

Betonarme Manto ile Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Davranışının Sayısal Olarak İncelenmesi

M. Burhan Navdar and Naci Caglar

Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

Özet

Deprem performansı açısından yetersiz olan yapısal elemanların güçlendirilmesi mevcut yapıların güvenliği açısından oldukça önemlidir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan güçlendirme yöntemlerinden biri de betonarme manto ile güçlendirme yöntemidir. Betonarme manto ile güçlendiren yapısal elemanların davranışının incelenmesi üzerine birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmaların maliyetinin yüksek ve aynı zamanda uygun ortam ve olanakların ise kısıtlı oluşundan dolayı sayısal çalışmalar da sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında betonarme manto ile güçlendirilen kolonların davranışlarını incelemek amacıyla OpenSees programı ile sonlu elemanlar (SE) modeli oluşturulmuş ve güvenilirliği literatürden seçilen deney sonuçları ile doğrulanmıştır. Bu SE modeli referans alınarak, eklenen manto kısmında kullanılan beton dayanımının ve enine donatı aralığının güçlendirilmiş kolon davranışı üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Analiz sonuçları karşılaştırıldığında, beton dayanımının ve sargı miktarının değişmesiyle birlikte betonarme kolonun rijitliğinde, sünekliğinde ve yük taşıma kapasitesinde önemli artışlar meydana gelmiştir.

Anahtar kelimeler: Güçlendirme, betonarme manto, sonlu eleman, OpenSees.

Numerical Investigation of Behavior of RC Columns Strengthened with RC Jacket

Abstract

Strengthening of structural elements which are insufficient in terms of earthquake performance is very important for the safety of existing structures. Nowadays, one of the most commonly used methods is strengthening such members with RC jacketing. Several experimental studies have been conducted in the literature to investigate behavior of structural elements reinforced with RC jacketing. Moreover, numerical studies are frequently preferred due to the high cost of experimental studies and the limited availability of laboratory facilities. In this study, a finite element model has been created with OpenSees program in order to investigate the behavior of strengthened RC columns with jacketing. Later, the accuracy of the model has been verified successful by the experimental results selected from the literature. By using that verified model, the effects of concrete strength and amount of spacing of transverse reinforcement used on the jacketing part on reinforced column behavior were investigated. As a result of the study, it is deduced that the change in the concrete strength and amount of transverse reinforcement results in a significant change in ductility, load capacity and rigidity of the reinforced concrete columns.

Key words: Retrofitting, RC jacketing, finite element, OpenSees.

1.Giriş

Şiddetli depremler sonucu yapılarda oluşan hasarlar, genellikle eleman bazında veya sistem bazında yapılan tasarım kusurlarından kaynaklanmaktadır. Depremin büyüklüğü önemli olmakla birlikte oluşabilecek hasarlar etkin mühendislik hesaplamaları ve uygulamaları ile

azaltılabilir. Deprem performansı açısından yetersiz olduğu belirlenen mevcut yapılar eleman bazında veya sistem bazında güçlendirilerek güvenli hale getirilebilir. Eleman bazında yapılan güçlendirme işlemlerinde genellikle yapı güvenliği açısından en kritik eleman olan kolonların güçlendirilmesi tercih edilir [1]. Betonarme kolonların güçlendirilmesinde yaygın olarak; betonarme manto [2-3], çelik manto [4-5], ve karbon lifli polimerler [6-7] yaygın olarak kullanılır [8].

