

Eksenel Yük ve Moment Etkisi Altındaki Çelik Gömme Kompozit Kolonların Dayanımları ve Süneklikleri

Fethullah USLU^{1*}, Kıvanç TAŞKIN², Mustafa Halûk SARAÇOĞLU¹

ÖZET: Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 318), AISC-LRFD Şartnamesi, AISC Sismik Yönetmelikleri ve EN-1994 kompozit kolon tasarımına yönelik hesaplamaları ve sınır şartlarını belirtmektedir. Bu yönetmelikler kullanılarak, yapısal çelik ve betonun elastik olmayan davranışı betonun gerilme-şekil değiştirme özelliklerinin dayanım ve sargı etkisi altında değişimleri kullanılarak açıklanmıştır. Bu çalışmada örnek bir çelik yapı üzerinden alınan kesit tesirleri kullanılarak kompozit kolon tasarlanmıştır. Örnek yapı FEMA 355-C de verilen SAC binalarından 9 katlı Los Angeles binası olarak seçilmiştir. Kompozit kolona ait analizler dayanım ve süneklik özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede kompozit kolonda kullanılan yapısal çelik ve betonun ayrı ayrı dayanımları, alanları ve etriye aralığı parametreleri orantısal olarak belirlenmiştir. ACI 318 ve AISC-LRFD ve EN-1994 yönetmeliklerine bakıldığında nominal dayanımlar açısından farklılıklar olduğu görülmüştür. Kompozit kolonun bileşik etkiler altındaki davranışını belirlemek için ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Örnek kolon yapısal çelik ve kompozit olmak üzere iki farklı yapısal kesit olarak analiz edilmiştir. Ayrıca gömme kompozit kolonların sonlu elemanlar ortamında programlanmasında ağ sıklığının sonuçlara etkisi, aynı kesit tesirleri altında çelik ve kompozit kolonlarda oluşan göçme mekanizmaları ile birim şekil-değiştirme ve gerilmeleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Kolon, Çelik Kolon, Sonlu Eleman Analizi, Göçme Mekanizması

Strength and Ductility of Concrete Encased Composite Columns Under Axial Force and Moment

ABSTRACT: The American Concrete Institute (ACI 318) specifies calculations and boundary requirements for the AISC-LRFD Specification, AISC Seismic Regulations and EN-1994 composite column design. Using these regulations, the inelastic behaviour of structural steel and concrete is explained by using the stress-strain properties of concrete under the influence of strength and winding. In this study, a composite column was designed by using section effects on a sample steel structure. The exemplary structure was chosen as the 9-storey Los Angeles building from the SAC buildings given in FEMA 355-C. The analyzes of the composite column were evaluated according to their strength and ductility properties. In this evaluation, the strengths, areas and stirrup parameters of the structural steel and concrete used in the composite column were determined proportionally. Looking at the ACI 318 and AISC-LRFD and EN-1994 regulations, there were differences in terms of nominal strengths. ANSYS finite element program was used to determine the behaviour of the composite column under compound influences. The sample column was analyzed in two different structural sections, structural steel and composite. Also, the effect of mesh size on the results in the finite element analysis of embedded composite columns, the unit strain and stresses of steel and composite columns under the same cross-section effects were compared.

Keywords: Composite Column, Steel Column, Finite Element Method, Collapse Mechanism

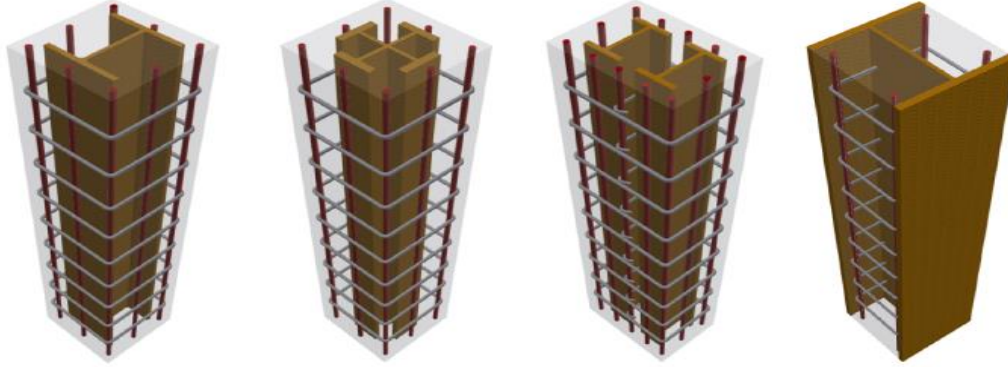
¹ Fethullah USLU (Orcid ID: 0000-0001-8057-5119), Mustafa Halûk SARAÇOĞLU (Orcid ID: 0000-0003-3842-5699), Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, Kütahya, Türkiye

² Kıvanç TAŞKIN (Orcid ID: 0000-0001-8024-4600), Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, Eskişehir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Fethullah USLU, e-mail: fethullah.uslu@dpu.edu.tr

GİRİŞ

Çelik gömmeli kompozit kolonlar, betonarme ve çelik elemanlara göre sahip oldukları yüksek taşıma kapasitesi sebebi ile genellikle yüksek katlı yapıların bodrum katlarında, tüplü sistemlerin çekirdek kısmında, yeraltına yapılan otopark vb. yapılarda kullanılmaktadırlar. Çelik gömmeli kompozit kolonlarda çelik elemanın başlıkları arasına kısmi gömülmüş veya tam gömülü olarak imal edilebilirler (Şekil 1).



Şekil 1. Çelik gömmeli kompozit kolon tipleri (Lai ve ark., 2019)

Kompozit kolonun içine yerleştirilen yapısal çelik elemanın kolonun kesme dayanımını arttırdığı deneysel olarak kanıtlanmıştır, (Wang ve ark., 2004; Zhu ve ark., 2010). Kompozit kolonların kesit kapasiteleri eksenel yük-moment etkileşim diyagramları kullanılarak her bir yükleme durumu için belirlenebilir. Genellikle, elde edilen bu diyagramlar birçok noktanın düz çizgilerin birleşiminden oluşan poligonol eğrilerle ifade edilirler. Fakat, günümüzde kullanılan yönetmelikler yüksek mukavemetli kompozit kolonlara ait deneysel verilerin azlığı sebebi ile sınır şartlarını normal dayanımlı kompozit kolonlara göre oluştururlar, (Eurocode 4, 2004; ACI, 2008; AIJ, 2014; ANSI/AISC 360-16, 2016; JGJ, 2016). Buna rağmen, sınırlı sayıda da olsa yüksek dayanımlı kompozit kolonlara ait burkulma durumunun (Lai ve ark., 2019), eksenel yük altındaki davranışını (Zhu ve ark., 2014; Lai ve ark., 2019), sismik davranışını (Zhu ve ark., 2016; Chen ve ark., 2016) inceleyen çalışmalar da yapılmıştır.

