





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Çelik Gömmeli Kompozit Kolonların Sonlu Elemanlar Analizi ile Sayısal Karşılaştırılması

 Kıvanç TAŞKIN^{a,*},  Fethullah USLU^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: kivanct@eskisehir.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.884144

ÖZET

Bu çalışma, çelik gömmeli kompozit kolonların, beton dayanımı ile boyuna donatı oranının değişimine göre eksenel basınç kuvveti etkisindeki davranışını açıklamaktadır. Bu sebeple, dört farklı boyuna donatı ($\phi 16-20-24-30$), beton sınıfı (C40-50-60-70) ve yapısal çelik yüzdesi (%1-2-4-8) için on altı farklı grup olmak üzere toplamda altmış dört model oluşturulmuştur. Her bir model için önce Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esasları (ÇYTHYE-2016) ve American Institute of Steel Construction (AISC 360-16) standartlarında tanımlanan eksenel kuvvet-moment etkileşim grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerden her farklı grup için taşıyabileceği maksimum eksenel basınç kuvveti hesaplanmıştır. Oluşturulan modellerdeki beton, yapısal çelik ve boyuna donatıya ait eksenel basınç kuvvetleri, yerdeğiştirmeler, şekil değiştirmeler, akma noktaları ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilmiştir. Beton basınç değeri arttıkça eksenel taşıma kapasitesinin arttığını fakat eğilme momenti değerinin birbirlerine çok yakın gerçekleştiği ve sadece çelik oranı değiştirildiğinde ise eksenel basınç dayanımının sabit kaldığı, eğilme moment değerlerinin arttığı görülmüştür. Yönetmeliklerde verilen ampirik ifadeler kullanılarak hesaplanan en büyük eksenel basınç kuvveti değeri ile ANSYS'den elde edilen değerler birbirleri ile uyumlu çıkmışlardır. Analizlerin göstermiş olduğu en önemli sonuç çelik gömmeli kesitlerde kullanılan çelik profilin taşıma kapasitesinin tamamının kullanılabilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Kolon, Sonlu Eleman Analizi, Donatı Oranı, Eksenel Basınç Kuvveti

Numerical Comparison of Concrete Encased Steel Composite Columns with Finite Element Analysis

ABSTRACT

In this study, four prototypical design examples were developed to investigate the behavior and design requirements for concrete-encased composite columns. All columns are square with a fixed transverse reinforcing bar arrangement but with different encased shapes with structural steel ratios of %1, 2, 4 and 8. The longitudinal reinforcing bars were chosen four different diameters of $\phi 16$, $\phi 20$, $\phi 24$ and $\phi 30$. Four concrete strengths used $f_{ck} = 40, 50, 60$ and 70 MPa represent low, medium, and high-strength concrete, respectively. Firstly, for each model, moment-axial force interaction graphs defined in Design, Calculation, and Construction of Steel Structures (ÇYTHYE-2016) and American Institute of Steel Construction (AISC 360-16) standards were obtained. The maximum axial compression force it can carry for each different group has been calculated from these graphs. The axial pressure forces, displacements, strains, yield points of concrete, structural steel, and longitudinal reinforcement in the created models were obtained using the ANSYS finite element program. It was observed that as the concrete pressure value increased, the axial carrying capacity increased. Still, the bending moment value was very close to each other, and when only the steel ratio was changed, the bending moment values where the axial compressive strength remained constant. The maximum axial pressure force value calculated using the empirical expressions given in the regulations and the values obtained from ANSYS are compatible with each

other. The most important result of the analysis is that the steel profile used in steel embedded sections can be used ultimately.

Keywords: Composite Column, Finite Element Method, Reinforcement Ratio, Axial Load Capacity

I. GİRİŞ

Dayanım ve süneklik açısından iyi bir davranış sergileyen kompozit yapı tasarımı son yıllarda gelişmiş ülkelerde çoğunlukla ofis binaları, ticari binaları, park alanları ve köprüler için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Yüksek yapılarda, kolonlarda ortaya çıkan kesit tesirleri göz önüne alındığında, yüksek değerlere sahip aksenal yükleri taşıyacak kesitler ancak ekonomik olarak kompozit yapıyla mümkün olmaktadır. Kompozit elemanlar sunduğu avantajlara rağmen sismik tasarımda nadiren kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri bir yandan yeterli deneyimin, vasıflı işçi ve uygun ekipmanı olmaması diğer yanda ise bu yapıların tasarım için uygun standartların son yıllara kadar bulunmaması olarak sıralanabilir. Ülkemizde 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esasları (ÇYTHYE) yönetmeliğinde [1] sismik alanlar için kompozit yapıların tasarlanması için genel prensipleri ve performans kurallarını sunmaktadır.

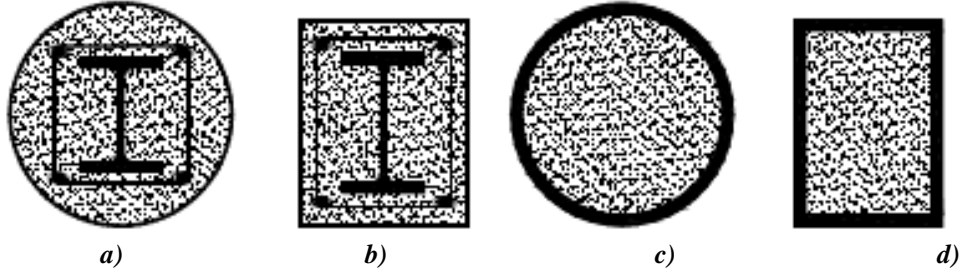
Hem çelik hem de betonarmenin bir arada kullanılması sebebi ile kolonların sünekliğinin betonarme kolonlara göre daha fazla olacaktır. Kompozit kolonlar, geleneksel betonarme kolonlara göre daha küçük bir en kesite sahip olduklarından dolayı daha ekonomiktirler. Bunun yanında, aksenal yük taşıma kapasiteleri de yüksektir. Sıradan çelik kolon ile karşılaştırıldığında korozyon ve burkulmaya karşı daha dayanımlıdır. Çelik profilin burkulmasını önleyerek taşıma kapasitesini arttıracak olan kompozit kolon tipi çelik gömmeli kompozit kesittir.

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. Sismik davranış ve yük taşıma kapasitesi açısından betona çelik profil gömülü kompozit elemanlar ile oluşturulmuş çerçeve taşıyıcı sistemlerin betonarme sistemlere göre daha küçük kesitlere sahip olmalarına rağmen daha iyi performans davranışı sergilemektedirler.

