

Kompozit Perde Duvarların Yatay Yük Etkisi Altındaki Davranışlarının İrdelenmesi

¹M Nadir Olabi, ^{*1}Naci Çağlar, ²Mehmet Haşim Kısa ve ³S. Bahadır Yüksel

¹Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Sakarya Üniversitesi, Turkey

²Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Karabük Üniversitesi, Turkey

³Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Konya Teknik Üniversitesi, Turkey

Özet

Son yıllarda birçok araştırmacı, sismik yükler altında daha iyi yapısal performans açısından konvansiyonel betonarme perde duvarların yerine kompozit perde duvarlar üzerinde çalışmaktadır. Kompozit perde duvarlar yapısal taşıyıcı sistem olarak; arttırılmış yanal yük kapasitesinin yanında mimari olarak dar kesitler kullanılmasına olanak sağlaması açısından tasarımcıların tercih ettiği sistemler haline gelmiştir. Bu konu kapsamında araştırmacılar genellikle hazır profil olarak temin edilebilen yapısal elemanları tercih etmişlerdir. Bu çalışmada hazır profil kesitleri yerine L kesitli çelik levhalar kullanılarak, 1/3 ölçekli, kompozit bir betonarme perde duvar oluşturulmuştur. Oluşturulan kompozit betonarme perde duvar yanal kuvvetler altında Selçuk Üniversitesi deprem laboratuvarında incelenmiştir. Kompozit betonarme perde duvarın sayısal modeli OpenSees sonlu eleman programı ile oluşturulmuş ve modelin doğrulanması deney sonuçları ile yapılmıştır. Deney sonuçları ile doğrulanan sonlu eleman modeli kullanılarak parametrik bir çalışma yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kompozit betonarme perde duvar, sismik yük, sonlu eleman, OpenSees.

Investigation of Composite Shear Walls Behaviour under Cyclic Lateral loads

Abstract

During the last years many researchers have been working on using composite shear walls instead of conventional reinforced concrete walls to achieve a better structural performance under seismic loading. In addition to the increased lateral load capacity of composite shear walls, it becomes a preferred option to the designers in terms of allowing the use of smaller sections. However, researchers generally choose ready profiles for the composite shear walls. In this study, L-shaped steel plates was used instead of ready profiles, and 1/3 scaled composite shear wall was constructed at examined under lateral forces at Selçuk University, Earthquake laboratory. Numerical modeling of the composite shear wall was done using OpenSees finite element program and validated depending on the test results. A parametric study was conducted using the corrected finite element model.

Key words: composite concrete shear walls, earthquake load, finite element, OpenSees.

