



SARGILAMA TİPİNİN DEPREM YÜKLERİNE MARUZ KALAN KOLONLARIN DAVRANIŞINA ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK MODELLENMESİ

Melis TAŞKIN^{1*}, Fuad OKAY²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Isparta, Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Sargılama tipi, Tersinir tekrarlı yükleme, OpenSees.</i>	Kolonlar deprem etkisi altında tersinir ve tekrarlı yüklere maruz kalan eksenel yük elemanlarıdır. Bu karmaşık yükleme durumu etkisinde kolonların davranışının analizi oldukça önemli hale gelmektedir. Deprem sonrası göçme veya ağır hasara uğramış yapılarda, oluşan hasarların kolon sargılama eksikliklerinden kaynaklandığı görülmüştür. Bu sebeple sargılamanın kolon davranışına olan etkisi araştırmacıların ilgisini çeken önemli konular arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, sargı tipinin kolon davranışına etkisini inceleyen Saatçioğlu ve Özcebe (1989) tarafından yapılmış kolon deneyleri numune olarak seçilerek, açık kaynak kodlu sonlu elemanlar programı OpenSees ile seçilen kolonların sayısal analizi yapılmıştır. Sayısal analiz yapılırken numuneleri doğru temsil edecek eleman ve malzeme modelleri seçilmiştir. Oluşturulan sayısal modeller deprem yükleri etkisi altında analiz edilmiş, elde edilen sonuçlar mevcut deneysel çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

NUMERICAL MODELING OF EFFECT OF TYPE OF CONFINEMENT TO BEHAVIOUR OF COLUMNS SUBJECTED TO EARTHQUAKE LOADING

Keywords	Abstract
<i>Confinement type, Reversed cyclic loading, OpenSees.</i>	Columns are axially loaded elements subjected to reversed cyclic loading under earthquake. The behavior of the columns becomes very important under the influence of this complex loading pattern. It has been observed that damage caused by collapse or heavy damage after earthquake are caused by lack of confinement. For this reason, the effect of confinement on column behaviour is one of important topics that attract researchers' attention. In this study, numerical analyses have been performed by using open source object-oriented finite element software OpenSees by taking the experimental study that investigates effect of type of confinement to column behavior, which is performed by Saatçioğlu and Özcebe (1989) into consideration. When numerical analysis is performed, element and material models to represent the column specimens are correctly selected. The numerical models are analyzed under the effect of the earthquake loads, obtained results are compared with the mentioned study and it is observed that the results are consistent with each other.

Alıntı / Cite

Taşkın, M., Okay, F., (2019). Sargılama Tipinin Deprem Yüklerine Maruz Kalan Kolonların Davranışına Etkisinin Sayısal Olarak Modellenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 205-210.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
M. Taşkın, 0000-0002-7143-9382	Başvuru Tarihi / Submission Date 21.08.2018
F. Okay, 0000-0002-9916-179X	Revizyon Tarihi / Revision Date 10.01.2019
	Kabul Tarihi / Accepted Date 16.01.2019
	Yayın Tarihi / Published Date 25.03.2019

1. Giriş

Bu çalışmada iki farklı sargılama detayına sahip kolonun mevcut deneysel çalışma dikkate alınarak

sayısal modeli oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar tekrarlı ve tersinir yüklere maruz

* İlgili yazar / Corresponding author: melistskn@gmail.com, +90-246-211-1196

kalan konsol kolonun dayanım ve sünekliğine sargı tipinin etkisi bakımından incelenmiştir.

Deprem etkisi altında yapı davranışını belirleyen önemli yapı elemanlarından olan kolonların sargılama tipine bağlı olarak davranış sergiledikleri bilinmektedir. Bu nedenle kolon sargılaması ilgi çeken çalışma konusu haline gelmiştir.