Tasarlanan kompozit elemanları oluşturan beton, yapısal çelik ve betonarme çeliğini malzeme davranışları birbirlerinden farklıdır. Taşıma kapasiteleri ile şekil değiştirme değerleri bu farklılıkları oluşturmaktadır. Bu da farklı malzemelerin doğru şekilde modellenmesi ve analiz edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi ve buna paralel özellikle matematik alanındaki gelişmeler sonlu elemanlar yöntemini daha rahat kullanılabilir hale getirmiştir. Sonlu elemanlar programlarından biri olan ANSYS [2] özellikle kompozit yapıların tasarımında üç boyutlu doğrusal olmayan davranışa dayalı olarak yapıyı oluşturan elemanların (beton, çelik, donatı) davranışlarını gerilme, şekil değiştirme, uç yerdeğiştirmeleri açısından rahatlıkla analiz etmektedir [3]-[4]. Betonarme ve çelik yapıları gerilme dağılımları (kontur çizgileri), çatlak oluşumları, deformasyonlar ve yük taşıma kapasitesi değerlerini hesaplayacak şekilde birçok analitik ve nümerik modeller vardır [5]-[9]. Ayrıca çelik gömmeli kompozit kolonlarda farklı narinlik oranları, çelik kesitleri, beton ve çelik dayanımlarına sahip kompozit kolonlar üzerine analitik çalışmalar yapmışlardır [10]-[16].

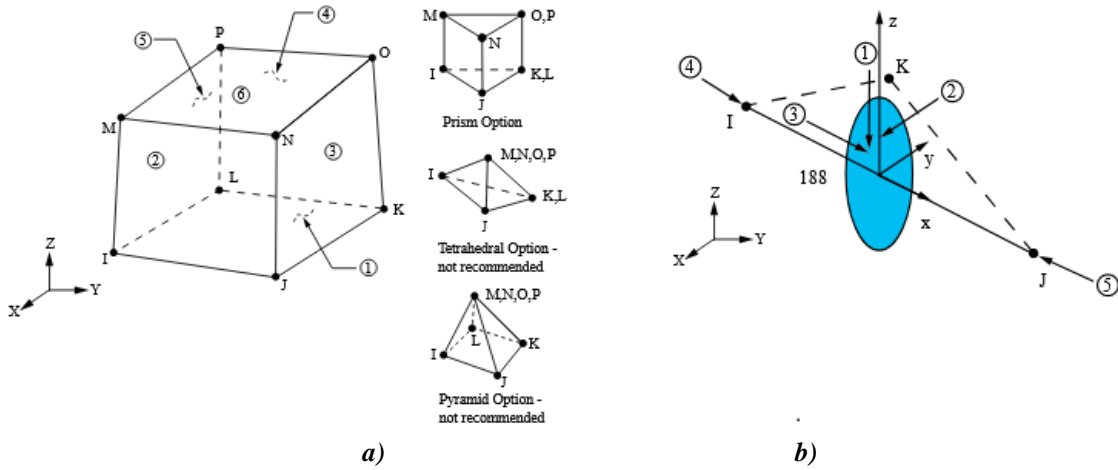
Bu çalışmada, çelik gömmeli kompozit kolonların davranışını incelemek için ANSYS sonlu eleman programında model oluşturularak doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen değerler ile yönetmeliklerden elde edilen değerler kıyaslanmıştır. Ayrıca çelik gömmeli kesitlerde kullanılan çelik profilin taşıma kapasitesi araştırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM



Şekil 1. Tipik kompozit kolonlar [1]

Ülkemizde 2016 yılında yürürlüğe giren ÇYTHYE [1] yönetmeliği kullanılmaktadır. İlgili yönetmeliğin Bölüm 12’de yer alan kompozit kolon elemanlarına ait tasarım hesabı yer almaktadır. Yönetmelikte yer alan tipik kompozit kolonlar elemanlar Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 2. a) SOLID185 b) BEAM188 elemanlarına ait geometrik özellikler [2]

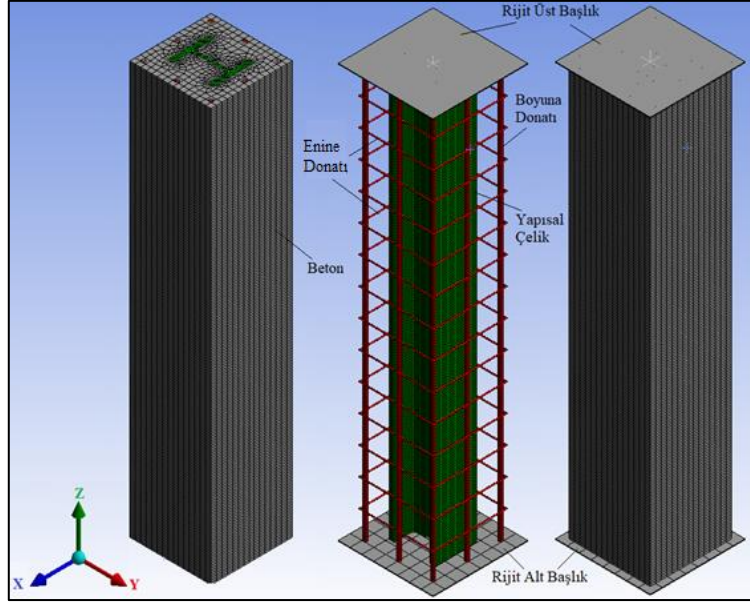
Çelik gömmeli kompozit kolonların modellenmesinde, ANSYS programı yaygın olarak kullanılmaktadır. ANSYS programında öncelikle örnek problemin geometrisi ve malzeme özellikleri tanımlanmalıdır. ANSYS eleman kütüphanesinde yapısal çelik, donatı çeliği ve beton için üç ayrı malzeme özellikleri ile birlikte uygun eleman seçimi yapılmalıdır.

Yapısal çelik için ANSYS programında SOLID185 elemanı, enine ve boyuna donatı çeliği için ise BEAM188 elemanı kullanılmıştır (Şekil 2). Beton malzemeler için çok farklı parametrik modellerle çalışmalar yapılmıştır. ANSYS Mechanical APDL’de beton modellerinin oluşturulmasında yaygın olarak SOLID65 eleman tipi kullanılmaktadır [3]-[4],[8]. Eğer, beton gibi özel bir malzeme için ise kullanılacak eleman SOLID65 olmalıdır. Hem malzeme hem de geometri bakımından lineer olmayan davranış modellendiğinden SOLID65 elemanı uygun olmayacaktır. SOLID185, genel amaçlı üç boyutlu malzemenin lineer davranışının modellenebileceği bir katı eleman tipidir. Bunun sonucunda SOLID185 elemanı seçilerek analizler tamamlanmıştır. Bu eleman tipi Workbench ara yüzünde seçili halde olmayıp, malzeme isimlendirmesi şeklinde “CONCRETE NL” adıyla bulunmaktadır. Literatürde beton modellemesi için SOLID185 elemanı birçok çalışmada kullanılmış ve başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür, [17]-[21].