Betonarme manto mevcut güçlendirme arasında kullanılan ve tercih edilen en önemli yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, boyuna ve enine donatısı mevcut yönetmeliklere uygun şekilde imal edilmiş ve beton dayanımı mevcut dayanıma göre çok daha iyi olan yeni bir betonarme kesit ile kolon kesiti büyütülmektedir. Yeni betonarme kolon elemanında enine donatıların da kullanılması elemanın sünekliliğinin yanı sıra kesme dayanımında da önemli katkı sağlamaktadır. Eğer manto katmanında kullanılan boyuna donatıların sürekliliği eleman uç kısımlarından komşu katlara sağlıklı bir şekilde devam ederse, eğilme ve kesme kapasiteleri artışı ile katlar arasındaki kuvvet aktarımı da sağlanılır [9]. Çelik mantolamada aksel kapasite artsa da alt ve üst kolonda sürekliliği zor ve etkinliği kuşkulu olmasından ötürü eğilme kapasitesi bakımından elverişli değildir. Lif takviyeli polimerler kullanıldığında ise katlar arasında bir geçiş sağlanmadığı için hem aksel yük hem de eğilme kapasitelerinde ciddi artışlar olmadığı gibi kuvvet aktarımı da yapılamamaktadır. İşçiliğinin zahmetli olmasına karşın diğer güçlendirme yöntemlerine göre elemana ve sisteme sağlamış olduğu olanaklar, betonarme mantolamanın halen yaygın olarak kullanılmasında etkili bir yöntemdir.

Betonarme mantolama işlemi uygulama kısmında elemanın durumuna göre bir, iki, üç ve dört yüzeyden sarılarak yapılmaktadır. Fakat uygulamada mantolamanın betonarme mevcut elemanın tüm yüzeylerini çevrelemesi önerilmektedir. Mantolamanın yapılacağı mevcut beton yüzeyi pürüzlendirilmeli ve suya doymun hale getirilerek manto betonu ile bütünleşmesi sağlanmalıdır. Eğer mevcut beton yüzeyinde bir hasar varsa veya büyük etkiler söz konusu ise güçlendirmeden önce ilk yapılacak iş kabuk beton kısmının dökülmesi olacaktır. Mevcut kolon ile manto kısmının bütünleşmesi için kenetlenme donatısı kullanılır [10].

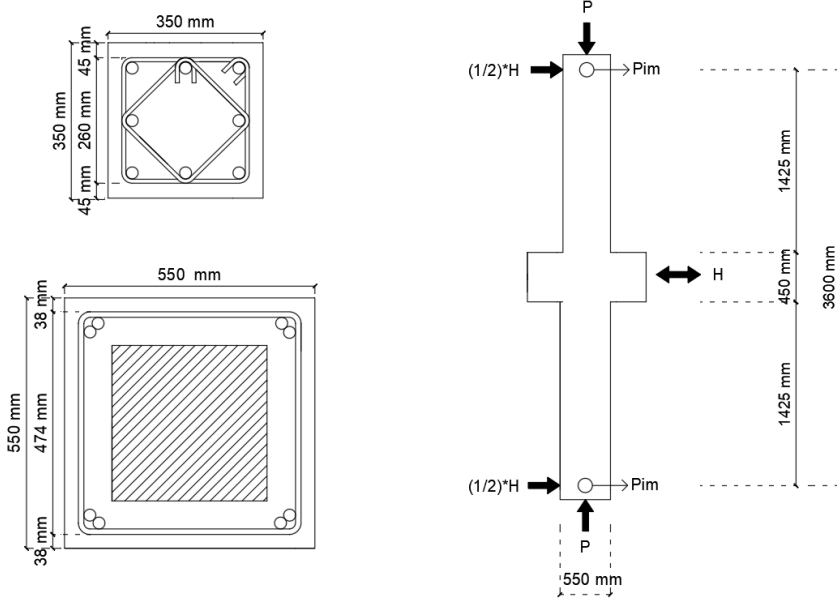
Bu çalışma kapsamında betonarme manto ile dört tarafından sarılarak güçlendirilen betonarme kolonların davranışları araştırılmıştır. OpenSees [11] yapısal simülasyon programı ile oluşturulan sonlu elemanlar modelinin doğruluğu literatürden seçilen deneysel çalışma ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Doğrulanmış sonlu elemanlar modeli kullanılarak parametrik bir çalışma yapılmış ve eklenen manto kısmında kullanılan beton dayanımı ile enine donatı aralığının güçlendirilmiş kolon davranışı üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

2. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, sayısal analizlerin doğrulanması amacıyla Rodrigues ve Park [12] tarafından yapılan deneysel çalışma literatürden alınmıştır. Rodrigues ve Park, mevcut kolonun yalın ve betonarme mantolama ile onarılmış ve güçlendirilmiş hallerinin sismik yükleme durumundaki davranışları incelemişlerdir.

