturulacaktır.

(iv) Oluşturulan deprem kaydı takımları kullanılarak, incelenen yapılardan çıkarılan farklı yüksekliklerdeki arketip çerçevelerin artımsal dinamik analizleri gerçekleştirilecektir.

(v) Artımsal dinamik analizleri yapılan yapıların göçme olasılıkları hesaplanıp oluşturulan kırılganlık eğrileri ile değerlendirilecektir. Göçme olasılığı

sınırlarıyla uyuşmayan yapıların dayanıma göre tasarımı tekrardan yapılıp, sismik performans faktörleri değerlendirilecektir.

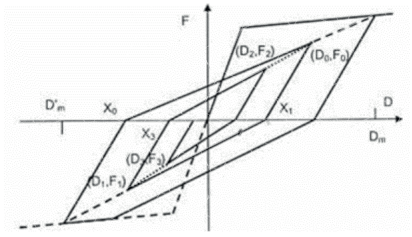
Projenin ilk dönemi kapsamında deneysel veritabanı oluşturulması için önüretimli betonarme kolon ve ıslak-kaynaklı kolon-kiriş bağlantı (MAB 3) testlerinin çevrimsel davranışının belirlenmesine yönelik sayısal model çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sayısal modelleme çalışmaları kapsamında ülkemizde yaygın olarak uygulanan önüretimli kolon ve kolon-kiriş bağlantı testleri literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak incelenmiştir. Önüretimli betonarme elemanların çevrimsel modelleme çalışmaları ile proje kapsamında incelenecek önüretimli çerçeve modellerinin alt sistemlere (kolon, kiriş, bağlantı) dayalı olarak elde edilmesi hedeflenmiştir.

SAYISAL MODEL ÇALIŞMALARI

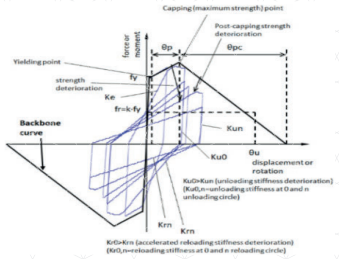
Betonarme yapıların deprem etkileri ile çevrimsel davranışının benzeştirilmesinde uygulanan modelleme yaklaşımları; yığılı plastisite, yayılı plastisite, sonlu eleman modelleri ve kafes sistem modelleri olmak üzere dört ana başlıkta toplanabilir. Yığılı plastisite modelleri kolon ve kiriş eleman uçlarında eğilme ve kesme yaylarının belirli bir çevrimsel kurala uygun tanımlanması ile oluşturulmaktadır (Lee ve Elnashai, 2001; Xu ve Zang, 2011). Yayılı plastisite yaklaşımı yalnızca eğilme etkilerini dikkate almakta ve betonarme kesitler tek eksenli beton ya da donatı çeliği malzeme modelleri ile tanımlanan kesit hücrelerine ya da liflere ayrılmaktadır. Ayrıntılı sonlu eleman modelleri ile modelleme yaklaşımı özellikle lokal deformasyonların belirlenebilmesi ve genelleştirilmiş eleman davranış modelinin kurulabilmesi açısından oldukça önem taşımaktadır.

Yığılı Plastite Yaklaşımları (MAB 3 Kolon-Kiriş Bağlantı Testi)