ANSYS eleman kütüphanesinde bulunan SOLID185, yüksek mertebeli 3 boyutta 8 düğüme sahip katı elemanı ve BEAM188 ise 3 boyutta 2 düğüme sahip kiriş elemanıdır. Bu elemanlar her bir düğüm

noktalarında x, y ve z doğrultusunda yerdeğiştirme serbestliği vardır [2]. Hem güvenilir sonuçlar hem de daha az hesaplama süresi sağlayan uygun bir ağ seçmek için farklı ağ boyutları denenmiştir. Burada maksimum çelik için 10 mm, beton için ise 40 mm ağ boyutu seçilerek sonuçların yakınsadığı görülmüştür. Kompozit kolon için örnek ağ modeli verilmiştir (Şekil 3).

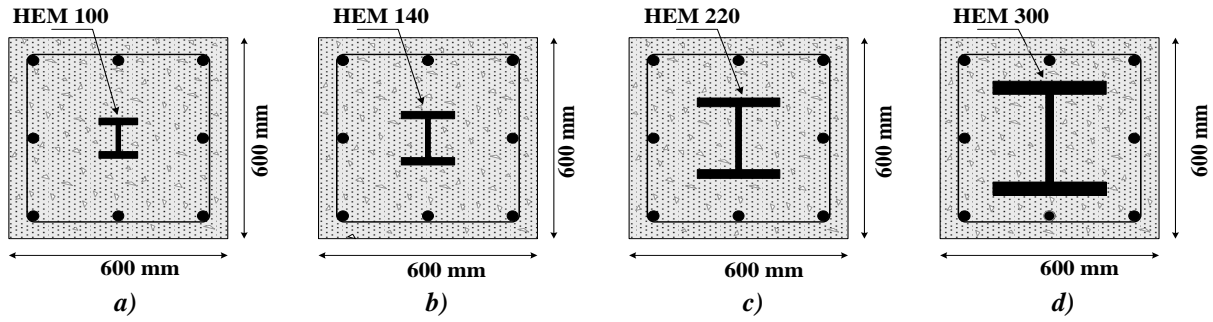
ANSYS programında oluşturulan sonlu eleman modelinde çelik, beton, boyuna ve enine donatı elemanlarına uygun malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Bu elemanların davranışını incelemek üzere, farklı yapısal çelik alan yüzdeleri (%1-2-4-8), boyuna donatı çapları (ϕ 16-20-24-30) ve beton sınıfları (C40-50-60-70) için on altı farklı grup olmak üzere toplamda altmış dört model oluşturularak parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu parametrik çalışmada çelik gömmeli kompozit kolonların yüksekliği 3000 mm, kesit genişliği 600x600 mm ve enine donatı çapı ϕ 10/200 mm olarak modellenmiştir.



Şekil 3. Çelik gömmeli kompozit kolon modeli

Her bir model için önce ÇYTHYE [1] ve AISC [22] standartlarında tanımlanan eksenel kuvvet ve eğilme momenti karşılıklı etkileşim diyagramlarının davranışı incelenmiştir. Buradan elde edilen grafiklerden her farklı grup için taşıyabileceği maksimum eksenel basınç kuvveti belirlenmiştir. Oluşturulan modellerdeki beton, yapısal çelik ve boyuna donatıya ait eksenel basınç kuvvetleri, yerdeğiştirmeleri, şekil değiştirmeleri, gerilmeleri (Von mises) ve akma noktalarını ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilmiştir. ANSYS sonlu elemanlar program analizinden elde edilen kolon dayanımları (eksenel taşıma kapasiteleri), ÇYTHYE [1] yönetmeliği kullanılarak hesaplanan tasarım dayanımları ile karşılaştırılmıştır.

Parametrik çalışmada çelik gömmeli kompozit kolonların her iki ucu da mafsallı olarak tanımlanmıştır. Şekil 3'te gösterilen ANSYS modelinde üst levhasının dış yüzeyinin z yönündeki yerdeğiştirmesine ve x-y eksenini etrafında dönmesine izin verilmiştir. Alt levhanın dış yüzeyinin yerdeğiştirmeleri ise sınırlandırılmıştır ve x-y eksenini etrafında dönmesine izin verilmiştir. Kompozit kolona düşey olarak yük artışları uygulanarak sistem göçene kadar doğrusal olmayan (nonlinear) analizler yapılmıştır.



Şekil 4. Çelik gömmeli kompozit kolon tipleri

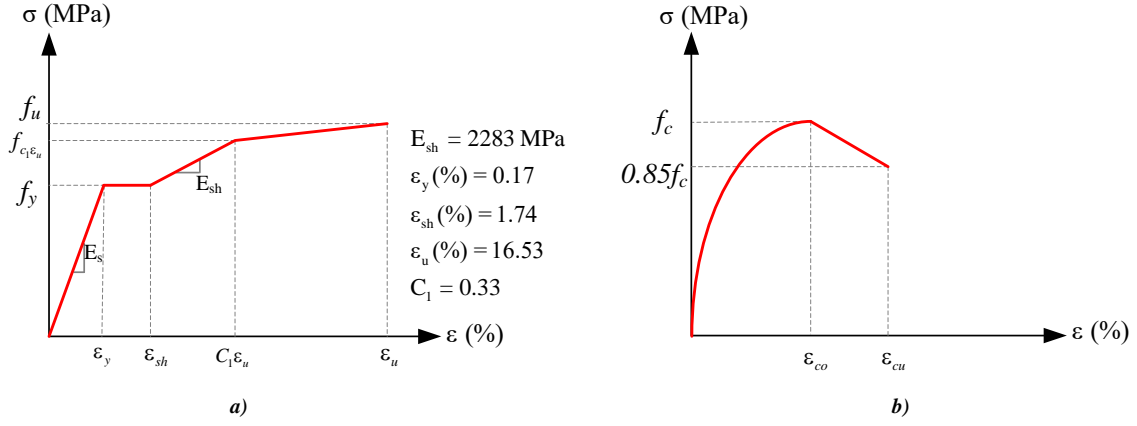
Çelik gömmeli kompozit kolon tipleri Şekil 4'deki gibi modellenmiştir. Parametrik çalışma kapsamında oluşturulan toplam altmış dört adet çelik gömmeli kompozit kolonlara ait malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Parametrik çalışmada çelik gömmeli kompozit kolonların malzeme özellikleri