Çelik ve betondan oluşturulmuş kompozit kolonlar ile kompozit yapı sistemleri ve elemanlarının olumlu ve olumsuz yönlerini ortaya koyarak bazı önerilerde bulunan literatürdeki derleme çalışmalarında sunulmuştur (Shanmugam ve Lakshmi., 2001; İnce ve ark., 2015). Prefabrik çelik betonarme kompozit kolonların incelendiği çalışmada ise, kompozit kolonda temel mekanizması, yapısal performans ve saha uygulama durumu tartışılmıştır (Hwang, 2018). Farklı enkesitlerdeki kompozit kolonların performans esaslı analizi için çeşitli dinamik yükler altında hesaplamalar yapılarak kompozit kolonlara ait modal ve plastik davranışlar karşılaştırılmış ve incelenmiştir (Amiri ve Mehr., 2015; Sevim ve Altunışık., 2017). Yüksek mukavemetli beton kullanılarak oluşturulan kompozit kolonların eksenel yükler altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiş ve sonlu eleman modeli ile elde edilen sayısal çözümler karşılaştırılmıştır (Pereira ve ark., 2016). Çalışmada, kompozit kolonun ve çelik kolonun sayısal olarak analizleri sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen çelik ve kompozit kolonlardaki gerilmeler ve yer değiştirmeler değerlendirilmiştir (Lacki ve ark., 2018).

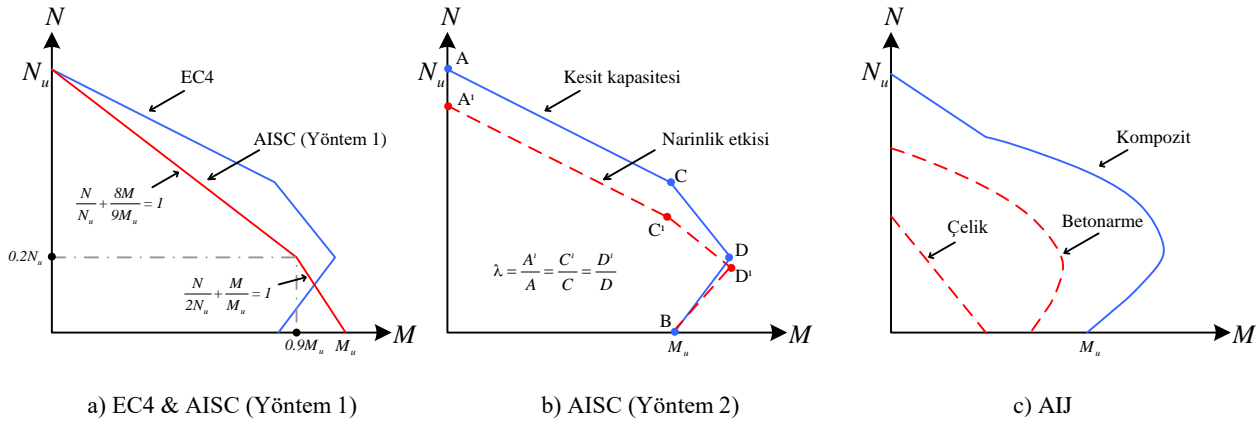
Yaygın olarak benimsenen bir tasarım yaklaşımı olarak EN 1994-1-1, kolon yüksekliği ile birlikte çift simetrik ve düzgün kesitli kolonların tasarımına izin vermektedir. Çelik kısımdaki plastik gerilmenin sınırlı yayılmasını hesaba katmak için, tam plastik gerilme dağılımına dayanarak hesaplanan değeri azaltmak için bir indirgeme faktörü α_M kullanılmaktadır. α_M değeri çelik kalitesi ile yüksek oranda ilişkilidir, S235/S355 çeliği için 0.9 ve S420/S460 çeliği için 0.8 olarak alınır ve yüksek dayanımlı çelik

için ise herhangi bir değer ve katsayı belirtilmemiştir (Ma ve ark., 2018). AISC 360-16 yönetmeliğinde etkileşim diyagramı karşılaştırma grafikleri için birçok yöntem önermektedir (Şekil 2). Belirtilen Yöntem-1, sadece çelik elemanın tasarım kapasitesinin modifikasyonuna dayanmakta olup, beton katkısının toplam kapasiteye oranı arttıkça davranışı iyileştirmektedir. (Şekil 2.a), (ANSI/AISC 360-16, 2016). Yöntem-2 ise narinlik etkisinin göz önüne alındığı tasarım kapasitesinin sadece basınç dayanımı göz önüne alınarak hesaplanmasına dayanmaktadır (Şekil 2.b). AIJ yönteminde ise kompozit davranış hiç göz önüne alınmadan her bir yapı elemanın etkileşim diyagramı ayrı ayrı hesaplanmaktadır (Şekil 2.c), (AIJ, 2014).

Çizelge 1. Eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkisi altında yapılan deneysel çalışmalar