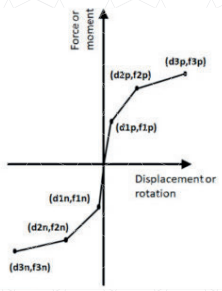
Önüretimli betonarme yapı sistemlerinde yaygın olarak uygulanan ıslak-kaynaklı (MAB 3) kolon- kiriş Bağlantı testleri çalışmaları kaynak katsayısı ve aderans bozulması parametreleri dikkate alınarak iç kolon-kiriş bağlantıları için Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Mühendisliği Laboratuarı'nda bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir (Girgin v.d., 2017). Çalışma kapsamında, SP3 önüretimli kolon- kiriş bağlantı numunesi için yığılı plastisite yaklaşımı ile farklı çevrimsel davranış modelleme yaklaşımları kullanılarak Seismostruct (2023) yazılımı ile analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Çevrimsel modeller, yükleme ve yükün kaldırılması sırasında rijitlik azalmasını dikkate alan asimetrik Takeda modeli (Takeda_asm), kuvvet ve yerdeğiştirmenin sıkıştırılması ile karakterize edilen asimetrik çevrim sıkışması histeretik modeli (pinched_asm), moment-dönme bağıntısında pik değerleri dikkate alarak tanımlanan Ibarra-Medina-Krawinkler (Mod-IMK) maksimuma yönelimli model ve rijitlik azalması, dayanım azalması ve çevrim sıkışmasını dahil ederek yapısal davranışın yakalamaya çalışan üç doğrulu modeli (Multi_lin) kiriş uçlarına tanımlanarak elde edilmiştir (Şekil 1). Çevrimsel yüklemeler uygulanması sonucu oluşan taban kesme kuvveti-tepe ötelenme oranlarının karşılaştırılması Şekil 2'de verilmiştir.



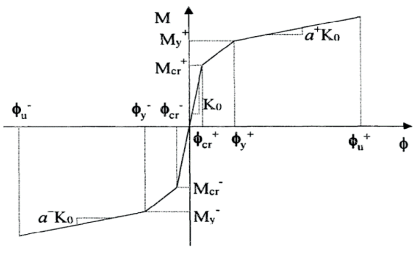
(a) Asimetrik Takeda Modeli (Takeda_asm)



(b) Maksimuma yönelimli model (Mod-IMK)



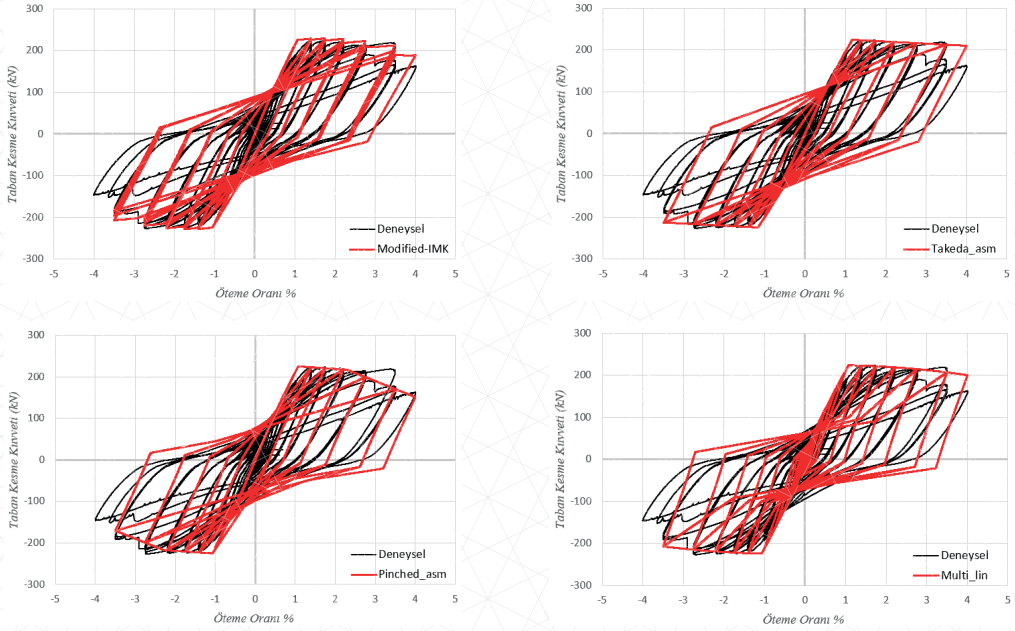
(c) Asimetrik çevrim sıkışması modeli (pinched_asm)



(d) Üç doğrulu çevrimsel modeli (multi_lin)