Grup	Numune	Çelik kesit	As/Ag	Boyuna Donatı (mm)	f _{ck} (MPa)	Grup	Numune	Çelik kesit	As/Ag	Boyuna Donatı (mm)	f _{ck} (MPa)
G1	N1	HEM 100	1%	16	40	G9	N33	HEM 220	4%	16	40
	N2	HEM 100	1%	16	50		N34	HEM 220	4%	16	50
	N3	HEM 100	1%	16	60		N35	HEM 220	4%	16	60
	N4	HEM 100	1%	16	70		N36	HEM 220	4%	16	70
G2	N5	HEM 100	1%	20	40	G10	N37	HEM 220	4%	20	40
	N6	HEM 100	1%	20	50		N38	HEM 220	4%	20	50
	N7	HEM 100	1%	20	60		N39	HEM 220	4%	20	60
	N8	HEM 100	1%	20	70		N40	HEM 220	4%	20	70
G3	N9	HEM 100	1%	24	40	G11	N41	HEM 220	4%	24	40
	N10	HEM 100	1%	24	50		N42	HEM 220	4%	24	50
	N11	HEM 100	1%	24	60		N43	HEM 220	4%	24	60
	N12	HEM 100	1%	24	70		N44	HEM 220	4%	24	70
G4	N13	HEM 100	1%	30	40	G12	N45	HEM 220	4%	30	40
	N14	HEM 100	1%	30	50		N46	HEM 220	4%	30	50
	N15	HEM 100	1%	30	60		N47	HEM 220	4%	30	60
	N16	HEM 100	1%	30	70		N48	HEM 220	4%	30	70
G5	N17	HEM 140	2%	16	40	G13	N49	HEM 300	8%	16	40
	N18	HEM 140	2%	16	50		N50	HEM 300	8%	16	50
	N19	HEM 140	2%	16	60		N51	HEM 300	8%	16	60
	N20	HEM 140	2%	16	70		N52	HEM 300	8%	16	70
G6	N21	HEM 140	2%	20	40	G14	N53	HEM 300	8%	20	40
	N22	HEM 140	2%	20	50		N54	HEM 300	8%	20	50
	N23	HEM 140	2%	20	60		N55	HEM 300	8%	20	60
	N24	HEM 140	2%	20	70		N56	HEM 300	8%	20	70
G7	N25	HEM 140	2%	24	40	G15	N57	HEM 300	8%	24	40
	N26	HEM 140	2%	24	50		N58	HEM 300	8%	24	50
	N27	HEM 140	2%	24	60		N59	HEM 300	8%	24	60
	N28	HEM 140	2%	24	70		N60	HEM 300	8%	24	70
G8	N29	HEM 140	2%	30	40	G16	N61	HEM 300	8%	30	40
	N30	HEM 140	2%	30	50		N62	HEM 300	8%	30	50
	N31	HEM 140	2%	30	60		N63	HEM 300	8%	30	60
	N32	HEM 140	2%	30	70		N64	HEM 300	8%	30	70

Modellenen elemanlara ait yapısal çelik ve donatı çeliğinin malzeme özellikleri Tablo 2 ve Şekil 5.a'da verilmiştir. Beton malzemesine ait değerler ise poisson oranı ($\nu=0.2$) ve elastisite modülü ise aşağıdaki Eş. 1'deki denklem ile hesaplanmıştır [1].

$$E_c = 0.043w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$



Şekil 5. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi a) Çelik [23] b) Beton [24]

Burada beton elastisite modülü E_c , birim hacim ağırlığı ($w_c=2400 \text{ kg m}^{-3}$) ve karakteristik basınç dayanımı f_{ck} olarak ifade edilmiş olup beton malzemesine ait gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) eğrileri Şekil 5.b'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çelik malzeme özellikleri

Malzeme	E_s (MPa)	w_c (kg m^{-3})	ν	f_y (MPa)	f_u (MPa)
S355	200 000	7850	0.3	355	490
B500C	200 000	7850	0.3	500	550

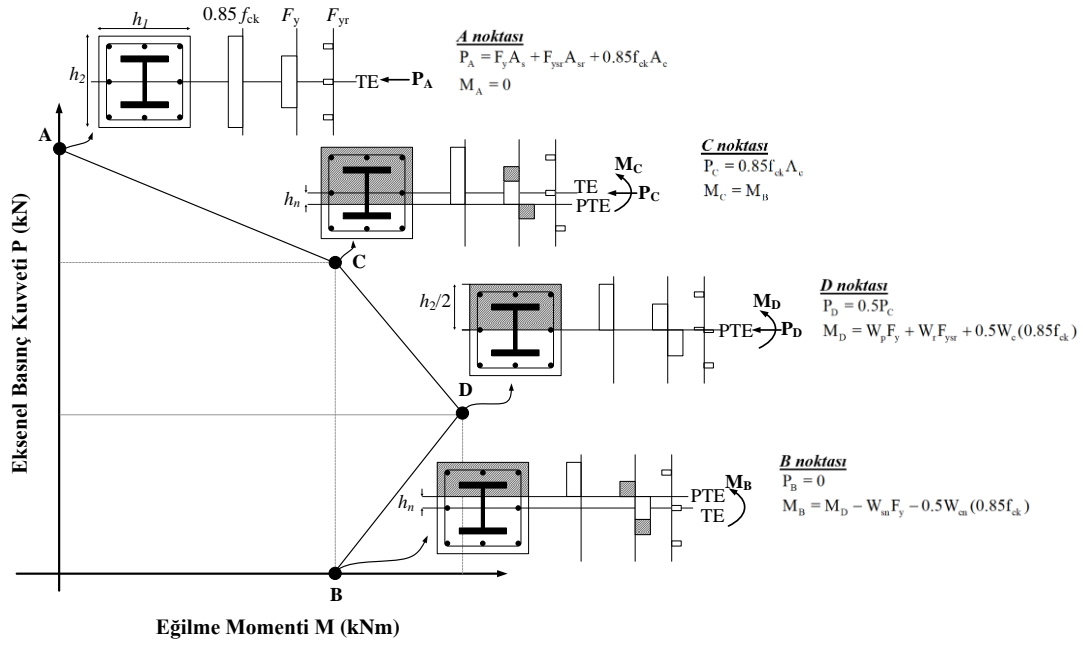
Şekil 5.b'de verilen sargısız beton malzemesine ait gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) eğrisi olarak Hognestad [24] tarafından önerilen model kullanılmıştır. Hognestad [24] modelinde, betonun (σ - ϵ) ilişkisi iki kısım olarak tanımlanmaktadır. Hognestad [24] modelinde yer alan parabolik ve doğrusal kısmı ifade eden denklemler sırasıyla Eşt. 2 ve Eşt. 3'te yer almaktadır. Modelde maksimum gerilmenin silindirik basınç dayanımının %85'i olduğu kabul edilmiştir. Burada maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma değeri, $\epsilon_{co}=2f_c/E_c$ olarak hesaplanmıştır [6]. Kırılmaya karşılık gelen maksimum birim deformasyon değeri ise $\epsilon_{cu}=0,004$ olarak kabul edilmektedir [25].