Referans	Numune	B × D	Çelik kesit	δ	Cz/h	f_c (MPa)	f_{ys} (MPa)	f_{yr} (MPa)	ρ_l (%)	ρ_v (%)	Nt (kN)	Mt (kNm)	
(Kim ve ark., 2012; Kim ve ark.,2013)	C1	260 × 260	150 × 100 × 17.6 × 17.6	0.49	0.37	94	913	525	1.3	2.59	2120	288	
	C2	260 × 260	150 × 100 × 17.6 × 17.6	0.49	0.37	94	913	525	1.3	2.59	3752	264	
	C3	260 × 260	150 × 100 × 17.6 × 17.6	0.49	0.37	94	913	525	1.3	1	2020	270	
	C4	260 × 260	150 × 100 × 17.6 × 17.6	0.49	0.37	94	913	525	1.3	2.59	2072	281	
	C10	260 × 260	150 × 150 × 15 × 15	0.47	0.37	104	812	512	1.32	2	2023	276	
	C11	260 × 260	150 × 150 × 15 × 15	0.47	0.37	104	812	512	1.32	2	1986	288	
(Naka ve ark., 1997;	1d	240 × 300	180 × 120 × 4.5 × 12	0.36	0.33	25.5	344.8	461.3	2.41	0.4	1470	197.4	
Weng ve ark.,2002)	2d	240 × 300	180 × 120 × 4.5 × 12	0.36	0.33	25.5	344.8	461.3	2.41	0.4	980	235	
	3d	240 × 300	180 × 120 × 4.5 × 12	0.36	0.33	25.5	344.8	461.3	2.41	0.4	490	228.4	
	4d	240 × 300	180 × 120 × 4.5 × 12	0.36	0.33	25.5	344.8	461.3	2.41	0.4	0	214	
(Wakabayashi ve ark., 1997; Weng ve ark., 2002)	SRC 0N-M	210 × 210	150 × 100 × 6 × 9	0.48	0.2	21.5	304.6	367.6	0.76	0.28	0	69.1	
	SRC 2N-Me	210 × 210	150 × 100 × 6 × 9	0.43	0.2	26.9	312.3	367.6	0.76	0.28	300	74	
	SRC 4N-Me	210 × 210	150 × 100 × 6 × 9	0.41	0.2	29.5	312.3	367.6	0.76	0.28	600	69.1	
	SRC 6N-Me	210 × 210	150 × 100 × 6 × 9	0.43	0.2	27.5	312.3	367.6	0.76	0.28	900	60.3	
(Zhao ve ark., 2006)	SRHC-E1f	160 × 180	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.37	0.4	35.44	379	358	1.16	0.54	678	42.09	
	SRHC-E2	160 × 180	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.38	0.4	32.96	379	358	1.16	0.54	820	40.7	
	SRHC-1	160 × 180	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.33	0.4	42.48	379	361	1.16	0.54	654	48.17	
	SRHC-2f	160 × 180	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.36	0.4	36.56	379	361	1.16	0.54	486	40.06	
	SHC-E1	160 × 180	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.36	0.4	38.32	400	350	1.16	0.54	490	52.69	
	SHC-E2	160 × 180	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.34	0.4	43.28	400	350	1.16	0.54	282	46.29	
	SHC-E3	160 × 180	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.37	0.4	38.00	400	350	1.16	0.54	441	49.52	
	SHC-E4	160 × 180	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.31	0.4	49.52	400	350	1.16	0.54	249	43.52	
	SHC-E5	160 × 180	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.4	0.4	32.64	400	350	1.16	0.54	330	40.65	
	SHC-E6	160 × 180	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.35	0.4	41.20	400	350	1.16	0.54	210	38.37	
	(Yu ve Lu., 2009)	SRC1.4-40-1	200 × 200	126 × 74 × 5 × 8.4	0.28	0.29	34.08	280.5	380.3	1.2	0.78	1300	57.6
		SRC1.8-40-1	200 × 200	126 × 74 × 5 × 8.4	0.28	0.29	34.08	280.5	380.3	1.2	0.78	1200	56.8
SRC1.4-40-2g		200 × 200	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.25	0.5	34.08	280.5	360.3	0.82	0.78	865	37.18	
SRC1.8-40-2g		200 × 200	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.25	0.5	34.08	280.5	360.3	0.82	0.78	811	36.21	
SRC1.4-80-2g		200 × 200	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.25	0.5	34.08	280.5	360.3	0.82	0.78	538	45.47	
SRC1.8-80-2g		200 × 200	100 × 68 × 4.5 × 7.6	0.25	0.5	34.08	280.5	360.3	0.82	0.78	557	48.64	
SRC1.4-100-1		200 × 200	126 × 74 × 5 × 8.4	0.28	0.29	34.08	280.5	380.3	1.2	0.78	710	75.27	
SRC1.8-100-1		200 × 200	126 × 74 × 5 × 8.4	0.28	0.29	34.08	280.5	380.3	1.2	0.78	654	71.29	
(Han ve Kim., 1995)	AH2-E2-80	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	21.7	316	280	1.36	0.76	1222	26.88	
	AH2-E4-80	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	21.7	316	280	1.36	0.76	840	36.96	
	AH2-E8-80	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	21.7	316	280	1.36	0.76	537	43.75	
	BH2-E2-80h	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	20.6	294	280	1.36	0.76	990	21.42	
	BH2-E4-80h	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	20.6	294	280	1.36	0.76	764	33.52	
	BH2-E8-80h	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	20.6	294	280	1.36	0.76	509	44.28	
	CH1-E2-80	160 × 160	100 × 100 × 3.2 × 4.5	0.42	0.3	20.6	310	280	1.3	0.76	894	22.42	
	CH1-E4-80	160 × 160	100 × 100 × 3.2 × 4.5	0.42	0.3	20.6	310	280	1.3	0.76	574	24.79	
	CH1-E8-80	160 × 160	100 × 100 × 3.2 × 4.5	0.42	0.3	20.6	310	280	1.3	0.76	352	31.68	
	CH2-E2-80h	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	20.6	294	280	1.36	0.76	1003	24.57	
	CH2-E4-80h	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	20.6	294	280	1.36	0.76	698	30.63	
	CH2-E8-80h	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	20.6	294	280	1.36	0.76	486	44.71	
	DH2-E2-80h	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	20.6	294	280	1.36	0.76	864	22.25	
	DH2-E4-80h	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	20.6	294	280	1.36	0.76	624	32.94	
	DH2-E8-80h	160 × 160	100 × 100 × 6 × 8	0.56	0.3	20.6	294	280	1.36	0.76	489	44.94	

Kompozit kolonlarda bileşik kuvvetler (eksenel kuvvet ve eğilme momenti) altında geniş bir yelpazede farklı çelik ve beton sınıflarını kapsayan deneysel çalışmalar yapılmıştır, Çizelge 1 (Lai ve ark., 2019).

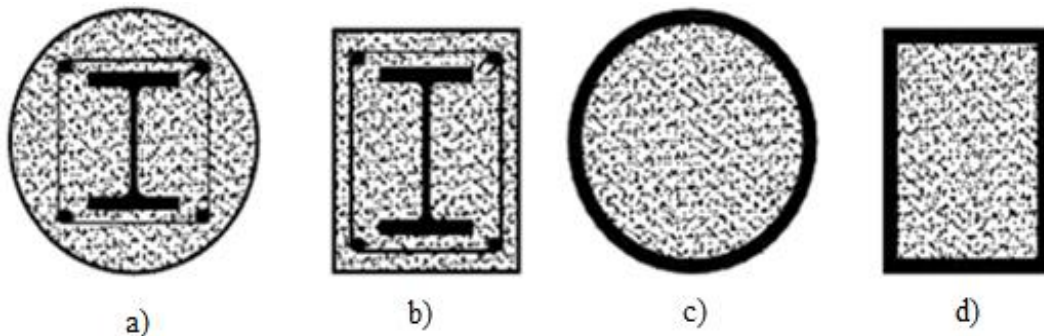


Şekil 2. EN1994-1-1 (EC4); AISC 360-16 (AISC); AIJ-2014 (AIJ). Yönetmeliklerine Göre (M-N) Etkileşim diyagramı Karşılaştırmaları (Lai ve ark., 2019)

Bu çalışmada örnek bir çelik yapı üzerinden alınan kesit tesirleri kullanılarak kompozit kolon tasarlanmıştır. Kompozit kolona ait analizler dayanım ve süneklik özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede kompozit kolonda kullanılan yapısal çeliğin ve betonun ayrı ayrı dayanımları, alanları ve etriye aralığı orantısal olarak belirlenmiştir. Kompozit kolonun bileşik etkiler altındaki davranışını belirlemek için ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Örnek kolon yapısal çelik ve kompozit olmak üzere iki farklı yapısal kesit olarak analiz edilmiştir. Kompozit kesite moment eksenel kuvvet (M-N) etkileşim grafiği hesaplanmıştır. Ayrıca gömme kompozit kolonların sonlu elemanlar ortamında programlanmasında ağ sıklığının sonuçlara etkisi, aynı kesit tesirleri altında çelik ve kompozit kolonlarda oluşan göçme mekanizmaları ile birim şekil-değiştirme ve gerilmeleri karşılaştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Kompozit kolonlar yüksek katlı binalar, köprü ayakları gibi büyük basınç kuvveti taşıması gereken yapılarda kullanılmaktadır. Kompozit kolonlar betonarme kolonlara nazaran önemli derecede yük taşıma kapasitesine ve yüksek rijitliğe sahiptirler.