Sargılamanın temel işlevi, boyuna donatıların burkulmasını önlemek, yapı elemanın maruz kaldığı kesme kuvvetlerini karşılamak ve kayma deformasyonları nedeniyle oluşan göçmelerin önüne geçmek olarak belirlenmiştir. Ayrıca enine donatılar çekirdek betonu sargılayarak betonarme yapı elemanının daha sünek bir davranış göstermesini sağlamaktadır (Subramanian, 2011).

Sargılamanın etkileri ve sargılı betonun sargısız betondan farklılaşan davranışı, sargılı betonların teorik modellerinin oluşturulması gereğini ortaya çıkarmıştır. Bunun sonucunda araştırmacılar tarafından analitik ve deneysel çalışmalar yapılarak sargılı beton modelleri önerilmiştir.(Mander vd., 1988(a); Saatçioğlu ve Razvi, 1992; Sheikh ve Üzümeri, 1982).

Mander vd., (1988(b)) tarafından yapılan deneysel çalışmada, daha önce aynı araştırmacılar tarafından önerilen sargılı beton modeli farklı sargılama tipine sahip kolonlar test edilerek doğrulanmış ve buna göre, sargı donatısının hacim oranı arttıkça dayanımın ve göçme öncesi kolonun göstermiş olduğu birim deformasyonun arttığı görülmüştür.

Sheikh ve Üzümeri (1982) yaptıkları çalışmada, etkili sargılanmış beton alanı, enine donatı çeşitliliği ve enine donatı etrafındaki boyuna donatı dağılımı gibi değişkenlerin, kolon dayanımını ve sünekliğini arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, sargılamanın; enine donatı oranı, enine donatı akma dayanımı, beton dayanımı, etriye aralığı, boyuna donatı yerleşimi ve enine donatı çerçevesinin uygulanma şekli gibi belirgin değişkenlere bağlı olduğu görülmüştür.

Enine donatı oranı, boyuna donatı oranı, sargılama tipi ve kolon kesiti (dairesel, kare vb.) değişkenlerinin kolon davranışına olan etkisi birçok araştırmacı tarafından deneysel olarak incelenmiştir (Khaleek vd., 2012, Thorhallsson ve Bjarnason, 2012, Osman ve Soliman, 2015).

Sato ve Yamaguchi (2000), gerçekleştirmiş oldukları kısa kolon deneylerinde içerisinde çirozlarında bulunduğu sargılama tipi de olmak üzere 2 farklı sargılama tipi kullanmışlardır. Buna ek olarak etriye aralığı ve enine donatı hacim oranının kolon davranışına etkilerini incelemişleridir. Yapılan çalışma sonunda enine donatı hacim oranı artışının ve

buna bağlı olarak sargılama detayı değişiminin sargılanmış kolonun dayanım ve sünekliğini arttırdığını görmüşlerdir.

Teknoloji ve malzeme biliminin gelişimiyle birlikte son yıllarda geleneksel donatı malzemesi olan çeliğin yerini farklı malzemeler almış ve bilinen donatı uygulama teknikleri de değişmiştir.

Buna göre çelik takviyesinin yerini karbon fiber, polimer katkılı malzemeler, cam elyaf katkılı takviyeler almış ve bu takviyelerle sargılanmış kolonlar deneysel olarak birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Parvin, 2002; Lejano, 2013; Paultre, 2016).

Yapılan çalışmalar, yalnızca geleneksel etriye/çiroz kullanılan sargılı betonun deprem etkisinde istenen sargılama davranışını gösteremediğini, farklı tipte sargılama malzemeleri ve tekniklerinin daha verimli bir sargılama sağladığını göstermektedir (Sadeghian, 2010; El-Kholy ve Danish, 2016).