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{co}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$\sigma_c = f_c \left[1 - 0.15 \left(\frac{\epsilon_c - \epsilon_{co}}{\epsilon_{cu} - \epsilon_{co}} \right) \right] \quad (3)$$

Ayrıca MATLAB programında kodlar geliştirilerek çalışmada incelenen örnekler için ÇYTHYE [1] yönetmeliğinde (Yöntem 2) için karşılıklı etki diyagramındaki A, C, D ve B noktalarının koordinatlarını hesaplanmıştır.

ÇYTHYE [1] yönetmeliğinde hassas bir aksenal kuvvet ve eğilme momenti karşılıklı etkileşim diyagramların dayanım kontrolü için yönetmeliğin 12.6.2 (Yöntem 2) esas alınarak değerlendirilebilir.



Şekil 6. Kompozit elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı [1]

Bu durumda Şekil 6'da gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramlarının oluşturulabilmesi için, Tablo 12.2'de verilen ifadeler kullanılarak A, C, D ve B noktalarının koordinatları belirlenmektedir [1]. Şekil 6'da gösterildiği gibi geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramlarının oluşturulabilmesi için ilgili yönetmelikte yer alan Tablo 12.2'de verilen denklemleri kullanılarak A, C, D ve B noktalarının koordinatlarını MATLAB programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Şekil 6'da gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramında yer alan A, C, D ve B noktalarının W_p , W_c ve W_r ifadeleri çelik kesit, beton ve boyuna donatı kesitine ait plastik mukavemet momentleridir. W_{sn} ve W_{cn} ise Şekil 6'da gösterildiği gibi h_n bölgesi içindeki çelik kesit ve beton kesitine ait plastik mukavemet momentini ifade etmektedir.

ÇYTHYE [1] yönetmeliğinde çelik gömmeli kompozit kolon basınç tasarım dayanımları aşağıdaki gibidir [1];

$$\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25 \quad \text{için} \quad P_n = P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \quad (4)$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} > 2.25 \quad \text{için} \quad P_n = 0.877 P_e$$

$$P_{no} = F_y A_s + F_{y sr} A_{sr} + 0.85 f_{ck} A_c \quad (5)$$

$$P_e = \frac{\pi^2 (EI_{ef})}{(L_c)^2} \quad (6)$$

$$EI_{ef} = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_1 E_c I_c \quad (7)$$

$$C_1 = 0.25 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \quad (8)$$

$$P_{ys} = F_y A_s \quad (9)$$

$$\delta = \frac{P_{ys}}{P_{no}} \quad (10)$$

Burada sırasıyla yapısal çeliğin elastisite modülü, akma dayanımı, enkesit alanı ve atalet momenti (E_s , F_y , A_s , I_s), beton çeliğin elastisite modülü, akma dayanımı, enkesit alanı ve atalet momenti (E_{sr} , F_{ysr} , A_{sr} , I_{sr}), betonun elastisite modülü, dayanımı, birim hacim ağırlığı, enkesit alanı ve atalet momenti (E_c , f_{ck} , w_c , A_c , I_c) ve kompozit elemanın enkesit alanı, elastik burkulma yükü, etkin eğime rijitliği, burkulma boyu, burkulma katsayısı ve eleman uzunluğu (A_g , P_e , E_{Ief} , L_c , K , L) olarak ifade edilmiştir [1].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

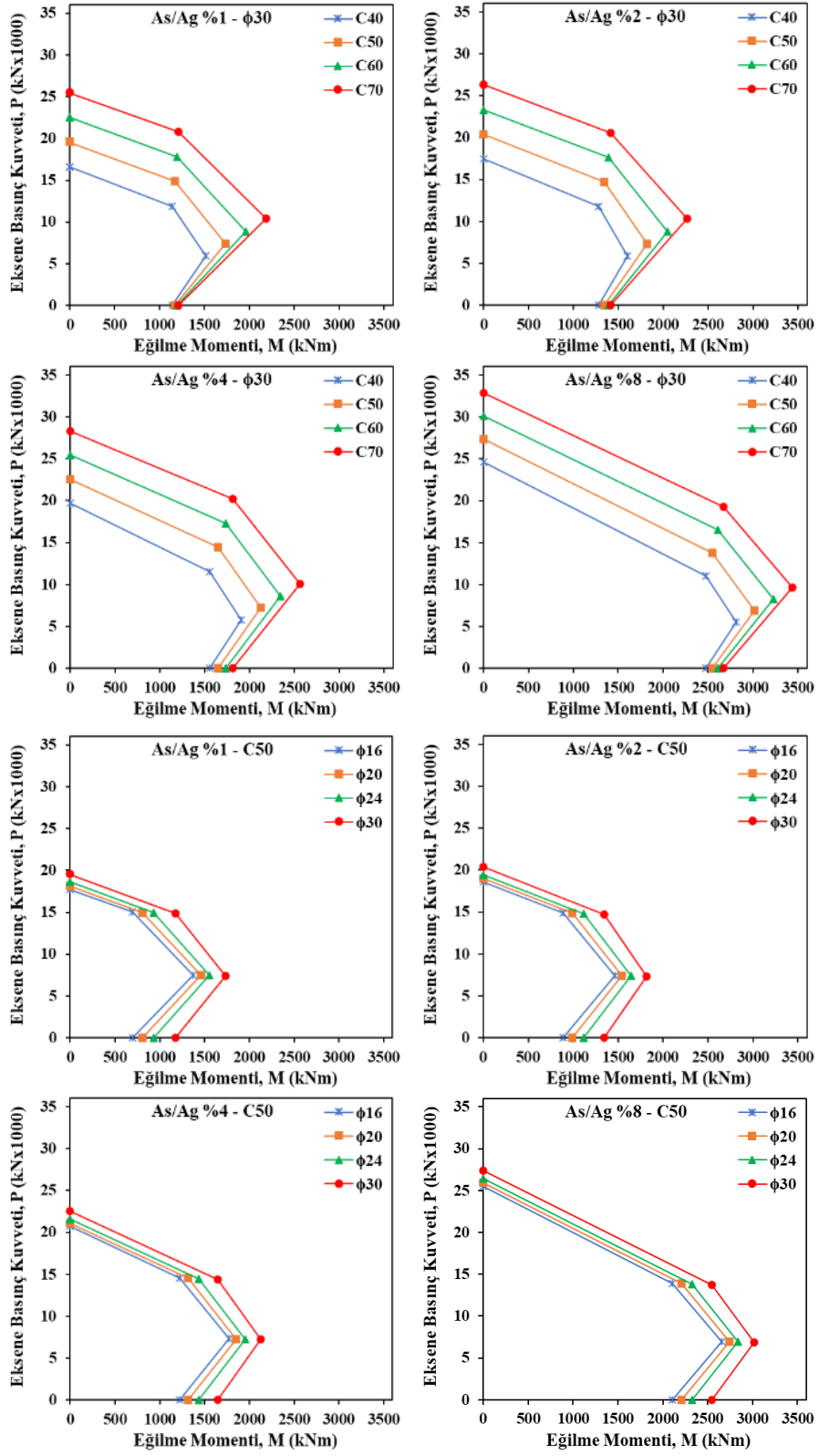
Bu çalışmada ortaya konulan altmış dört probleme ait karşılıklı etki diyagramı çizilmiş ve bu diyagramların A, C, D ve B noktaları incelenmiştir. Ayrıca örnek bir kolon, göçene kadar yük artışı uygulanarak davranışı incelenmiş ve bazı bulgulara ulaşılmıştır.