Analizler için yalın kolon ve güçlendirilmiş kolon için sırasıyla S1 ve SS2 numuneleri seçilmiştir. Numunelere histeresis yatay kuvvet ile eşzamanlı olarak 0.1xfcoxAg büyüklüğünde sabit aksel yük uygulanmıştır. Kesiti 350x350 mm olan mevcut kolona, dört yüzeyinden 100 mm genişliğinde mantolama işlemi yapılmıştır. Mevcut kolonun ve manto kolonun beton basınç dayanımları sırasıyla 29.5 MPa ve 34 MPa olarak verilmiştir. Mevcut kolonun boyuna

donatı çapı, boyuna donatı akma dayanımı, etriye çapı, etriye akma dayanımı, etriye aralığı sırasıyla 20 mm, 325 MPa, 6 mm, 350 MPa ve 365 mm olarak belirtilmiştir. Manto kısmında ise donatıların mekanik özellikleri olarak boyuna donatı çapı 16 mm, boyuna donatı akma dayanımı 502 MPa, etriye çapı 10 mm, etriye akma dayanımı 340 MPa ve etriye aralığı 95 mm'dir.



Şekil 1. Sayısal analiz için seçilen deney numunelerinin kesit özellikleri ve yükleme durumu [12]

3. Sayısal Çalışma

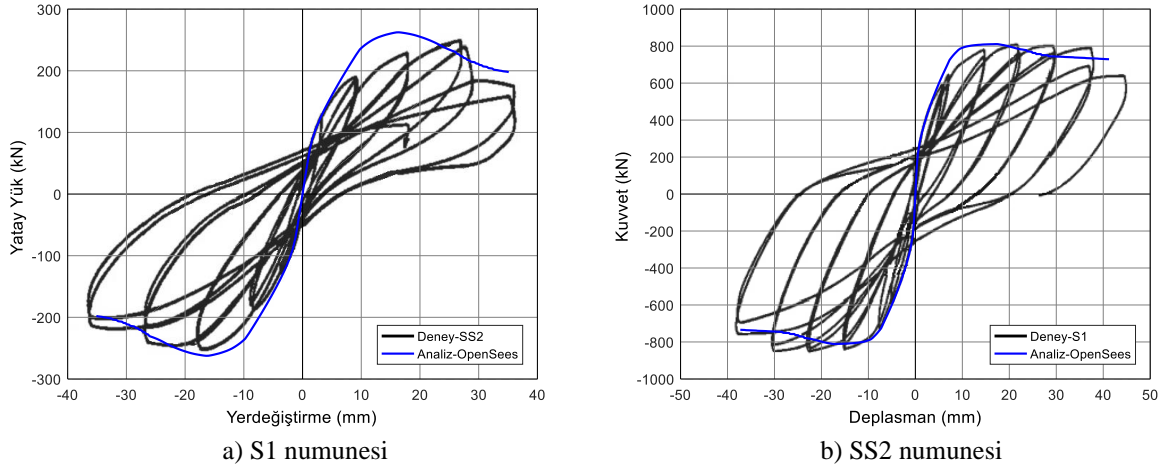
Betonarme manto ile güçlendirilmiş kolonların monotonik yükleme altındaki statik itme analizleri için OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation) programından faydalanılmıştır. Güçlendirilmiş elemanların doğrusal olmayan davranışını yansıtmak amacıyla Gauss-Radua plastik mafsallı integrasyon metodu seçeneği ile düzenlenen 'forceBeamColumn' kuvvete dayalı kiriş-kolon elemanı kullanılmıştır. Doğrusal olmayan malzeme modellerinin tanımlanması için ise kiriş-kolon elemanlarına kesit hücresi(lif) modeli atanmıştır. Güçlendirilen eleman modellerinde kuşatılmamış beton için Concrete02, kısmi ve tamamen kuşatılmış modeller için Concrete04 ve donatı modeli için ise Steel02 modeli seçilmiştir.