Çalışma kapsamında beton davranışına ve buna bağlı olarak yapının deprem etkisi altındaki karakteristiğine sargılama tipinin etkisi incelenmiş, bu amaçla sonlu elemanlar yöntemini kullanan açık kaynak kodlu OpenSees programı kullanılarak sayısal modeller oluşturulmuştur. Çalışma, öncelikle modellenecek deney elemanlarının belirlenmesi ardından deney sonuçlarının ilgili kaynaklardan elde edilmesi ve deney elemanının birebir olarak modellenebilmesi için uygun malzeme ve eleman modellerinin seçilmesi dikkate alınarak yürütülmüştür. Son olarak da elde edilen sonuçlar deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak modelin deney sonuçlarına benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Deneysel Model

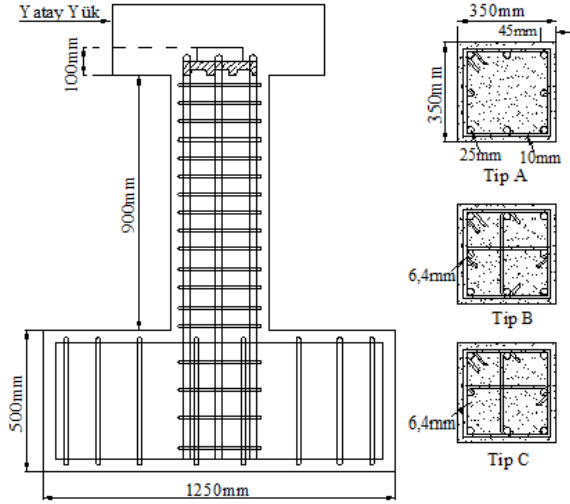
Saatçioğlu ve Özcebe (1989) tarafından yapılan deneysel çalışmada, aksel yük elemanı olan betonarme kolonların aksel yüklerle ilave olarak deprem yüküne maruz kaldığı durumdaki davranışı incelenmiştir.

Gerçek ölçekli üretilen 14 adet kolon yavaşça uygulanan yatay yük çevrimleri altında test edilmiştir. Uygulanan yatay yükler üç farklı yükleme doğrultusunda uygulanmıştır. Buna göre yedi adet numuneye bir doğrultuda, dört adet numuneye giriş köşelerinden geçen diyagonal doğrultuda ve iki adet numuneye de iki doğrultuda olmak üzere deprem yükü etki ettirilmiştir (Saatçioğlu ve Özcebe, 1989).

Üç farklı yatay yük doğrultusunda yüklenen kolonların bir kısmı yatay yüklerle ilave olarak aksel doğrultuda da yüklenmiştir. Bu koşullar dikkate alınarak yapılan çalışmada test parametreleri, aksel

yük, sargılama tipi etkisi ve deformasyon eğrisi olarak belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen 14 adet deneyde Şekil 1'de şematik olarak gösterilen konsol kolon kullanılmıştır. Test parametrelerinden olan, eksenel yük ve sargılama tipi değiştirilerek kolonlar belirtilen 3 farklı yüklemeye doğrultusunda yatay yüklerle yüklenerek yük yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 1. Deney elemanı ve sargılama detayları şematik gösterimi (Saatçioğlu ve Özcebe, 1989)

Şekil 1'de detayı verilen sargılama tipleri genel olarak, Tip A çirozların olmadığı yalnızca etriyelerin kullanıldığı, Tip B ve Tip C etriye ve çirozların yer aldığı ancak çirozların farklı uygulandığı detaylar olarak tanımlanabilmektedir.

2.2. Sayısal Model

Sayısal model için OpenSees açık kaynak kodlu sonlu elemanlar programı kullanılmıştır (Mazzoni, 2006). Hala kullanıcıların yapmış olduğu katkılara açık olması sayesinde geliştirilmesi sürmektedir.