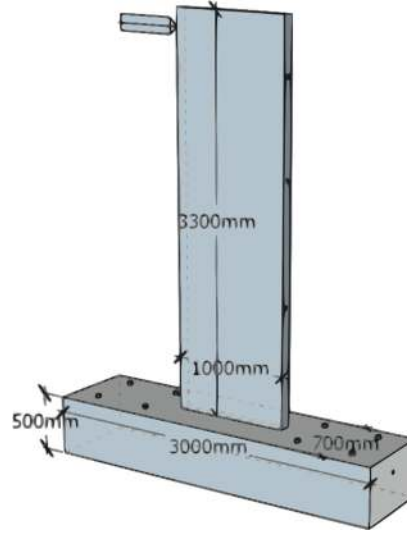
1. Giriş

Deprem tehlikesi altındaki birçok yerle birlikte ülkemizde de depreme dayanıklı yapılaşmanın gerçekleşmesi mecburi bir gerekliliktir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı az katlı yapılardan daha çok; yüksek katlı yapılarda daha da fazla önem kazanmaktadır. Bunun yanı sıra, son dönemlerde projelendirilen yapıların deprem sonrası hasar dağılımına bakıldığında ise birçoğunun statik projelerinde oluşan hesap hatalarından değil de; projenin uygulaması esnasında çıkan zorluklar sebebiyle uygulanamamış proje detaylarından kaynaklandığı görülmüştür. Bu tür problemlerin daha sık olarak karşılaşıldığı yapılar genellikle yüksek katlı yapılardır. Bu yapılarda deprem etkisinde yapının yüksekliğinden kaynaklanan aşırı moment etkileri doğmaktadır. Bu momentleri güvenle taşıyabilecek elemanlar genellikle perde elemanlar olarak tasarlanmaktadır. Perde elemanlarda statik olarak büyük önem arz eden perde uç bölgeleri, kolon benzeri bir eleman olarak tasarlanarak oluşan momentin ve normal kuvvetin karşılanmasında görev almaktadır. Bu tür yapılarda mimari kısıtlamalar sebebiyle dar kesitli ve farklı geometrik şekillerde oluşturulan perde uç bölgelerine yoğun donatı yerleştirilebilmektedir. Bu donatı yoğunluğunun fazla olması sebebiyle uygulama esnasında dökülen beton tam olarak yerleştirilememektedir. Bu sebeple perde en kesitinin en çok zorlandığı kesitte dayanım yeterince sağlanamamaktadır. Düşey donatının yoğunluğundan dolayı aderans da bu bölgede yeterince gerçekleşmeyecektir. Uç bölgelerde yoğun düşey donatının yanında enine donatının sıklaştırılması gerekliliği de uygulama zorluklarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Son yıllarda yapılan birçok çalışmada bu sorunların çözümüne yönelik farklı uygulamalar önerilmiştir [1-12]. Bu çalışmalarda perde uç bölgelerinde boyuna donatı kullanılması yerine boru, kutu ve H kesitli profillerle birlikte perde duvar kesitlerinin çelik levhalarla sargılanması da önerilmiştir.

Bu çalışmada L kesitli çelik saç levhaların kullanıldığı kompozit betonarme perde duvarın davranışı araştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında kompozit betonarme perde duvarın davranışı deneysel olarak ikinci aşamada ise sayısal model üzerinden incelenmiştir. Kompozit betonarme perde duvarın sayısal modeli OpenSees sonlu eleman programı ile oluşturulmuş ve modelin doğrulanması deney sonuçları ile yapılmıştır. Deney sonuçları ile doğrulanan sonlu eleman modeli kullanılarak parametrik bir çalışma yapılmıştır.

2. Deneysel Çalışma

Bu çalışmanın ilk aşamasında kompozit betonarme perde duvarın tersinir yüklemeler etkisi altındaki davranışı deneysel olarak araştırılmıştır [12]. Deney numunesinin kesiti 100mmx1000mm ve yüksekliği 3300mm olarak seçilmiştir. Perde duvar uç bölgelerinde 4 adet L kesitli 23x69x5mm boyutlarında çelik saç levha kullanılmış ve $\phi 8$ 'lik etriyeler 7.50 cm aralıklarla bağlanmıştır. Yatay gövde donatıları 15 cm aralıklarla uygulanmış ve boyuna donatılar $\phi 10$ 'luk seçilmiştir (Şekil 1-2). Kompozit perde duvarın ankastre mesnet koşullarını sağlaması için perde duvar ile güçlü döşeme arasındaki bağlantı rijit davranış gösterecek temel kullanılarak sağlanmıştır. Numunenin oluşturulmasında 25 MPa dayanımı sağlayacak hazır beton kullanılarak deney elemanı teste hazır hale getirilmiştir. Rijit temel-güçlü döşeme, yükleme düzeneği-güçlü duvar bağlantılarında bulunlu birleşimler tercih edilmiştir.