Şekil 3. Tipik kompozit kolonlar (ÇYHY-2016, 2016)

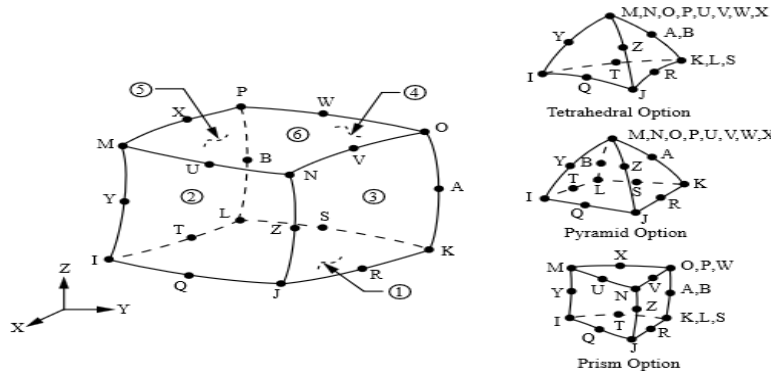
Ülkemizde 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esasları (ÇYTHYE) yönetmeliği kullanılmaktadır. Bu yönetmelikte standart profiller ile beraber kompozit yapı elemanlarının hesabı da Bölüm 12'de yer almaktadır. Yönetmelikte yer alan “betona gömülü kompozit elemanlar” (Şekil 3.a, Şekil 3.b), “beton dolgu kompozit elemanlar” (Şekil 3.c, Şekil 3.d) ‘de yer almaktadır.

ANSYS sonlu elemanlar programı kompozit kolonların modellenmesinde de kullanılmaktadır.

Öncelikle malzeme özellikleri, elemanın geometrik özellikleri tanımlanarak sonlu elemanlara ayrılır. ANSYS kütüphanesinden seçilen SOLID katı elemanı çekmede ve basınçta özelliğine sahip, katı elemanlarla modellemeye izin veren bir elemandır.

ANSYS paket programı, mühendislik yapılarının analizinde kullanılan genel bir yazılımdır. Grafik kullanıcı ara yüzü (GUI) ile kullanılan bu program yapıların statik ve/veya dinamik davranışlarını lineer ve nonlineer analiz yöntemleri ile hesaplayabilmektedir (Altunışık ve ark., 2018). Yapının analizlerini yaparak sonuçlarını elde edilebilmek için programda bazı adımlar uygulanmaktadır.

İlk olarak incelenecek problemin geometrisi programa tanımlanarak model oluşturulur. Daha sonra malzeme özellikleri ve eleman tanımlanır. Bu çalışmada yapısal çelik, donatı çeliği ve beton için üç ayrı malzeme özelliği tanımlanmıştır. Bu programdaki en kritik kısım probleme uygun elemanın doğru bir şekilde program kütüphanesinden seçilmesidir. Seçilen elemana göre problem sonuçları da değişecektir. Bu çalışmada tüm malzemeler için katı eleman olan “SOLID186” seçilerek analizler yapılmıştır (Şekil 4). Daha sonra seçilen eleman tipi modele tanımlanmalıdır. Çözüm sonuçlarına etki eden bir başka hususta modelin sonlu elemanlara doğru bir şekilde ayrılmasıdır. Problem için uygun bir ağ aralığı seçilerek model “SOLID186” elemanlarla tanımlanmıştır. Bu çalışmada statik analiz için tanımlama yapıp çerçeveden alınan kolonlara ait mesnet koşulları uygun bir şekilde tanımlanmıştır. Ele alınan çerçevelerin analiz sonuçlarından elde edilmiş eksenel kuvvet ve eğilme moment değerleri kolonlara etki ettirilmiştir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra statik analiz yapılmış ve şekil değiştirme sonuçları programdan alınmıştır.



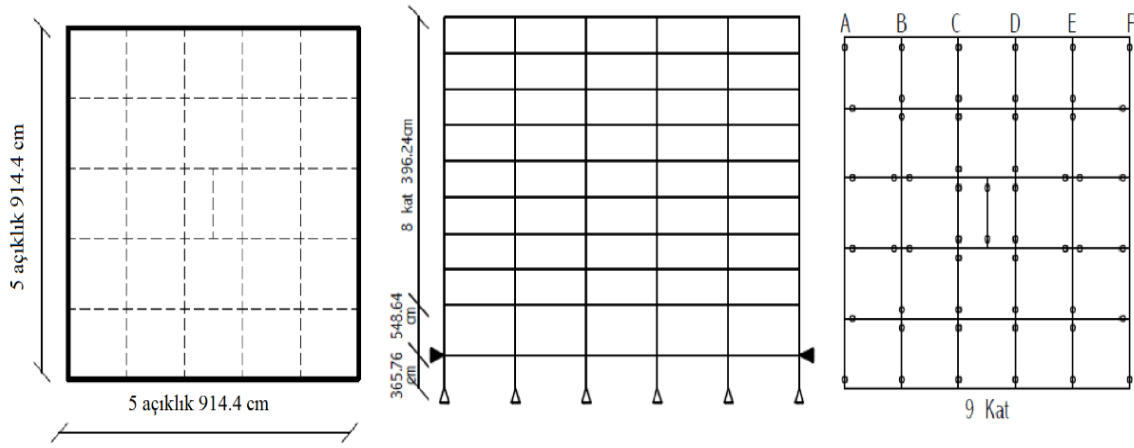
Şekil 4. SOLID186 elemanına ait geometrik özellikler

ANSYS eleman kütüphanesinde bulunan SOLID186, yüksek mertebeli 3 boyutta 20 düğüme sahip katı elemandır. Her bir düğüm noktasında x, y ve z doğrultusunda yer değiştirme serbestliği vardır.

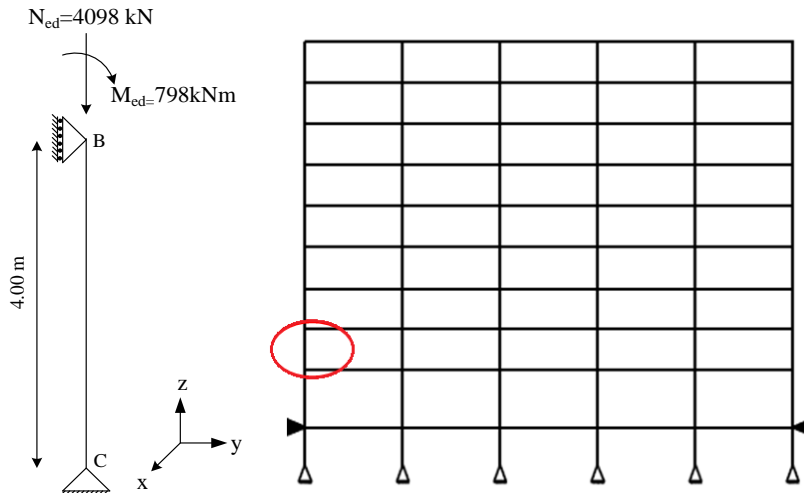
1994 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya eyaletindeki Los Angeles şehrinde meydana gelen Northridge depremi sonrası bölgedeki çelik yapılarda beklenmeyen hasarlar meydana gelmiştir. Bu hasarlar sonucunda Federal Emergency Management Agency-Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) tarafından farklı yükseklik (3, 9 ve 20 kat), kat planlarına sahip yapıların Boston (BOCA 1993), Los Angeles (UBC 1994) ve Seattle (UBC 1994) olmak üzere farklı alanlarda sayısal çalışma yapmıştır. Bu çalışma FEMA 355-C de verilen SAC projesidir.

Bu çalışmamızda, kompozit kolon tasarımı için FEMA 355-C de tanımlanan 9 katlı LA çelik bina kullanılmıştır (Şekil 5). SAP 2000 programı kullanılarak yapının analizleri yapılmış ve bina elemanların kesit kapasiteleri hesaplanmıştır (Şekil 6).