Sayısal model oluşturulmadan önce mevcut deneysel çalışmada yer alan ve farklı sargılama özelliklerine sahip numuneler incelenmiş ve seçilen numunelerin yatay yük yer değiştirme sonuçlarına ulaşmak için gerekli taramalar yapılmıştır. Bunun sonucunda birçok araştırmacının kolon deneylerinin verilerinin yer aldığı PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center-Ground Motion Database) veri tabanına ulaşılmıştır. Ancak Saatçioğlu ve Özcebe tarafından yürütülen 14 adet testin yalnızca 4 tanesinin (U3, U4, U6, U7) verileri PEER veri tabanında yer alması modelleme için kullanılacak numunelerin seçimini sınırlandırmıştır. Verilere ulaşım olanakları ve analiz edilecek parametre dikkate alınarak U4 ve U6 numuneleri sayısal modeli oluşturulmak üzere seçilmiştir. Seçilen numunelerinin de özelliklerinin yer aldığı 14 adet numunenin özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

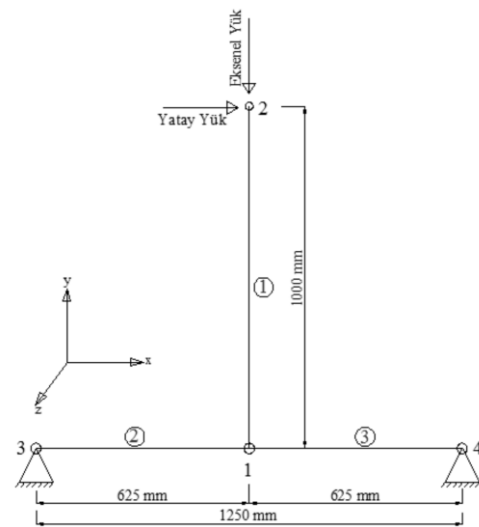
Tablo 1. Deney numunelerinin enine donatı özellikleri (Saatçioğlu ve Özcebe, 1989)

Numuneler	Boyuna Donatı		Enine Donatı	
	f_y (MPa)	f_c (MPa)	Oran(%)	S (mm)
U1	430	470	0.85	150
U2	453	470	0.85	150
U3	430	470	1.69	75
U4	438	470	2.54	50
U5	430	470	0.85	120
U6	437	425	1.95	65
U7	437	425	1.95	65
D1	453	470	0.85	150
D2	453	470	0.85	150
D3	430	470	1.69	75
D4	430	470	2.54	50
D5	430	470	0.85	150
B1	438	470	2.54	50
B2	437	470	1.69	75

Tablo 2. Deney numunelerinin sargılama tipi ve eksenel yük ile ilgili özellikleri (Saatçioğlu ve Özcebe, 1989)

Numuneler	Beton Dayanımı (MPa)	Sargılama Tipi	Eksenel Yük (kN)
U1	43.6	Tip A	0
U2	30.2	Tip A	600
U3	34.8	Tip A	600
U4	32.0	Tip A	600
U5	49.3	Tip A	Değişken
U6	37.3	Tip B	600
U7	39.0	Tip C	600
D1	40.3	Tip A	0
D2	30.2	Tip A	600
D3	34.8	Tip A	600
D4	43.6	Tip A	600
D5	49.3	Tip A	Değişken
B1	32.0	Tip A	600
B2	39.5	Tip A	600

Seçilen kolon numunelerinin sonlu eleman modelleri Şekil 2'de şematik olarak verilmiştir. Her iki kolon da eksenel ve yatay yükler etkisi altındadır.



Şekil 2. U4 ve U6 numune modelinin şematik gösterimi

Deneysel çalışmada kullanılan her bir kolon birinci kat

kolonu olarak temsil edildiğinden, konsol kolonun bağlandığı kiriş temel kirişi olarak düşünülmüştür. Bu durum dikkate alınarak programın eleman kütüphanesinden uygun eleman modeli (*elasticBeamColumn*) seçilmiştir.