ÇYTHYE [1] yönetmeliğine göre kompozit kolonlar için eksenel kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramının örnek grafikleri verilmiştir (Şekil 7). Parametrik çalışmadaki altmış dört adet karşılıklı etki diyagramının sonucunda, boyuna donatı çapı ile çelik alan oranı (A_s/A_g) sabit seçildiğinde, beton sınıfı arttırılırsa eksenel yük taşıma kapasiteleri 1.33-1.62 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.22-1.60 kat artış göstermiştir. Beton sınıfı ile boyuna donatı çapı sabit seçildiğinde, çelik alan oranı (A_s/A_g) arttırılırsa eksenel yük taşıma kapasiteleri 1.29-1.55 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.57-2.14 kat artış göstermiştir. Çelik alan oranı (A_s/A_g) oranı ile beton sınıfı sabit seçildiğinde, boyuna donatı çapı arttırılırsa eksenel yük taşıma kapasiteleri 1.05-1.13 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.11- 1.32 kat artış göstermiştir.

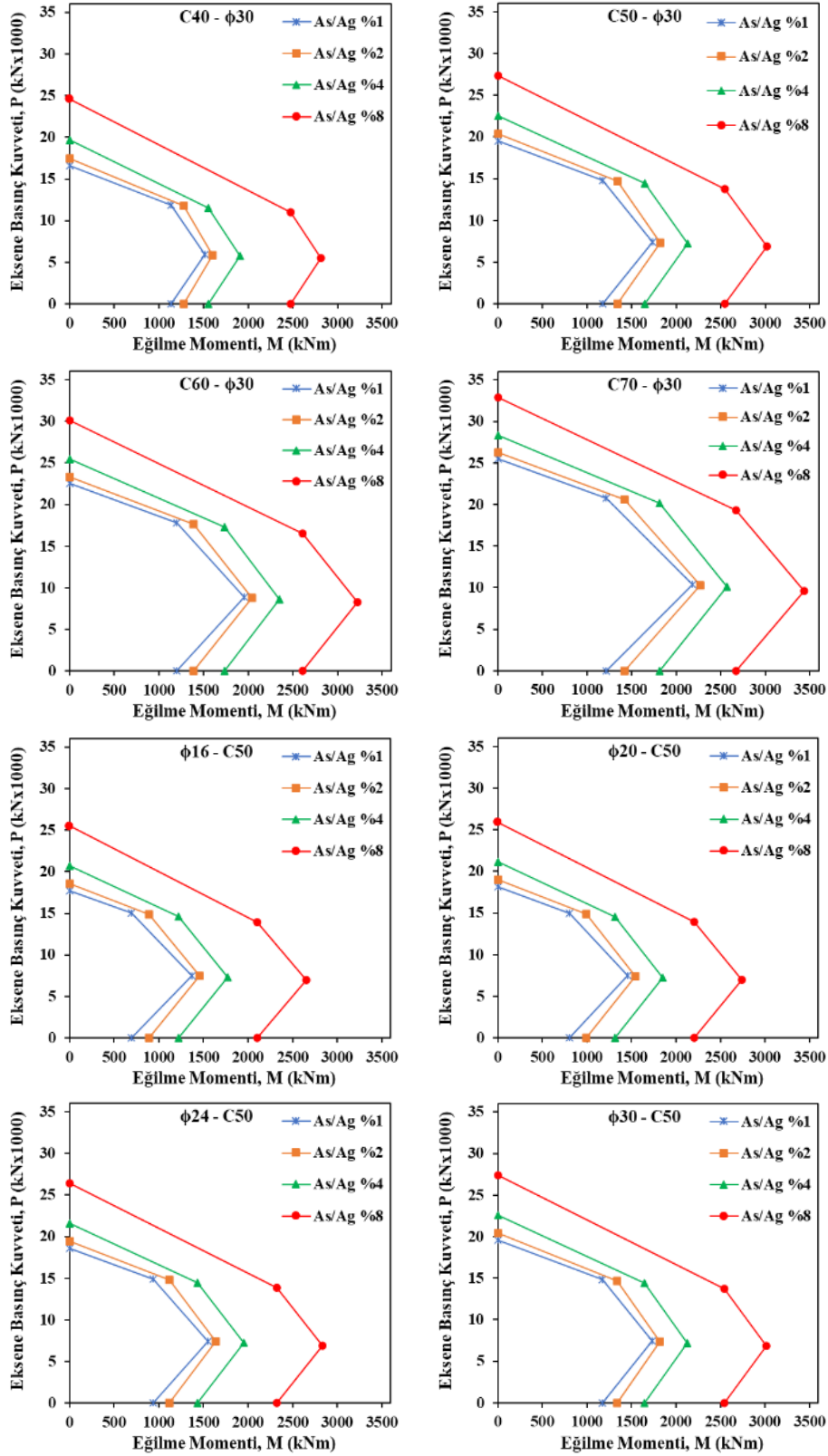
ÇYTHYE [1] yönetmeliğinde Eş. 4'te tanımlanan formüllerle tasarım dayanımları MATLAB programı yardımıyla hesaplanmıştır. ANSYS programında modellenen çelik gömmeli kompozit kolonların basınç dayanımları ise hesaplanarak karşılaştırılmıştır (Tablo 3).