Şekil 5'te gösterilen yapının analizinden kolon kesiti olarak HE 360M seçilmiş ve sayısal analiz için kullanılacak eksenel kuvvet $N_{ed}=4098$ kN ve eğilme momenti $M_{ed}=798$ kNm değerleri elde edilmiştir (Şekil 6).

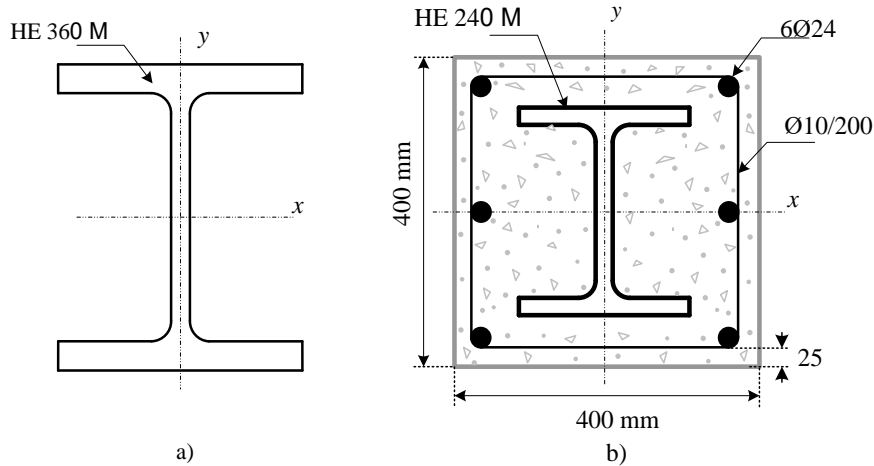


Şekil 5. 9-katlı LA binasına ait kat planları ve yükseklikleri (Kulak, 2019)

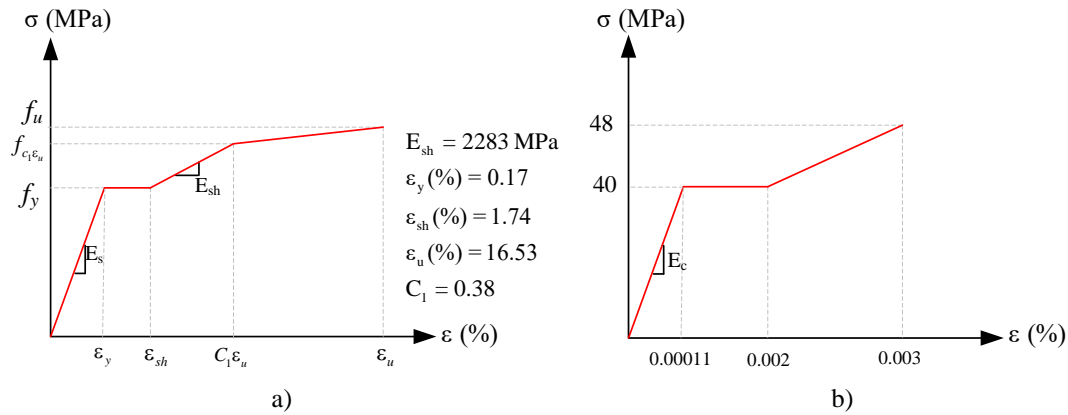


Şekil 6. 9 katlı bina

Sistem çözümü yapıldıktan sonra bulunan kesit için ÇYTHYE-2016 yönetmeliği (AISC 360-16) dikkate alınarak eşdeğer kompozit bir kolon tasarlanmıştır (Şekil 7). Tasarlanan bu elemanlara ait malzeme değerleri sırasıyla Çizelge 2 ve Çizelge 3'te verilmiştir. Yapı malzemelerine ait gerilme-şekil değiştirme bağıntıları Şekil 8'de verildiği gibi ANSYS programına tanımlanmıştır.



Şekil 7. Enkesit a) Çelik kolon b) Kompozit kolon



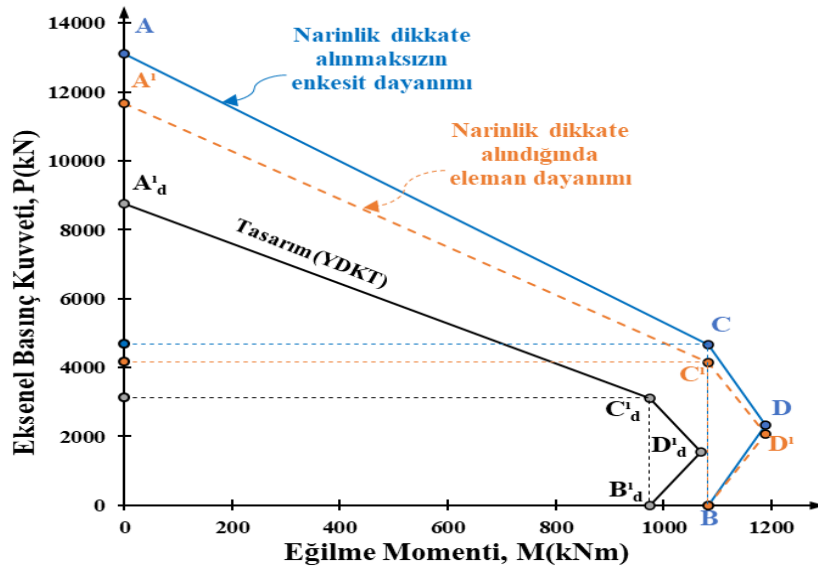
Şekil 8. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi a) S355 (Çelik) (Yun ve Gardner, 2017) b) C40/50 (beton)

Çizelge 2. Çelik malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (MPa)	Yoğunluk (kg m ⁻³)	Poisson Oran	Akma Gerilmesi (MPa)	Max. Akma Gerilmesi (MPa)
S355	210 000	7850	0.3	355	490
B500C	205 000	7850	0.3	500	550

Çizelge 3. Beton malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (MPa)	Yoğunluk (kg m ⁻³)	Poisson Oran	Basınç Dayanımı (MPa)
Beton (C40/50)	32 000	2400	0.2	40