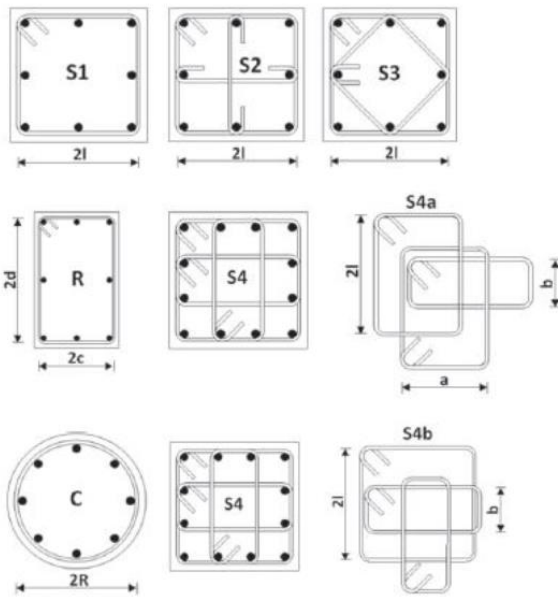
Kolon elemanı modellenirken yer değiştirme esaslı eleman modeli (*dispBeamColumn*) seçilmiştir. Bu model kesit detaylarının kullanıcı tarafından belirlenmesine imkân vermekle birlikte ikincil düğüm noktaları oluşturarak eleman davranışının daha hassas elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Eleman modellerinin belirlenmesinden sonra, seçilen iki numune arasındaki farkı belirleyen ve davranışa etkisi incelenen sargılama tipi parametresi seçilen malzeme modeli sayesinde istenilen şekilde modele uygulanmıştır.

Çalışmada, Braga vd., (2006) tarafından önerilen sargılı beton modeli kullanılmıştır. Braga tarafından önerilen beton modeli OpenSees program kütüphanesine *ConfinedConcrete01* olarak girmiştir.

Malzeme kütüphanesinde yer alan sargılı beton modeli kesitin kullanıcı tarafından tüm özelliklerinin belirlenebildiği fiber kesit (*fiber section*) tanımlamasını kullanmakta, bu da kesitte yer alan tüm donatı çubuklarının deney elemanında olduğu gibi tanımlanması avantajını sağlamaktadır.

Seçilen sargılı beton modelinin bir diğer avantajı farklı tipte sargılama konfigürasyonuna sahip olmasıdır (D'Amato vd., 2012). Buna göre sargılı kolon numuneleri temsil etmek üzere seçilen sargılı beton modelinin olası sargılama tipleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Farklı sargılama durumları (D'Amato vd., 2012)

Bu çalışmada deney elemanında yer alan donatıyı modellemek için OpenSees programının malzeme kütüphanesinde yer alan birçok çelik modeli arasından farklı alanlarda da kullanılan BoucWen histeretik modeli seçilmiştir.

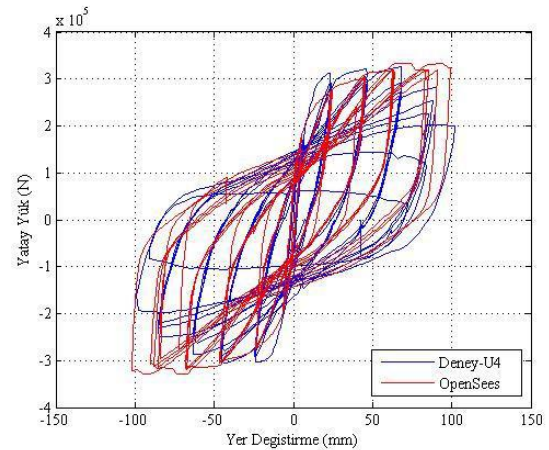
BoucWen modeli yapı mühendisliğinde doğrusal olmayan sistemleri tanımlamak için yaygın olarak kullanılan bir modeldir. BoucWen modeli son yıllarda deneysel çalışmaların analizinde çok yakın sonuçlar vermesi nedeniyle sıklıkla kullanılan bir model olmuştur (İsmail vd., 2009).