Malzemelerin karakteristik özellikleri belirlemek amacıyla gerilme ve şekil değiştirme değerlerinin hesabında kuşatılmamış beton için Kent-Park [13], kısmi kuşatılmış beton için Mander vd. [14] ve tamamen kuşatılmış betonda için ise Campione vd. [15] tarafından önerilen beton modelleri dikkate alınmıştır. Donatı modeli için ise Manegotto ve Pinto [16] donatı modeli esas alınmıştır.

Beton ile çeliğin (çelik donatının) etkileşim yüzeylerinde meydana gelen aderans kaymasından kaynaklanan ek deplasman, Sezen ve Setzler [17] tarafından önerilen model dikkate alınarak SE modeline entegre edilmiştir. Ayrıca modelde eğilmeye göre eksenel yönde formasyonların çok küçük olduğu kabul edilmiş ve kesmeden kaynaklanan etkiler ihmal edilmiştir.

Literatürden alınan deneysel yalın ve güçlendirilmiş kolonun histeresis davranışı, OpenSees sonlu eleman modelleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2). Analitik sonuçlar ile deneysel sonuçların

oldukça yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bir sonraki bölümde yapılacak parametrik çalışma için bu SE modelleri referans alınmıştır.



Şekil 2. Deneysel sonuçların OpenSees programı ile doğrulanması

4. Parametrik Çalışma

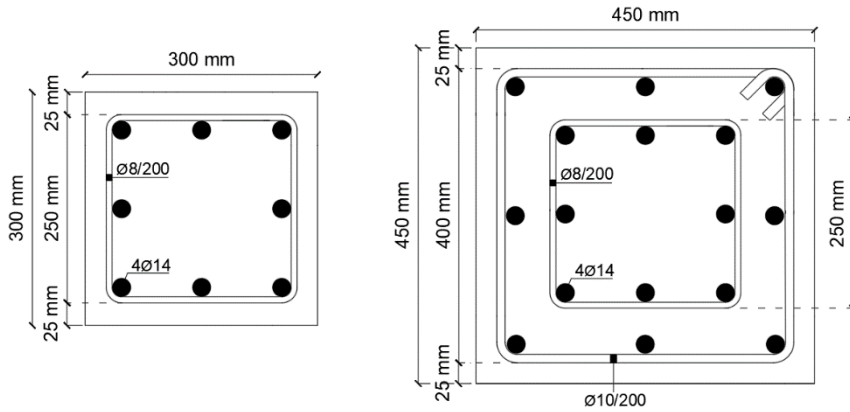
Bu kısımda, doğruluğu kanıtlamış sonlu eleman modeli kullanılarak, dayanım ve süneklik açısından yetersiz olan betonarme bir kolonun güçlendirilme sonrasındaki davranışı incelemek amacıyla parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu parametrik çalışmada, mevcut kolonun kesit ve malzeme özellikleri sabit tutulmuş, manto beton dayanımı ve manto etriye aralıkları değiştirilmiştir. Parametrik çalışmada kullanılan boyuna ve enine donatıların malzeme modeli, TBDY (2019) [18]'de önerilen bilineer davranışın S420 donatı çeliği için idealleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Ayrıca parametrik çalışmalarda nihai deformasyonların sınır değerini belirlemede göçmenin önlenmesi performans düzeyi için TBDY (2019) [18]'de önerilen $\epsilon_c=0.018$ değeri referans alınmıştır. Seçilen mevcut kolonun ve mantolanmış kolonun kesit özellikleri Şekil 3'te ve genel özellikleri ise Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Mevcut betonarme kolonun malzeme özellikleri