Şekil 9. YDKT dayanım kontrolü için etkileşim diyagramları

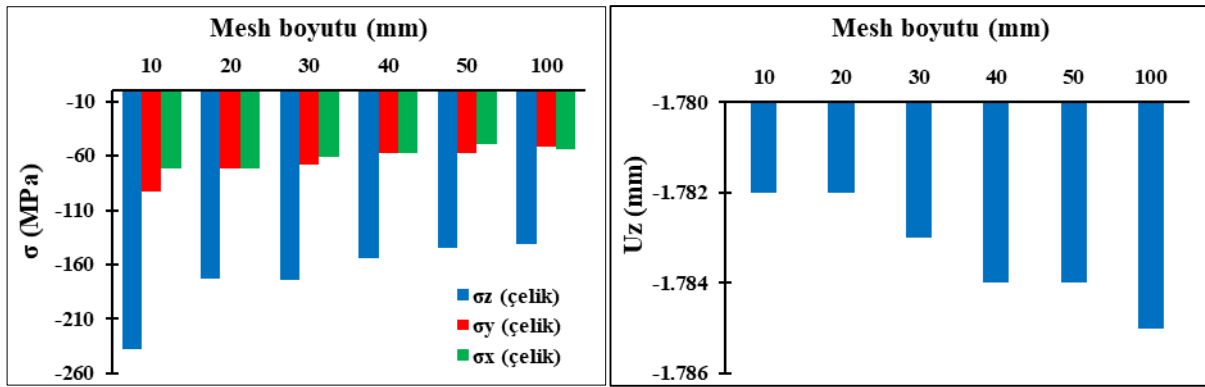
Eksenel kuvvet ve eğilme momenti karşılıklı etkileşim diyagramları ile ÇYTHYE-2016 yönetmeliği 12.6.1 (Yöntem 1) esas alınarak değerlendirilebilir. Kompozit eleman, Yönetmelik 12.6.1 dayanım kontrolüne göre yetersiz olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle daha hassas bir dayanım kontrolü için eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkileşimi, geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramları ile ÇYTHYE-2016 yönetmeliği 12.6.2 (Yöntem 2) esas alınarak incelenebilir. Bu durumda ÇYTHYE-2016 yönetmeliğinde Şekil 12.7 de gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramlarının oluşturulabilmesi için ÇYTHYE-2016 yönetmeliğinde Çizelge 12.2 de verilen ifadeler kullanılarak A, C, D ve B noktalarının koordinatlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Kompozit elemanın Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi kontrolü, etkileşim diyagramları esas alınarak yapılmıştır. Buna göre gerekli dayanımların belirlendiği noktaları hesapladıktan sonra YDKT yöntemi etkileşim diyagramlarının içinde kaldığı görülmektedir (Şekil 9). Bu nedenle Şekil 7.b’de seçtiğimiz kompozit kolon dayanımı Şekil 9’da görüldüğü üzere yeterlidir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

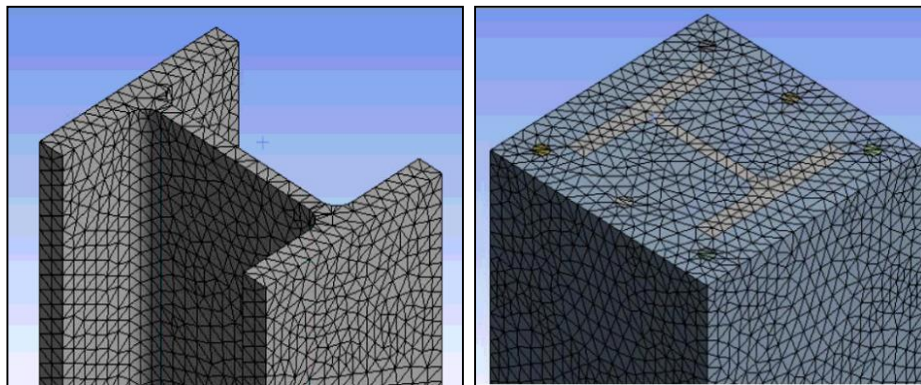
İncelenen sayısal örneğe ait sonuçlar sonlu elemanlar paket programı ANSYS kullanılarak kritik gerilme ve yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır.

Sonlu elemanlar yönteminde karmaşık geometriler sonlu elemanlar ağı oluşturularak basit elemanlara ayrılırlar. Eleman sayısı yakınsamayı, doğruluğu ve analiz hızını doğrudan etkiler. Problemin ağ oluşumu toplam çözüm zamanının büyük bir kısmını kapsar. Aynı zamanda sonlu elemanlar yöntemi ile daha doğru sonuç bulabilmek için bu adım önemlidir. Problem ne kadar çok parçaya ayrılırsa sonuç o kadar doğru olacaktır. Bu amaç için bu çalışmada bir ağ iyileştirme çalışması yapılmıştır.



Şekil 10. Kompozit kolonun ağ iyileştirme çalışması için örnek gerilme ve yer değiştirme değerleri

Örnek olarak Şekil 7.b’deki 400*400_HEM240 (Kompozit) kolonda bulunan çelik elemanda oluşan gerilme değerleri ve çubuk eksenine doğrultusundaki Uz deplasman değerleri ele alınmış ve sırasıyla 10, 20, 30, 40, 50 ve 100 mm boyutlu ağ elemanları ile hesaplanmıştır (Şekil 10). Elde edilen sonuçlardan hareketle bu çalışmada sonlu eleman programı ANSYS’de en uygun mesh durumu 10 mm olarak seçilmiştir. Çelik profil kolona ve kompozit kolona ait örnek sonlu eleman ağ görünümü gösterilmiştir (Şekil 11).



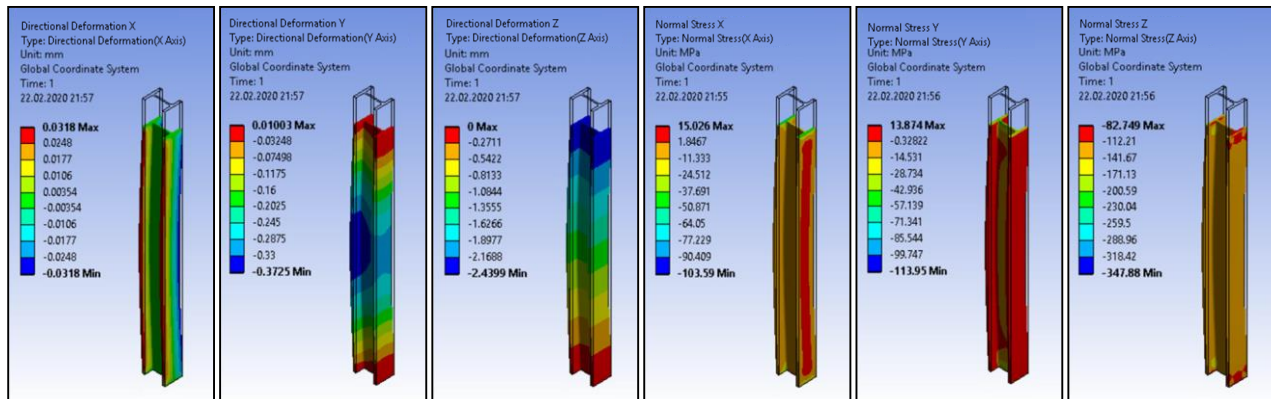
Şekil 11. Çelik profil kolona ve kompozit kolona ait örnek sonlu eleman ağ görünümü

Çelik kolon ve kompozit kolon elemanları ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak on zaman adım aralığında analizleri yapılmıştır. Analizlerin sonucundan elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerleri Çizelge 4’te verilmektedir.