Ayrıca Eş. 10'da tanımlanan denklem kullanılarak çelik katkı oranı (δ) tüm kompozit kolonlar için hesaplanmıştır. Çelik katkı oranı, $0.2 \leq \delta \leq 0.9$ arasında olduğunda kompozit kolon, 0.2'den küçük ise betonarme kolon ve 0.9'dan büyük ise çelik kolon gibi davranacağı belirtilmiştir [26]. Ancak kompozit kolonlarda çelik alan oranı minimum %1 olması gerektiği belirtilmektedir [1].

Bu nedenle ÇYTHYE [1] yönetmeliğine çelik gömmeli kompozit kolonlarda çelik alan oranı %1 ve %2 olduğunda $\delta < 0.2$ 'den küçük ve betonarme kolon gibi davranacağı, çelik alan oranı %4 ve %8 olduğunda ise $0.2 \leq \delta \leq 0.9$ arasında kompozit kolon gibi davranacağı görülmektedir (Tablo 3).



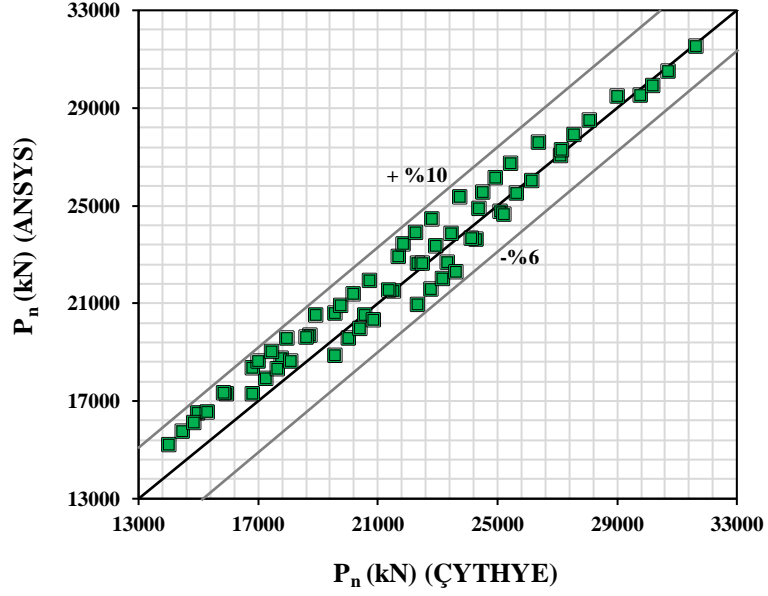
Şekil 7. Kompozit kolonlar için eksenel kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramları



Şekil 7. (devam) Kompozit kolonlar için aksenal kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramları

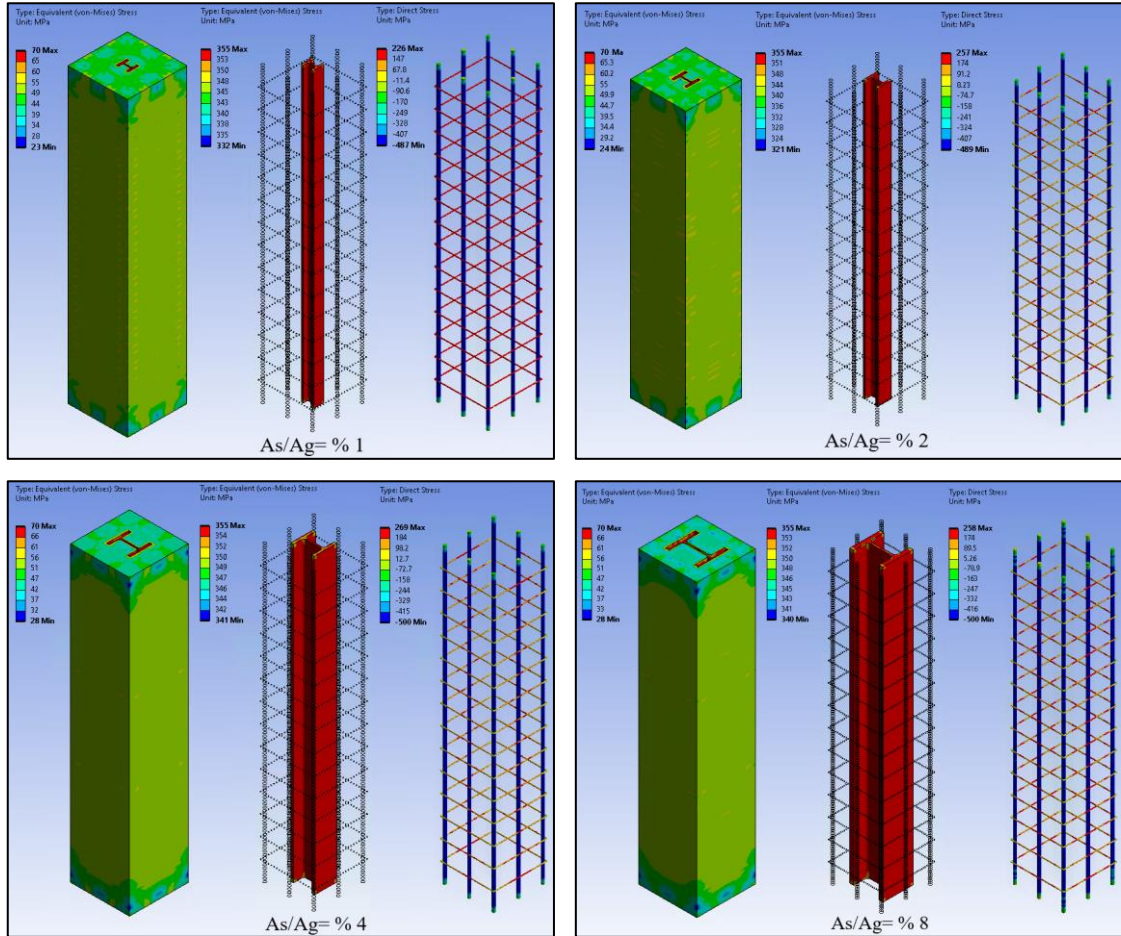
Tablo 3. Çelik gömmeli kompozit kolon dayanımlarının tasarım dayanımları ile karşılaştırılması