Şekil 1. Çevrimsel Modeller

Dört farklı çevrimsel model kullanılarak gerçekleştirilen çalışma sonrası sonuçlar, enerji tüketimi, sekant rijitliği ve çevrimsel dayanım oranları bakımından değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, Multi_lin modelin diğer modellerden farklı olarak daha yüksek oranda rijitlik azalması gösterdiği ve deneysel modelle aralarındaki farkın daha küçük olduğu görülmüştür. Ayrıca Multi_lin modelin moment-dönme ilişkisinde çatlama momentini tanımı, diğer çevrimsel modeller ile karşılaştırıldığında, %1.0 öteleme oranına kadar enerji tüketiminin deneysel sonuçlarla yakından eşleştiği, genel olarak bakıldığında da daha iyi bir davranış göstermiştir (Dinçer v.d., 2023).

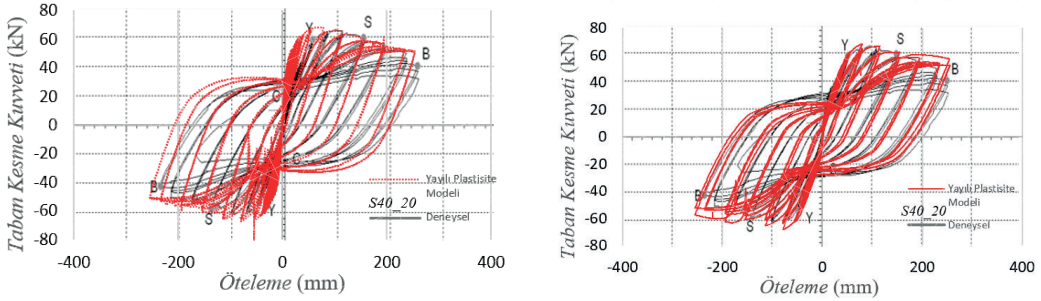


Şekil 2. Deneysel ve Analitik Sonuçların Karşılaştırılması (a) Mod-IMK, (b) Takeda_asm, (c) Pinched_asm, and (d) Multi_lin.

Yayılı Plastite Yaklaşımları (Önüretimli Betonarme Kolon Örneği)

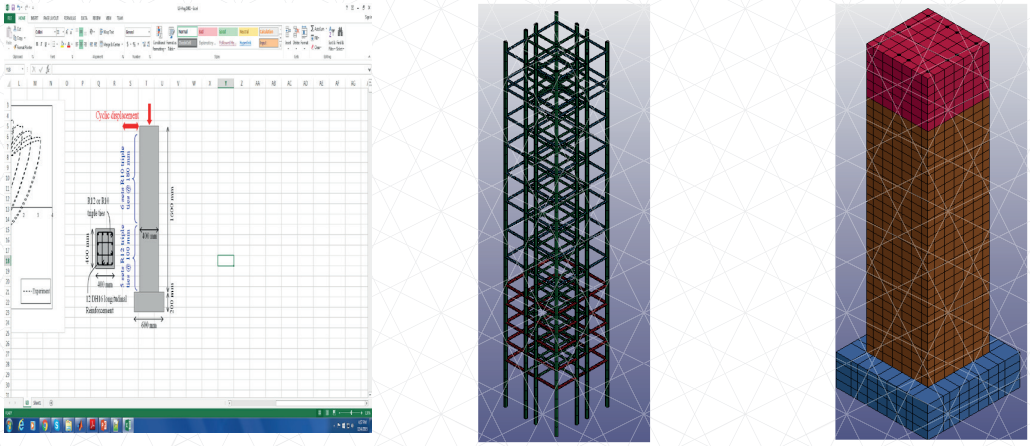
Önüretimli betonarme kolonlar için İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda kapsamında donatı oranları, kesit boyutları ve temel-kolon birleşim detayları parametreleri dikkate alınarak Yüce vd. (2011) çalışmasındaki S40_20 kolon test numuneleri yığılı plastisite yaklaşımı ile STKO (Scientific Toolkit for OpenSees) (Petracca, 2019) sonlu elemanlar yazılımı ile incelenmiştir. Konsol önüretimli betonarme kolonun enkesit boyutları 40 cm x 40 cm, soket temel seviyesinden yüksekliği 427 cm ve 8F20 boyuna donatısı olup, ortalama beton basınç dayanımı 45.8 MPa'dır. Kolonun sıklaştırma bölgesinde F8/ 10 cm arayla enine donatıları yerleştirilmiş olup, üst kısmında ise F8/ 17.5 cm olarak yerleştirilmiştir. Kolon için oluşturulan sayısal modellerde etriye aralıklarına göre 2 ayrı kuvvet esaslı kolon-kiriş elemanı tanımlanmıştır. Sayısal modellerde göz önüne alınan beton malzeme modelleri OpenSees'de yer alan Concrete02 ve Concrete04 malzeme modelleri; donatı çeliği için Giuffré-Menegotto-Pinto (GMP) malzeme modeli tanımlanmış olup OpenSees'de Steel02 olarak yer almaktadır. Concrete04 malzeme modeli ile modelin enerji tüketimi bakımından deney sonuçları ile daha uyumlu olduğu belirlenmiştir.