	Beton Dayanımı (f_{co}) (MPa)	Boyuna Donatı (d_{lo}) (mm)	Boyuna Donatı Akma Dayanımı (f_{ylo}) (MPa)	Enine Donatı (d_{ho}, s_o) (mm)	Etriye Akma Dayanımı (f_{yho}) (MPa)	Eksenel Yük (kN)
Mevcut Kolon	14	6 ϕ 14	220	ϕ 8/200	220	1000

Tablo 2. Güçlendirilmiş betonarme kolonun manto kısmındaki malzeme özellikleri

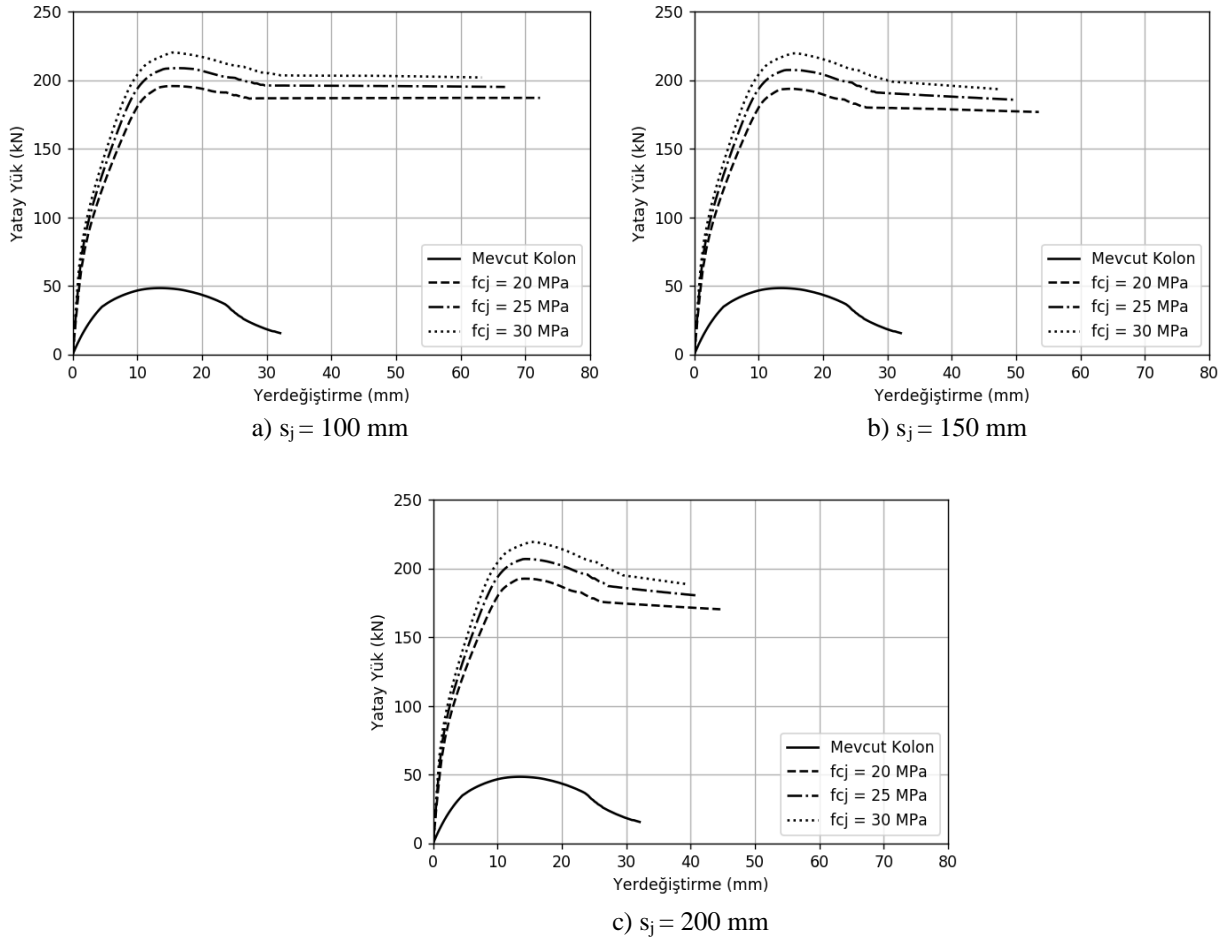
	Beton Dayanımı (f_{cj}) (MPa)	Boyuna Donatı (d_{ij}) (mm)	Boyuna Donatı Akma Dayanımı (f_{yij}) (MPa)	Enine Donatı (d_{hj}, s_j) (mm)	Etriye Akma Dayanımı (f_{yhj}) (MPa)	Manto Kalınlığı (t_j) (mm)	Eksenel Yük (N) (kN)
Mantolanmış Kolon	20	6 ϕ 16	420	Φ 10/100	420	100	1000
				Φ 10/150			
				Φ 10/200			
	25	6 ϕ 16	420	Φ 10/100	420	100	1000
				Φ 10/150			
				Φ 10/200			
	30	6 ϕ 16	420	Φ 10/100	420	100	1000
				Φ 10/150			
				Φ 10/200			