Bu model tekrarlı tersinir yüklere maruz yapı elemanlarının deney verileri kullanılarak düzenlenmiş matematiksel bir modeldir (Karavasili, 2011). Bouc tarafından önerilmiş (1967) ve daha sonraki yıllarda Wen tarafından geliştirilmiş (1976) model yüklemeye ve boşaltmaya etkisi altında malzemenin farklı rijitliklere sahip olmasına olanak tanımaktadır (Charalampakis ve Dimou, 2015). Bu avantajı sayesinde histeretik davranış gösteren elemanların modellenmesinde tercih edilmektedir.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

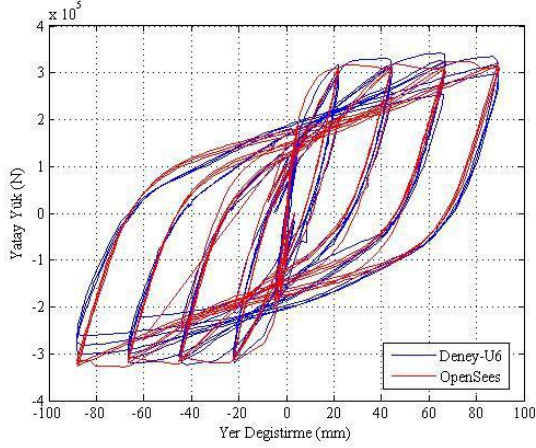
Saatçioğlu ve Özcebe (1989) tarafından yürütülen deneysel çalışmada verilen farklı sargılama tiplerine sahip 2 adet konsol kolon OpenSees programı kullanılarak uygun eleman ve malzeme modelleri seçilerek modellenmiştir. Modelleme sonuçları yük yer değiştirme değerleri alınarak her iki numune için elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonuçlarıyla birlikte sunulmuştur.

U4 numunesinden edilen sonuçlar yatay yük yer değiştirme grafiği olarak Şekil 4'te deney sonuçlarıyla birlikte sunulmuştur. Şekil 4'teki grafiğe göre, oluşturulan modelin deney sonucu ile özellikle ilk çevrimlerde oldukça uyumlu olduğu, çevrim sayısı arttıkça sargılama donatısı hacim oranı düşük olan Tip A sargılama tipine sahip U4 numunesinin dayanım ve rijitliğinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 4. U4 kolonunun deney ve model sonuçları

U6 numunesinin sayısal analizi sonucunda elde edilen yatay yük-yer değiştirme grafiği deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir. Buna göre deney ve model sonuçlarının oldukça uyumlu olduğu, çevrim sayısı arttıkça sayısal model sonuçlarının deney sonuçlarına yaklaştığı görülmüştür.



Şekil 5. U6 kolonunun deney ve model sonuçları

Bu çalışmada yapılan her iki analiz sonucunda elde edilen verilerin deney sonuçlarıyla uyumlu olması, kurulan modelin deney elemanını temsil ettiğini ve OpenSees programından elde edilen sonuçların güvenilir sınırlar içerisinde kaldığını göstermektedir.

4. Sonuçlar

Farklı sargılama tiplerine sahip olan U4 ve U6 numunelerinin deney ve sayısal modellerinden elde edilen sonuçlara göre; Tip A sargılamasına sahip U4 kolonunun deprem gibi tersinir tekrarlı yükler altında dayanım ve rijitliğinin yük çevrimleri arttıkça düştüğü görülmüştür. Ancak etriye aralığı sıklaştırılmış ve içerisine çirozlar eklenerek sargılama tipi değiştirilmiş (Tip B) U6 kolonunun deprem yükleri altında dayanım ve rijitliğinde önemli kayıpların olmadığı, sargılamada enine donatı oranının artmasının kolon dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Enine donatılara ek olarak çirozların kullanıldığı U6 numunesinin histeretik davranışının U4 numunesine göre daha kararlı olduğu görülmüştür. Ayrıca her iki numunenin yatay yük-yer değiştirme eğrileri altında kalan alan dikkate alındığında U6 histeretik eğrileri altında kalan alanın daha büyük olduğu buna bağlı olarak enerji tüketme kapasitesinin fazla olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar dikkate alındığında, etriye sıklığı ve enine donatı oranının tersinir tekrarlı yüklere maruz kalan kolonların dayanım, rijitlik ve enerji tüketme kapasitelerini değerlerini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir.