(a)



Şekil 3. Deneysel ve Modelleme Sonuçların Karşılaştırılması a) Concrete02 ve b) Concrete04

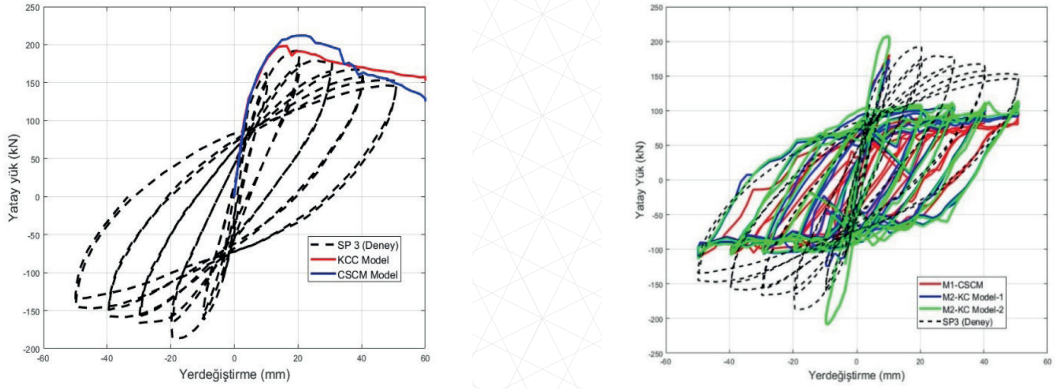
Çalışma kapsamında Ang (1981) çalışmasındaki eğilme etkin davranış gösteren SP3 kolon test numunesinin (Şekil 4a) LS DYNA (ANSYS, 2023) yazılımı ile sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Şekil 4b'de verilen sonlu eleman modelinde 4160 adet düğüm noktası, donatılar için 1308 adet kiriş eleman, 2039 adet altı yüzlü katı eleman bulunmaktadır. LS Dyna yazılımında yer alan Karagozian&Case (KCC) ve CSCM (Continuous Surface Cap Model) beton modelleri dikkate alınarak tek yönlü (monotonik) ve çevrimsel davranış için modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



(a) (b) (c)

Şekil 4. (a) SP3 (Ang, 1981) Kolon Test Numunesi (Moharrami, 2016), (b), (c) LS Dyna'da Oluşturulan Sonlu Eleman Modeli