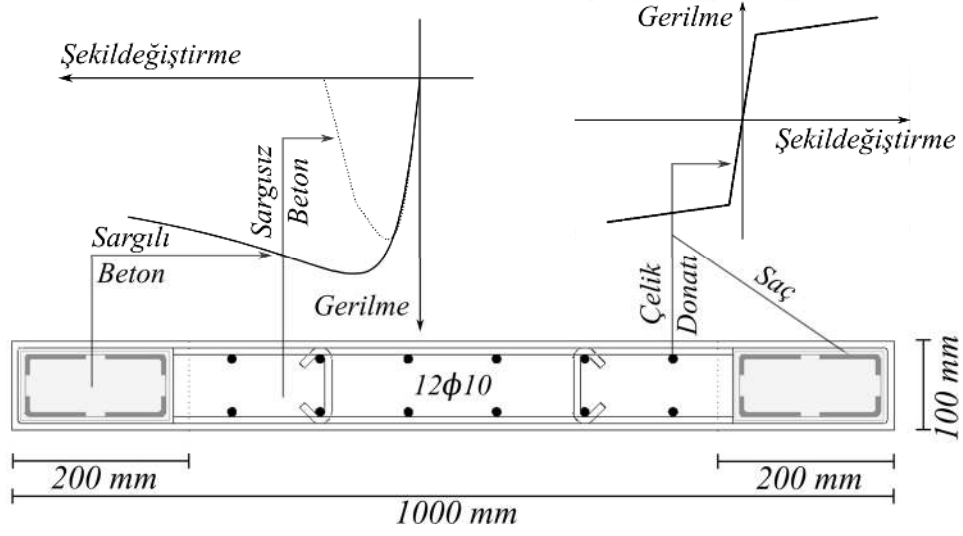


Şekil 1. Deney numunesinin genel görünümü ve boyutları

Kompozit perde duvar üzerindeki yüklemelerde kuvvet kontrollü ve deplasman kontrollü protokoller uygulanmıştır. Deney elemanına çevrimsel yüklemeler quasi-statik yükler olarak sisteme etki ettirilmiştir. Perde duvarda eğilme davranışı 120 kN yük seviyesine kadar devam etmiştir. Bu seviyede numune tepe noktası yerdeğiştirmesi 11 mm olarak ölçülmüştür. Bu aşamadan sonra yapısal elemanda diyagonal çatlaklar belirginleşmeye başlamıştır. Eğilme davranışından kesme davranışına 180 kN yük seviyesinde geçiş başlamıştır. Yapıda kesme çatlakları arttıkça yapının yük taşıma kapasitesi gittikçe azalmış ve 202 kN yük seviyesinde maksimum yüke ulaştıktan sonra yapı perde uç bölgelerindeki kabuk betonları dökülmeye başlamıştır. İleri ki deplasman protokollü adımlarda çelik levha elemanlarında burkulmalar meydana gelmiştir. Son deplasman 65 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3).

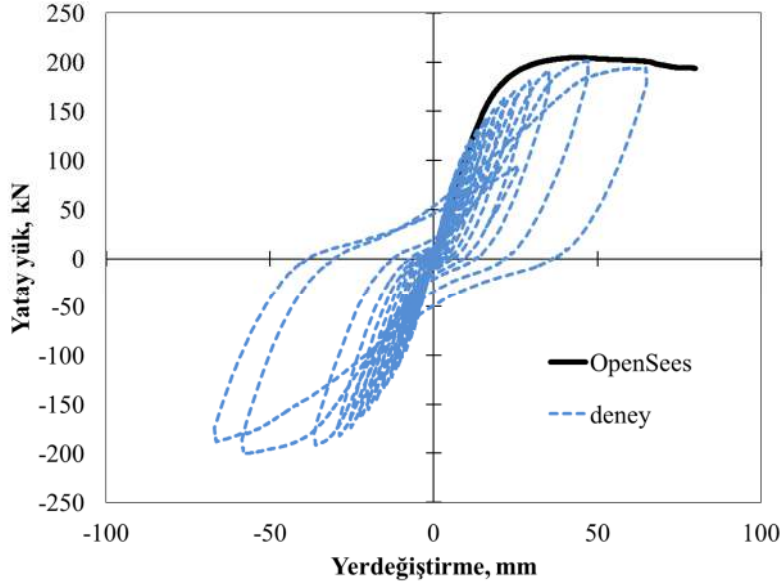
3. Sayısal Çalışma

Bu çalışmanın ikinci aşamasında kompozit betonarme perde duvarın sayısal modeli OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation) [13] programı kullanılarak oluşturulmuş ve monotonik yatay yük etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Betonarme kompozit perde duvarın sonlu eleman modeli, OpenSEES kütüphanesinde yer alan “dispBeamColumn” deplasman tabanlı kiriş-kolon elemanı kullanılarak çubuk eleman olarak modellenmiştir. OpenSees programında kompozit perde duvarın doğrusal olmayan davranışı “lif” (fiber) yaklaşımıyla eleman uzunluğu boyunca yayılı olarak tanımlanmıştır. Betonarme kompozit perde duvardaki çelik saç levha, çelik donatı, sargılı ve sargısız beton malzeme modelleri OpenSees kütüphanesinde bulunan malzeme modelleri yardımıyla tanımlanmıştır. Çelik saç levha ve çelik donatı “Steel01” malzeme modeli, sargısız ve sargılı beton malzemeleri ise sırasıyla “Concrete01” ve “Concrete04” malzeme modelleri ile tanımlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Betonarme kompozit perde duvar kesiti ve malzeme modelleri