Çizelge 4. Çelik ve kompozit kolonlar için yer değiştirme ve gerilmeler

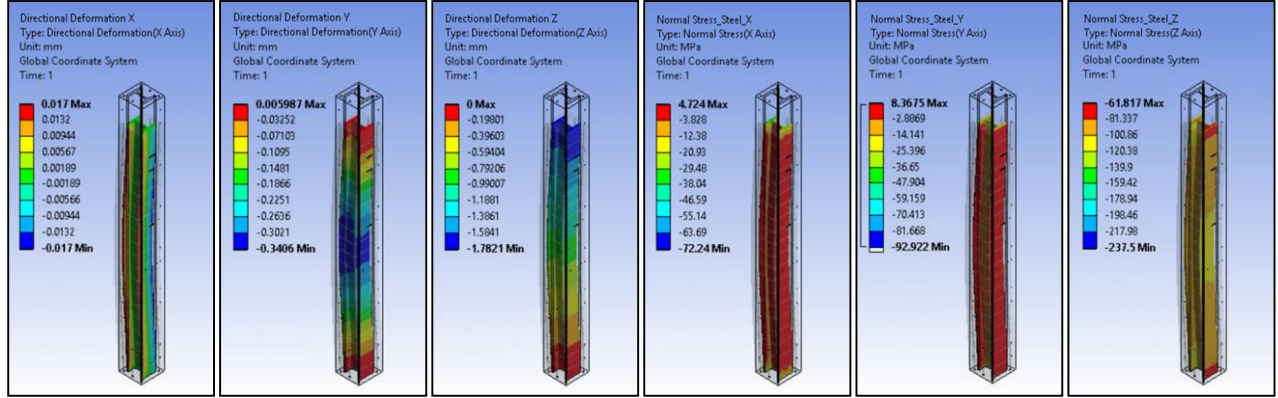
Zaman Adım Aralığı	Kolon	U _x (mm)	U _y (mm)	U _z (mm)	σ _{xx} (MPa)	σ _{yy} (MPa)	σ _{zz} (MPa)
1	Çelik	-0.0032	-0.0373	-0.2440	-10.36	-11.40	-34.79
	Kompozit (Çelik)	-0.0017	-0.0341	-0.1782	-7.22	-9.29	-23.75
	Kompozit (Beton)				-0.92	-0.87	-5.26
2	Çelik	-0.0064	-0.0745	-0.4880	-20.72	-22.79	-69.58
	Kompozit (Çelik)	-0.0034	-0.0681	-0.3564	-14.45	-18.58	-47.50
	Kompozit (Beton)				-1.85	-1.73	-10.52
3	Çelik	-0.0096	-0.1118	-0.7320	-31.08	-34.19	-104.36
	Kompozit (Çelik)	-0.0051	-0.1022	-0.5346	-21.67	-27.88	-71.25
	Kompozit (Beton)				-2.77	-2.60	-15.79
4	Çelik	-0.0127	-0.1490	-0.9760	-41.44	-45.58	-139.15
	Kompozit (Çelik)	-0.0068	-0.1362	-0.7129	-28.90	-37.17	-95.00
	Kompozit (Beton)				-3.70	-3.46	-21.05
5	Çelik	-0.0159	-0.1863	-1.2200	-51.79	-56.98	-173.94
	Kompozit (Çelik)	-0.0085	-0.1703	-0.8911	-36.12	-46.46	-118.75
	Kompozit (Beton)				-4.62	-4.33	-26.31
6	Çelik	-0.0191	-0.2235	-1.4639	-62.15	-68.37	-208.73
	Kompozit (Çelik)	-0.0102	-0.2044	-1.0693	-43.35	-55.75	-142.50
	Kompozit (Beton)				-5.55	-5.19	-31.57
7	Çelik	-0.0223	-0.2608	-1.7079	-72.51	-79.77	-243.52
	Kompozit (Çelik)	-0.0119	-0.2384	-1.2475	-50.57	-65.05	-166.25
	Kompozit (Beton)				-6.47	-6.06	-34.26
8	Çelik	-0.0255	-0.2980	-1.9519	-82.87	-91.16	-278.31
	Kompozit (Çelik)	-0.0136	-0.2725	-1.4257	-57.80	-74.34	-190.00
	Kompozit (Beton)				-7.39	-6.92	-39.00
9	Çelik	-0.0287	-0.3353	-2.1959	-93.23	-102.55	-313.09
	Kompozit (Çelik)	-0.0153	-0.3065	-1.6039	-65.02	-83.63	-213.75
	Kompozit (Beton)				-8.32	-7.79	-41.97
10	Çelik	-0.0318	-0.3725	-2.4399	-103.59	-113.95	-347.88
	Kompozit (Çelik)	-0.0170	-0.3406	-1.7821	-72.24	-92.92	-237.50
	Kompozit (Beton)				-9.24	-8.65	-46.18

HE 360M çelik kolonuna ait x, y ve z eksenlerine göre en büyük yer değiştirmeler ve en büyük gerilmeler gösterilmektedir (Şekil 12). İlgili yüklemeler altında mutlak değerce en büyük yer değiştirme 2.4399 mm olarak kolon ucunda z eksen yönünde iken mutlak değerce en büyük gerilme ise 347.88 MPa olarak yine z yönünde kolon mesnetinde hesaplanmıştır.



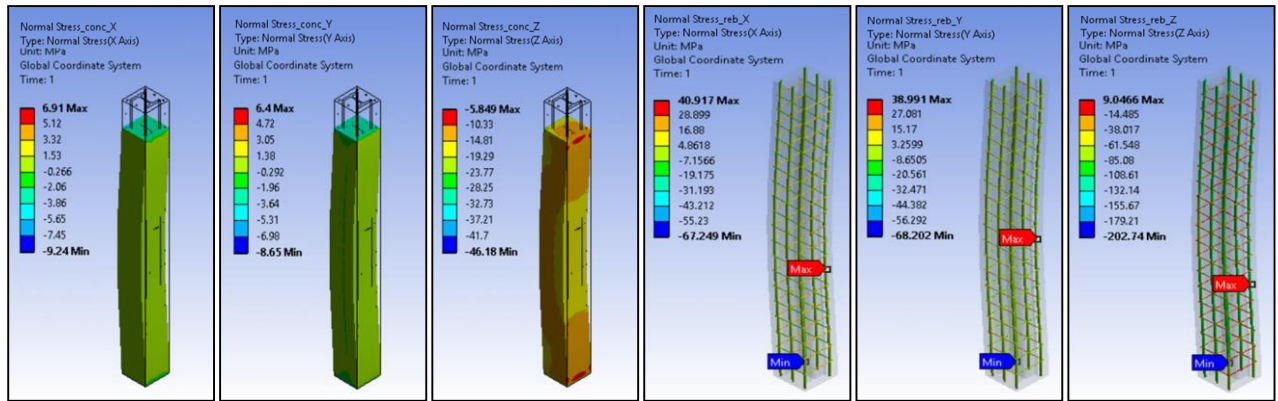
Şekil 12. HE 360 M Çelik elemanına ait gerilmeler ve yer değiştirmeler

Kompozit kolonun içindeki HE 240M çelik kolonuna ait x, y ve z eksenlerine göre en büyük yer değiştirmeler ve en büyük gerilmeler gösterilmektedir (Şekil 13). İlgili yüklemeler altında mutlak değerce en büyük yer değiştirme 1.7821 mm olarak kolon ucunda z eksen yönünde iken mutlak değerce en büyük gerilme ise 237.5 MPa olarak yine z yönünde kolon mesnetinde hesaplanmıştır.



Şekil 13. Kompozit kolon içindeki HE 240 M Çelik elemanına ait gerilmeler ve yer değiştirmeler

Kompozit kolonuna ait beton malzemedeki gerilme dağılımı gösterilmektedir (Şekil 14). İlgili yüklemeler altında mutlak değerce en büyük basınç gerilmesi betonda 46.18 MPa olarak kolon ucunda z eksen yönünde iken mutlak değerce en büyük gerilme donatı çeliğinde yine z eksen yönünde 202.74 MPa olarak hesaplanmıştır. En büyük basınç gerilmesi kolonun taban uçlarındadır. Ayrıca kompozit kolondaki donatı çeliğinde ise en büyük gerilmelerin kolonun alt uçlarında olduğu görülmektedir (Şekil 14).