Çalışmada yapılan sayısal modellerden elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda modeller kurulurken seçilen eleman ve malzeme modellerinin deney elemanlarını temsil ettiği görülmektedir. Sayısal model sonuçları ile deney sonuçlarının uyumlu olması, OpenSees programının deprem analizlerinde kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalan sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Braga, F., Gigliotti, R., Laterza, M., 2006. Analytical Stess-Strain Relationship for Concrete Confined by Steel Stirrups and/or FRP Jackets. *Journal of Structural Engineering*, 132(9), 1402-1416.

Charalampakis, A.E., Dimou, C.K., 2013. Comparison of Evolutionary Algorithms for the Identification of Bouc-Wen Hysteretic Systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(3), 04014053.

D'Amato, M., Braga, F., Gigliotti, R., Kunnath, S., Laterza, M., 2012. A numerical general-purpose confinement model for non-linear analysis of R/C members. *Computer and Structures*, 102, 64-75.

El-Kholy, A.M., Dahish, H.A., 2016. Improved Confinement of Reinforced Concrete Columns. *Ain Shams Engineering Journal*, 7, 717-728.

Ismail, M., Ikhouane, F., Rodellar, J., 2009. The Hysteresis Bouc-Wen Model, A Survey. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 16(2), 161-188.

Karavasilis, T.L., Sause, R., Ricles, J.M., 2012. Seismic Design and Evaluation of Steel Moment-Resisting Frames with Compressed Elastomer Dampers. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41(3), 411-429.

Khaleek, A., Yadav, R.K., Rajeev, C., 2012. Effect of Lateral Confinement on Strength of Concrete. *ISCA Journal of Engineering Science*, 1(1), 40-44.

Lejano, B.A., 2014. Confinement Effects of Different Retrofitting Materials on the Axial Strength of Reinforced Concrete Columns. 7th IEEE International Conference Humanoid, Nanotechnology, Information Technology Communication and Control, Environment and Management.

- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R., 1988(a). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1826. World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R., 1988(b). Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1827-1849.
- Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M.H., Fenves, G.L., 2006. *OpenSees Command Language Manual, Version 2*, California University, California.
- Osman, M., Soliman, A.E.K.S., 2015. Behavior of Confined Columns under Different Techniques. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 9(1), 70-78.
- Parvin, P., Wang W., 2002. Concrete Columns Confined by Fiber Composite Wraps under Combined and Cyclic Lateral Loads. *Composite Structures*, 58, 539-549.
- Paultre, P., Boucher-Trudeau, M., Eid, R., Roy, N., 2016. Behavior of Circular Reinforced-Concrete Columns Confined with Carbon Fiber-Reinforced Polymers under Cyclic Flexure and Constant Axial Load. *Journal of Composite Construction*, 20(3).
- Saatcioglu, M., Ozcebe, G., 1989. Reponse of reinforced Concrete Columns to Simulated Seismic Loading. *ACI Structural Journal*, 86(1,) 1-13.
- Saatcioglu, M., Razvi, S.R., 1992. Strength and Ductility of Confined Concrete. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 118 (6), 1590-1607.
- Sadeghian, P., Rahai, A.R., Ehsani, M.R., 2010. Experimental Study of Rectangular RC Columns Strengthened with CFRP Composites under Eccentric Loading. *Journal of Composites for Construction*, 14(4), 443-450.
- Sato, H., Yamaguchi, K., 2000. Stress-strain Behavior of Square Confined Concrete Column. *12WCEE*.
- Sheikh, S.A., Uzumeri, S.M., 1982. Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns. *Journal of the Structural Division*, 108, 2703-2722.
- Subramanian, N., 2011. Design of Confinement Reinforcement for RC columns. *The Indian Concrete Journal*, 85(6), 19-29.
- Thorhallsson, E.R., Bjarnason, P.V., 2012. Test of Rectangular Confined Concrete Columns for Strength and Ductility. In *Proceedings of the 15th*