Şekil 3. Mevcut Kolonun ve Güçlendirilmiş Kolonun Kesit Özellikleri

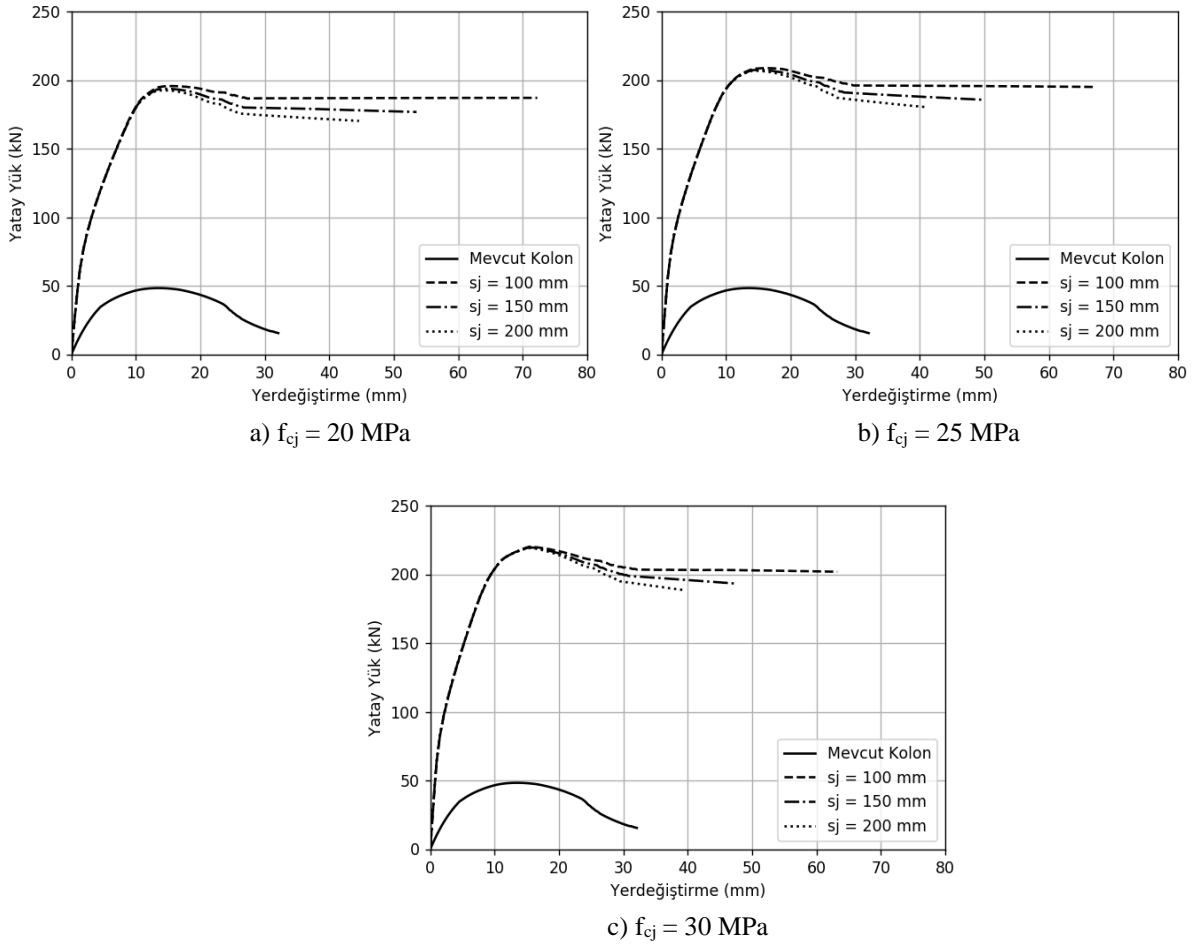
OpenSees programı kullanılarak gerçekleştirilen parametrik çalışmanın sonuçları Şekil 4 ve Şekil 5’de verilmiştir. Yapılan sayısal analizlerde betonarme manto ile güçlendirilen betonarme kolonların yatay yük etkisi altındaki yatay yerdeğiştirmesi ilişkisi grafikler halinde sunulurak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Etriye aralıkları $s_j=100$ mm, $s_j=150$ mm ve $s_j=200$ mm için sabit tutularak betonarme mantonun beton basınç dayanımının farklı değerleri için sayısal analizler yapılmıştır. Şekil 4’ten de açıkça görüldüğü gibi betonarme mantonun beton basınç dayanımının artması ile güçlendirilen betonarme kolonların rijitliği ve yatay yük taşıma kapasitesinin belirgin bir şekilde arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte betonarme mantonun beton basınç dayanımının artmasıyla beraber beklendiği gibi eleman daha gevrek davranış göstermeye başlamış ve güç tükenme durumundaki yerdeğiştirmesi azalmıştır. Ayrıca etriye aralık mesafesinin 200mm olduğu güçlendirilmiş betonarme kolonlarda güçlendirme sonrası dayanımda belirgin artışlar olmakla birlikte etriye adım mesafesinin mevcut kolondaki etriye adım mesafesi ile aynı olması nedeniyle süneklik üzerinde etkisinin sınırlı kaldığı ve göreceli olarak gevrek davranış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4. Güçlendirilen kolonun davranışına manto beton dayanımının etkisi