OpenSees sonlu eleman modelinin performansını belirlemek amacıyla monotonik yükleme etkisi altındaki sonlu eleman modeli sonucu ile tekrarlı yük etkisi altındaki betonarme kompozit perde duvarın deneysel sonucu karşılaştırılmıştır (Şekil 3). Şekil 3’den de açıkça görüldüğü gibi betonarme kompozit perde duvarın davranışını gerçekçi bir şekilde modellemede sonlu eleman modeli oldukça başarılıdır.



Şekil 3. OpenSees sonlu eleman modelinin performansı

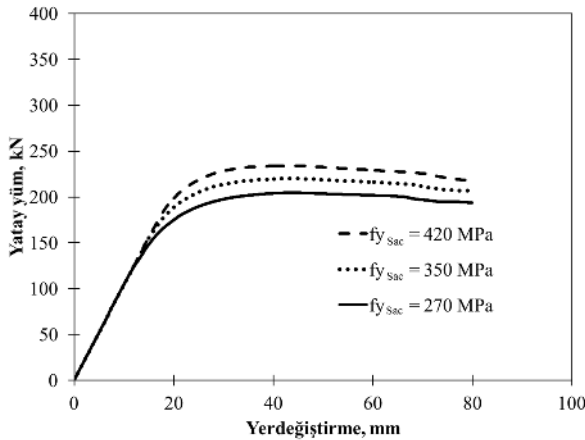
4. Parametrik Çalışma

DeneySEL sonuçlar ile doğrulanmış sonlu eleman modeli kullanılarak bir parametrik çalışma yapılmıştır. Parametrik çalışmada eleman boyutları, donatı özellikleri ve konfigürasyonu, beton malzemesi gibi parametreler sabit tutulmuş sadece sac çelik levhanın malzeme özellikleri ve kalınlığı değiştirilmiştir (Tablo 1).

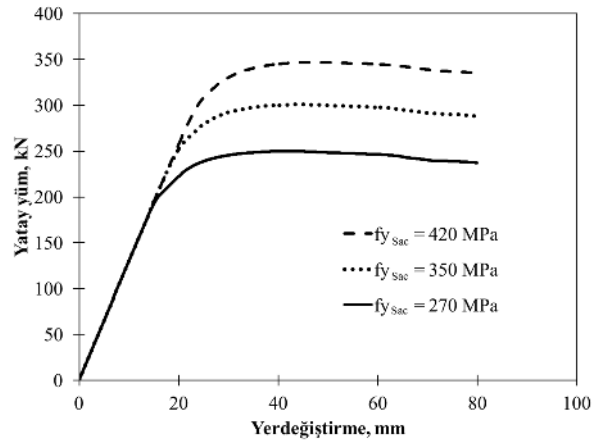
Tablo 1. Parametrik çalışmada kullanılan değişkenler

Beton	Sac Levha		Analiz
f_c (MPa)	t (mm)	f_y (MPa)	
25	5	270	Deneysel
		350	OpenSees Sonlu Eleman Modeli
		420	
	7	270	
		350	
		420	

Betonarme kompozit perde duvar sonlu eleman modellerinin yatay yük etkisi altındaki doğrusal olmayan analizleri OpenSees programı yardımıyla çözülmüş ve analiz sonuçları Şekil 4-5 te sunulmuştur. Çelik sac levhanın malzeme dayanımlarının betonarme kompozit perde duvar davranışına etkileri iki farklı çelik sac levha kalınlığı için Şekil 4'te sunulmuştur. Şekil 4'ten de açıkça görüldüğü gibi çelik sac levha kalınlığının artması durumunda malzeme dayanımının davranışa etkileri daha belirgindir. Sac levha malzeme dayanımının 270MPa dan 420MPa çıkması durumunda yatay yük taşıma kapasitesindeki iyileşme levha kalınlığı $t=5\text{mm}$ iken %14,37 ve $t=7\text{mm}$ iken ise %38.72 civarlarında olmaktadır. Dolayısıyla hem malzeme dayanımı hem de daha belirgin bir şekilde levha kalınlığını, betonarme kompozit perde duvarın performansını önemli seviyelerde iyileştirmektedir.