Şekil 14. Kompozit kolonun beton ve donatı çeliğine ait gerilmeler

SONUÇ

Bu çalışmada, uygulamada kullanılan çelik kolon ve kompozit kolonun yükler altındaki gerilme ve yer değiştirme değerleri sayısal olarak hesaplanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu analizler sonlu elemanlar metoduna dayalı ANSYS paket programı kullanılarak elde edilmiştir.

Çelik kolon ve kompozit kolonun gerilme yoğunlukları sınır koşulları ve yükleme şekilleri nedeniyle, alt ve üst kısımlarında oluşmaktadır. Yüklemeler altında çelik kolonda oluşan en büyük gerilme 347.88 MPa iken aynı şartlar için kompozit kolon içindeki çelik profile oluşan en büyük gerilmenin 237.50 MPa olduğu görülmektedir. Bu durumda kompozit kolon içindeki çelik profil, normal çelik profile göre %30 daha az akma dayanımına ulaşmaktadır. Ayrıca çelik kolonda oluşan en büyük yer değiştirme 2.4399 mm iken kompozit kolonda 1.7821 mm olarak hesaplanmıştır. Bu durumda kompozit kolonda oluşan yer değiştirmenin çelik profile göre %37 daha az olduğu görülmektedir. Bu nedenle kompozit kolonların çelik kolonlara göre daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- ACI 318-08, 2008. Building code requirement for structural concrete (ACI 318-08) and commentary. USA: American Concrete Institute.
- AIJ, 2014. AIJ standard for structural calculation of steel reinforced concrete structures. Architectural Institute of Japan, Japan.
- Altunışık A-C, Günaydın M, Genç A-F, Okur F-Y, 2018. İnşaat Mühendisliğinde ANSYS Uygulamaları. Dynamic Academy Yazılım İnşaat San. Tic. Ltd. Şti, Trabzon.
- Amiri P-K, Mehr E-B, 2015. Analysis of composite columns based on performance. Canadian Journal of Pure and Applied Sciences, vol. 9, no. 2, pp. 3481-3485.
- ANSI/AISC 360-16, 2016. Specification for structural steel buildings. Chicago, USA: American Institute of Steel Construction (AISC).
- Chen C-C, Chen C-C, Hoang TT, 2016. Role of concrete confinement of wide-flange structural steel shape in steel reinforced concrete columns under cyclic loading. Engineering Structures, vol. 110, pp. 79-87.
- ÇYHY-2016, 2016. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- EN 1994-1-1. Eurocode 4, 2004. Design of composite steel and concrete structures-Part 1- 1. General rules and rules for buildings.
- Han D-J, Kim K-S, 1995. A study on the strength and hysteretic characteristics of steel reinforced concrete columns-In the case of columns loaded eccentrically. Journal of the Architectural Institute of Korea, 11(4):183-90. in Korean.
- Hwang H-J, 2018. Prefabricated Steel-Reinforced Concrete Composite Column. New Trends Structures Engineering.
- İnce G, İnce H-H, Kaya F, 2015. Kompozit Yapı Sistemlerinin İncelenmesi Investigation of Composite Building Systems. vol. 6, pp. 43-47.
- JGJ 138, 2016. Code for design of composite structures. China: Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China.
- Kim C-S, Park H-G, Chung K-S, 2013. Eccentric axial load capacity of high-strength steel-concrete composite columns of various sectional shapes. Journal of Structural Engineering, 140(4):04013091.
- Kim C-S, Park H-G, Chung K-S, 2012. Eccentric axial load testing for concrete-encased steel columns using 800 MPa steel and 100 MPa concrete. Journal of Structural Engineering, 138(8):1019-31.
- Kulak M, 2019. Çelik yapıların zaman tanım alanında doğrusal analizi ve spektrum eşleştirme parametrelerinin etkisi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Lacki P, Derlatka A, Kasza P, 2018. Comparison of steel-concrete composite column and steel column. Composite Structures, vol. 202, no. September 2017, pp. 82-88.
- Lai B, Liew J-Y-R, Le Hoang A, Xiong M, 2019. A unified approach to evaluate axial force-moment interaction curves of concrete encased steel composite columns. Engineering Structures, vol. 201, no. March, p. 109841.
- Lai B, Richard Liew J-Y, Wang T, 2019. Buckling behaviour of high strength concrete encased steel composite columns. Journal of Constructional Steel Research, vol. 154, pp. 27-42.
- Lai B, Liew J-Y-R, Xiong M, 2019. Experimental study on high strength concrete encased steel composite short columns. Construction and Building Materials, vol. 228, p. 116640.
- Ma T-Y, Liu X, Hu Y-F, Chung K-F, Li G-Q, 2018. Structural behaviour of slender columns of high strength S690 steel welded H-sections under compression. Engineering Structures, vol. 157, no. September 2017, pp. 75-85.
- Naka T, Morita K, Tachibana M, 1997. Strength and hysteretic characteristics of steel-reinforced concrete columns. Trans AIJ 250:47-58. in Japanese.
- Pereira M-F, De Nardin S, El Debs A-L-H-C, 2016. Structural behavior of partially encased composite columns under axial loads. Steel and Composite Structures, vol. 20, no. 6, pp. 1305-1322.

- Sevim B, Altunışık A-C, 2017. Kompozit Kolon Elemanların Modal Davranışlarının Belirlenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, no. 212, pp. 13–24.
- Shanmugam N-E, Lakshmi B, 2001. State of the art report on steel-concrete composite columns. Journal of Constructional Steel Research, vol. 57, no. 10, pp. 1041–1080.
- Wakabayashi M, Minami K, Komura K, 1971. An experiment study on elastic-plastic characteristics of concrete members using an encased H-section subjected to combined bending and axial force. Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute Kyoto University. 14A:417–37. in Japanese.
- Wang Q, Zhao D, Guan P, 2004. Experimental study on the strength and ductility of steel tubular columns filled with steel-reinforced concrete. Engineering Structures, vol. 26, no. 7, pp. 907–915, 2004.
- Weng C-C, Yen S-I, 2002. Comparisons of concrete-encased composite column strength provisions of ACI code and AISC specification. Engineering Structures, vol. 24, no. 1, pp. 59–72.
- Yu Q, Lu Z-D, 2009. Research on the static performance of eccentric steel reinforced concrete column. Building Structure, 39(6):34–8. in Chinese.
- Yun X, Gardner L, 2017. Stress-strain curves for hot-rolled steels. Journal of Constructional Steel Research, vol. 133, pp. 36–46.
- Zhao G-T, Wang C-H, Gao C-Y, Wang C-X, 2006. Experiment study on the capacity of SRC long column subjected to eccentric compression. Journal Of Baotou University Of Iron And Steel Technology, 25(4):384–400. in Chinese.
- Zhu W-Q, Meng G, Jia J-Q, 2014. Experimental studies on axial load performance of high-strength concrete short columns. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures and Buildings, vol. 167, no. 9, pp. 509–519.
- Zhu M, Liu J, Wang Q, Feng X. 2010. Experimental research on square steel tubular columns filled with steel-reinforced self-consolidating high-strength concrete under axial load. Engineering Structures, vol. 32, no. 8, pp. 2278–2286, 2010.
- Zhu W, Jia J, Gao J, Zhang F, 2016. Experimental study on steel reinforced high-strength concrete columns under cyclic lateral force and constant axial load. Engineering Structures, vol. 125, pp. 191–204.