Betonarme manto beton basınç dayanımları $f_{c_j} = 20$ MPa, $f_{c_j} = 25$ MPa ve $f_{c_j} = 30$ MPa için sabit tutularak güçlendirilmiş betonarme kolonlarda, sargı donatısı aralığının farklı değerleri için sayısal analizler yapılmıştır. Şekil 5'ten de açıkça görüldüğü gibi maksimum dayanıma kadar etriye aralığının değişiminin güçlendirilmiş betonarme kolon davranışına belirgin bir etkisi yoktur. Bununla birlikte betonun çatlaklarının açılması ve boyuna donatının akması sonrasında sargı donatısı yük almaya başlamış ve etriye aralıklarının değişiminin davranışa etkisi belirgin bir şekilde gözlemlenmeye başlamıştır. Etriye adım mesafesinin kısılması ile güçlendirilen betonarme kolonların davranışı belirgin bir şekilde daha sünek hale gelmiş ve nihai yerdeğiştirmelerde artmalar olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Güçlendirilen kolonun davranışına enine donatının sargı etkisi

5.Sonuçlar

Bu çalışmada, betonarme manto ile güçlendirilen betonarme kolonların davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Güçlendirilen betonarme kolonun davranışına betonarme mantonun beton basınç dayanımının ve etriye adım mesafesi değişiminin etkisi irdelenmiştir.