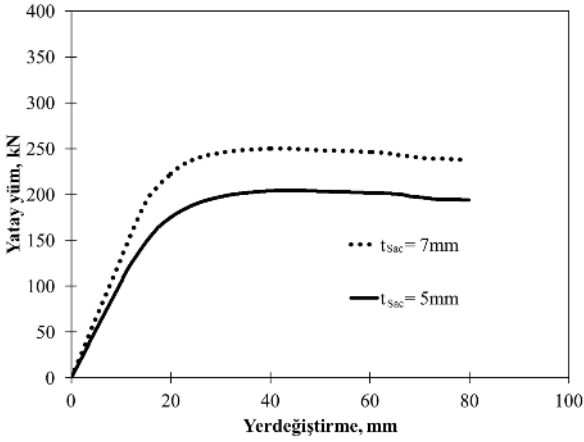
a) $t = 5\text{mm}$



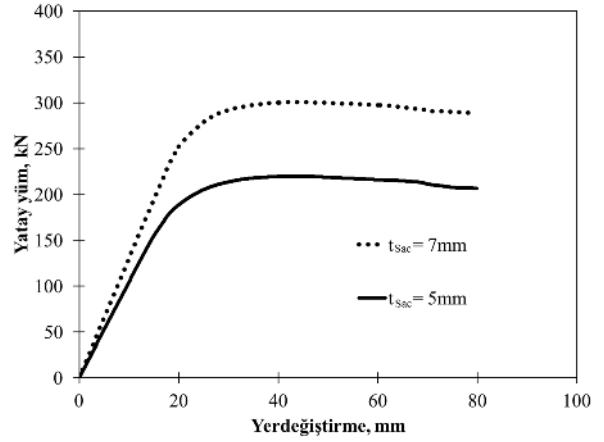
b) $t = 7\text{mm}$

Şekil 4. Betonarme kompozit perde duvar davranışına sac çelik levha malzeme dayanımının etkisi

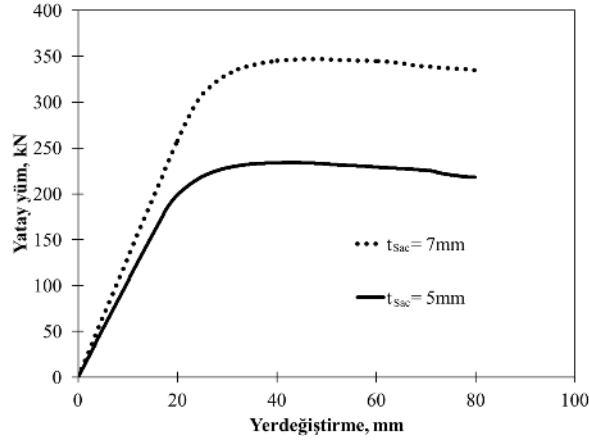
Çelik saç levhanın kalınlığının betonarme kompozit perde duvar davranışına etkileri üç farklı çelik saç levha malzeme dayanımı için Şekil 5'te sunulmuştur. Şekil 5'ten de açıkça görüldüğü gibi çelik saç levha kalınlığının perde duvarın davranışına etkileri malzeme dayanımının daha yüksek olduğu durumlarda çok daha belirgin olmaktadır. Saç levha malzeme dayanımı 270MPa iken çelik levhanın kalınlığı $t=5\text{mm}$ den $t=7\text{mm}$ çıkarılması durumunda betonarme kompozit perde duvarın yatay yük taşıma kapasitesindeki iyileşme %38.72 civarlarında olmaktadır. Malzeme dayanımı 420MPa olduğu durumda ise yatay yük taşıma kapasitesindeki iyileşme %48.21 seviyelerine ulaşmaktadır.



a) $f_y = 270\text{MPa}$



b) $f_y = 350\text{MPa}$



c) $f_y = 420\text{MPa}$

Şekil 5. Betonarme kompozit perde duvar davranışına saç çelik levha kalınlığının etkisi