CSCM Beton Modeli 1990'larda yol güvenliği artırma projelerinde geliştirilmiştir. Bu model LS-Dyna programına 2004 yılında A.B.D Ulaştırma Bakanlığı sponsorluğunda eklenmiştir. Bu modelde, betonun dayanımı çekme ve düşük basınç bölgelerindeki kesme yüzeyi, yüksek basınç bölgelerinde başlık yüzeyi, orta-basınç durumlarında ise kesme yüzeyi ve başlık yüzeyi birleşiminden karşılanmaktadır (Coleman, 2016). Karagozian&Case (KCC) beton malzeme modeli ilk olarak Malvar vd. (1997) tarafından, dinamik ve statik yüklemeler altında betonun analizi için tasarlanıp, LS-Dyna programında kullanıma sunulmuştur. LS-Dyna veri tabanında *MAT_CONCRETE_DAMAGE_REL3, ismiyle güncel versiyonda yer almaktadır. KCC malzeme modelinde akma, maksimum kırılma ve artık kırılma yüzeyi olmak üzere üç adet kayma kırılma yüzeyi kullanmaktadır. Gerçekleştirilen sayısal model çalışmalarında Şekil 5a'da tek yönlü yükleme etkileri altında KCC model ve CSCM modelin başlangıç rijitliğini ve dayanım azalmasını yeterli ölçüde elde edildiği görülmektedir. Bununla beraber çevrimsel yüklemeler etkisinde ise her iki beton modelinde de başlangıç çevrimleri sonrasında ani azalma gerçekleşmiştir. Proje kapsamında önüretimli kolon ve kolon-kiriş bağlantıları için gerçekleştirilecek modelleme çalışmalarında çevrimsel davranışı temsil edebilecek beton ve donatı malzeme modelleri araştırılacaktır.



(a) (b)

Şekil 5. SP3 (Ang vd, 1981) Kolon Test Numunesi İçin Farklı Beton Modelleri İçin Deney Sonuçlarının Kıyaslanması (a) Monotonik Yükleme, (b) Çevrimsel Yükleme

KAYNAKÇA

1. ABYYHY, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. Resmî Gazete (Sayı 23390).
2. Ang B.G. 1981. Ductility of reinforced concrete bridge piers under seismic loading, Research Report, University of Canterbury.
3. ANSYS, 2023. Manual, LS-DYNA Keyword User's. Volume II Material Models.
4. Coleman, D. K., 2016. Evaluation of concrete modeling in LS-DYNA for seismic application, MSc Thesis, University of Texas.
5. DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Resmî Gazete (Sayı 26454).
6. Dinçer H., Girgin SC., Sodagar M.S., 2023. Evaluation of Cyclic Modeling Parameters for Emulative-Welded Precast Beam– Column Connections, Proceedings of 3rd International Civil Engineering and Architecture Congress (ICEARC'23).
7. FEMA 2009. Quantification of Building Seismic Performance Factors, FEMA P695, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
8. Girgin S.C., Misir I.S., Kahraman S. 2017. Experimental cyclic behavior of precast hybrid beam-column connections with welded components. International Journal of Concrete Structures and Materials 11(2):229-245.
9. Lee, D. H., and Elnashai, A. S., 2001. Seismic analysis of RC bridge columns with flexure-shear interaction, Journal of Structural Engineering, 127(5), 546:553.
10. Malvar, L. J., Crawford, J. E., Wesevich, J. W., & Simons, D., 1997. A plasticity concrete material model for DYNA3D. International Journal of Impact Engineering, 19(9-10), 847-873.
11. Moharrami Gargari, M. 2016. Development of Novel Computational Simulation Tools to Capture the Hysteretic Response and Failure of Reinforced Concrete Structures under Seismic Loads, Doctoral dissertation, Virginia Tech.
12. Petracca M., Candeloro F., Camata G., 2017. STKO user manual, ASDEA Software Technology, Pescara, Italy.
13. Seismosoft (2023) SeismoStruct 2023 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, Erişim adresi: https://seismosoft.com/.
14. Takeda T., Sozen M.A., and Nielsen N.N., 1970. Reinforced concrete response to simulated earthquakes, Journal of the Structural Division, ASCE 96(12):2557-2573.
15. TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Resmî Gazete (Sayı 30364).
16. TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. T.C. Resmî Gazete (Sayı 24107).
17. Xu,S., and Zhang, J., 2011. Hysteretic shear–flexure interaction model of reinforced concrete columns for seismic response assessment of bridges, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 40:315-337.
18. Yüce, S. Z., Karadoğan, H. F., & Yüksel, E., 2011. Yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde bırakılan kare kesitli prefabrike betonarme kolonların davranışı. ITU Journal Series D: Engineering, 10(5).