Güçlendirilmiş betonarme kolonun taşıma gücündeki artışlar, beton dayanımının artmasıyla doğru orantılı şekilde gelişmektedir. Ayrıca etriye sıklaştırmasıyla birlikte elemanın şekil değiştirebilme yeteneği ve sünekliğinde mantolu kolondaki sargı miktarının artmasıyla doğru orantılı şekilde değişim göstermiştir. Manto beton dayanımının eleman rijitliği önemli ölçüde arttırdığı ve etriye miktarının ise eleman rijitliğine gözle görülür bir katkı vermediği anlaşılmaktadır. Ayrıca etriye aralık mesafesinin deprem yönetmeliklerinde verilen sınır değerleri aşması durumunda süneklik üzerinde etkisinin sınırlı kaldığı ve etriye adım mesafesinin artmasıyla da sünek davranışından uzaklaşarak gevrek davranışa yaklaştığı belirlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Canbay E, Ersoy U, Özcebe G, Sucuoğlu H, Wasti ST. Binalar için deprem mühendisliği temel ilkeler. Ankara: ODTÜ Yayıncılık; 2008.
- [2] Ersoy, Ugur; Tankut, A. Tugrul; Suleman, Ramadan. Behavior of jacketed columns. *Structural Journal*, 1993, 90.3: 288-293.
- [3] Bousias, Stathis N., et al. Strength, stiffness, and cyclic deformation capacity of concrete jacketed members. *ACI Structural Journal*, 2007, 104.5: 521.
- [4] Garzon-Roca, Julio; Adam, Jose M.; Calderon, Pedro A. Behaviour of RC columns strengthened by steel caging under combined bending and axial loads. *Construction and Building Materials*, 2011, 25.5: 2402-2412.
- [5] Xu, Chengxiang Cx; Sheng, Peng S.; Wan, Chong C. Experimental and theoretical research on shear strength of seismic-damaged src frame columns strengthened with enveloped steel jackets. *Advances in Civil Engineering*, 2019.
- [6] Iacobucci, Richard D.; Sheikh, Shamim A.; Bayrak, Oguzhan. Retrofit of square concrete columns with carbon fiber-reinforced polymer for seismic resistance. *Structural Journal*, 2003, 100.6: 785-794.
- [7] Farrokh Ghatte, Hamid, et al. Seismic retrofit of full-scale substandard extended rectangular rc columns through cfrp jacketing: test results and design recommendations. *Journal of composites for construction*, 2018, 23.1: 04018071.
- [8] T. Tankut. Türkiye'deki bina yapıları için güçlendirme stratejisi. 2004.
- [9] Ersoy, Uğur. Betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi uygulama ve araştırmalar. 2007.
- [10] Z. Celep. Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı. Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul, 2017.
- [11] 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>.
- [12] Rodriguez, Mario; Park, Robert. Seismic load tests on reinforced concrete columns strengthened by jacketing. *Structural Journal*, 1994, 91.2: 150-159.
- [13] Kent, Dudley Charles; Park, Robert. Flexural members with confined concrete. *Journal of the Structural Division*, 1971.
- [14] Mander, John B.; Priestley, Michael Jn; Park, R. Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of structural engineering*, 1988, 114.8: 1804-1826.
- [15] Campione, G., et al. RC columns externally strengthened with RC jackets. *Materials and structures*, 2014, 47.10: 1715-1728.
- [16] Menegotto, Marco. Method of analysis for cyclically loaded RC plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under combined normal force and bending. In: Proc. of IABSE symposium on resistance and ultimate deformability of structures acted on by well defined repeated loads. 1973. p. 15-22.
- [17] Sezen, Halil; Setzler, Eric J. Reinforcement slip in reinforced concrete columns. *ACI Structural Journal*, 2008, 105.3: 280.
- [18] TBDY-2019 (2019), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.