4. Sonuçlar

Betonarme perde duvarlarda, perde uç bölgelerindeki yoğun donatılar sebebi ile perde duvara beton dökümü sırasında yoğun olan donatıların arasına beton tam olarak yerleşememekte, dayanım kaybı ve aderans sorunu ortaya çıkmaktadır. Alternatif olarak, perde uç bölgesinde yoğun donatı bulunan betonarme perde duvarlar yerine, perde uç bölgesinde L Őeklinde yapısal elik elemanlardan imal edilmiş kompozit perde duvarların kullanılabilme ihtimali araştırılmıştır. Perde uç bölgelerinde L Őeklinde yapısal elik elemanlar bulunan kompozit perde duvarların sismik davranışını incelemek amacıyla deneysel ve analitik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada perde uç bölgelerinde L Őeklinde yapısal elik elemanlar bulunan 1/3 geometrik ölçekli kompozit perde duvar depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiş ve elde edilen sonuçlar analitik olarak doğrulanmıştır. Kompozit perde duvarın davranışını gereki bir Şekilde modellemede sonlu eleman modeli oldukça başarılı olmuştur.

Kaynaklar

- [1] D. Dan, A. Fabian, and V. Stoian, “Nonlinear behavior of composite shear walls with vertical steel encased profiles,” *Eng. Struct.*, vol. 33, no. 10, pp. 2794–2804, 2011.
- [2] D. Dan, A. Fabian, and V. Stoian, “Theoretical and experimental study on composite steelconcrete shear walls with vertical steel encased profiles,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 67, no. 5, pp. 800–813, 2011.
- [3] S. H. Cho, B. Tupper, W. D. Cook, and D. Mitchell, “Structural Steel Boundary Elements for Ductile Concrete Walls,” *J. Struct. Eng.*, vol. 130, no. 5, pp. 762–768, 2004.
- [4] Y. Zhou, X. Lu, Z. Huang, and Y. Bo, “Seismic Behavior of Composite Shear Walls With Multi-Embedded Steel Sections. Part Ii: Analysis,” *Struct. Des. Tall Spec. Build.*, vol. 19, no. 6, pp. 637–655, 2010.
- [5] L. Shahryari and M. Esfandiari, “Comparison of plasticity and stiffness of steel shear walls with composite steel plate shear wall,” *J. Struct. Eng. Geotech.*, vol. 5, no. 3, pp. 21–26, 2015.
- [6] J. Qian, Z. Jiang, and X. Ji, “Behavior of steel tube-reinforced concrete composite walls subjected to high axial force and cyclic loading,” *Eng. Struct.*, vol. 36, pp. 173–184, 2012.
- [7] N. H. Nguyen and A. S. Whittaker, “Numerical modelling of steel-plate concrete composite shear walls,” *Eng. Struct.*, vol. 150, pp. 1–11, 2017.
- [8] F. Y. Liao, L. H. Han, and Z. Tao, “Performance of reinforced concrete shear walls with steel reinforced concrete boundary columns,” *Eng. Struct.*, vol. 44, pp. 186–209, 2012.
- [9] F. Y. Liao, L. H. Han, and Z. Tao, “Seismic behaviour of circular CFST columns and RC shear wall mixed structures: Experiments,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 65, no. 8–9, pp. 1582–1596, 2009.
- [10] H. S. Hu, J. G. Nie, J. S. Fan, M. X. Tao, Y. H. Wang, and S. Y. Li, “Seismic behavior of CFST-enhanced steel plate-reinforced concrete shear walls,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 119, pp. 176–189, 2016.
- [11] A. Ali, D. Kim, and S. G. Cho, “Modeling of nonlinear cyclic load behavior of I-shaped composite steel-concrete shear walls of nuclear power plants,” *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 45, no. 1, pp. 89–98, 2013.
- [12] M. H. Kisa, S. B. Yüksel, and N. Caglar, “An Experimental Study on the Hysteric Behavior of Composite Shear Walls,” *4th Int. Symp. Innov. Technol. Eng. Sci. - ISITES2016*, vol. 2016, no. November, 2016.
- [13] McKenna, F., Fenves G. L. and Scott, M. H. (2004), Open system for earthquake engineering simulation, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, <http://opensees.berkeley.edu>.