Grup	Numune	Kesit Tipi	A _s /A _g	Boyuna Donatı (mm)	f _{ck} (Mpa)	δ	ÇYTHYE [1]			ANSYS [2]		P _{ANSYS}
							P _{no} (kN)	P _e (kN)	P _{n, ÇYTHYE} (kN)	P _{n, ANSYS} (kN)	U _z (mm)	P _{ÇYTHYE}
G1	N1	HEM 100	1%	16	40	0.13	14697	133994	14038	15200	-7.96	1.08
	N2	HEM 100	1%	16	50	0.11	17698	147643	16832	17280	-7.82	1.03
	N3	HEM 100	1%	16	60	0.09	20699	159983	19608	18875	-7.81	0.96
	N4	HEM 100	1%	16	70	0.08	23701	171331	22367	20962	-7.83	0.94
G2	N5	HEM 100	1%	20	40	0.13	15119	145768	14477	15747	-8.15	1.09
	N6	HEM 100	1%	20	50	0.1	18112	159695	17273	17930	-8.08	1.04
	N7	HEM 100	1%	20	60	0.09	21106	172287	20051	19575	-7.93	0.98
	N8	HEM 100	1%	20	70	0.08	24099	183866	22813	21570	-7.88	0.95
G3	N9	HEM 100	1%	24	40	0.12	15634	159872	15007	16490	-8.34	1.10
	N10	HEM 100	1%	24	50	0.1	18618	174138	17803	18763	-8.32	1.05
	N11	HEM 100	1%	24	60	0.09	21602	187035	20583	20508	-8.19	1.00
	N12	HEM 100	1%	24	70	0.08	24586	198895	23347	22675	-8.21	0.97
G4	N13	HEM 100	1%	30	40	0.11	16583	185167	15973	17280	-8.21	1.08
	N14	HEM 100	1%	30	50	0.1	19550	200049	18766	19680	-8.28	1.05
	N15	HEM 100	1%	30	60	0.08	22516	213504	21544	21500	-8.21	1.00
	N16	HEM 100	1%	30	70	0.07	25483	225877	24308	23625	-8.21	0.97
G5	N17	HEM 140	2%	16	40	0.18	15577	144121	14888	16127	-8.13	1.08
	N18	HEM 140	2%	16	50	0.15	18555	158773	17669	18300	-8.08	1.04
	N19	HEM 140	2%	16	60	0.13	21532	172019	20433	19980	-7.97	0.98
	N20	HEM 140	2%	16	70	0.12	24510	184200	23183	22010	-7.94	0.95
G6	N21	HEM 140	2%	20	40	0.18	15998	155859	15326	16540	-8.23	1.08
	N22	HEM 140	2%	20	50	0.15	18969	170784	18107	18635	-8.11	1.03
	N23	HEM 140	2%	20	60	0.13	21939	184278	20872	20312	-8.01	0.97
	N24	HEM 140	2%	20	70	0.12	24909	196687	23623	22282	-7.96	0.94
G7	N25	HEM 140	2%	24	40	0.17	16514	169919	15856	17340	-8.47	1.09
	N26	HEM 140	2%	24	50	0.15	19474	185178	18636	19600	-8.45	1.05
	N27	HEM 140	2%	24	60	0.13	22435	198973	21401	21550	-8.46	1.01
	N28	HEM 140	2%	24	70	0.11	25396	211659	24152	23675	-8.45	0.98
G8	N29	HEM 140	2%	30	40	0.16	17462	195137	16820	18345	-8.44	1.09
	N30	HEM 140	2%	30	50	0.14	20406	211003	19596	20580	-8.39	1.05
	N31	HEM 140	2%	30	60	0.12	23349	225347	22358	22637	-8.46	1.01
	N32	HEM 140	2%	30	70	0.11	26293	238538	25107	24762	-8.44	0.99
G9	N33	HEM 220	4%	16	40	0.3	17785	173608	17039	18630	-8.38	1.09
	N34	HEM 220	4%	16	50	0.26	20705	190738	19785	20930	-8.41	1.06
	N35	HEM 220	4%	16	60	0.23	23624	206226	22518	22650	-8.27	1.01
	N36	HEM 220	4%	16	70	0.2	26543	220468	25239	24640	-8.21	0.98
G10	N37	HEM 220	4%	20	40	0.29	18207	185248	17473	19020	-8.39	1.09
	N38	HEM 220	4%	20	50	0.25	21119	202642	20217	21400	-8.49	1.06
	N39	HEM 220	4%	20	60	0.22	24030	218367	22949	23340	-8.49	1.02
	N40	HEM 220	4%	20	70	0.2	26942	232827	25668	25500	-8.52	0.99
G11	N41	HEM 220	4%	24	40	0.28	18722	199194	18000	19570	-8.41	1.09
	N42	HEM 220	4%	24	50	0.25	21624	216906	20741	21920	-8.47	1.06
	N43	HEM 220	4%	24	60	0.22	24527	232920	23469	23880	-8.49	1.02
	N44	HEM 220	4%	24	70	0.19	27429	247646	26186	26025	-8.51	0.99
G12	N45	HEM 220	4%	30	40	0.27	19671	224204	18962	20525	-8.41	1.08
	N46	HEM 220	4%	30	50	0.24	22556	242500	21695	22900	-8.49	1.06
	N47	HEM 220	4%	30	60	0.21	25441	259040	24416	24875	-8.51	1.02
	N48	HEM 220	4%	30	70	0.19	28326	274251	27127	27048	-8.54	1.00
G13	N49	HEM 300	8%	16	40	0.47	22719	250483	21873	23430	-8.07	1.07
	N50	HEM 300	8%	16	50	0.42	25508	272963	24529	25534	-8.02	1.04
	N51	HEM 300	8%	16	60	0.38	28296	293286	27177	27302	-8.21	1.00
	N52	HEM 300	8%	16	70	0.35	31085	311976	29815	29541	-8.18	0.99
G14	N53	HEM 300	8%	20	40	0.47	23141	261893	22301	23900	-8.16	1.07
	N54	HEM 300	8%	20	50	0.42	25922	284608	24952	26128	-8.22	1.05
	N55	HEM 300	8%	20	60	0.38	28703	305145	27595	27931	-8.19	1.01
	N56	HEM 300	8%	20	70	0.34	31484	324030	30229	29900	-8.17	0.99
G15	N57	HEM 300	8%	24	40	0.46	23656	275561	22821	24450	-8.17	1.07
	N58	HEM 300	8%	24	50	0.41	26428	298564	25466	26716	-8.25	1.05
	N59	HEM 300	8%	24	60	0.37	29199	319359	28103	28486	-8.19	1.01
	N60	HEM 300	8%	24	70	0.34	31971	338483	30732	30512	-8.21	0.99
G16	N61	HEM 300	8%	30	40	0.44	24605	300075	23775	25340	-8.12	1.07
	N62	HEM 300	8%	30	50	0.39	27359	323602	26408	27595	-8.18	1.04
	N63	HEM 300	8%	30	60	0.36	30113	344871	29033	29485	-8.21	1.02
	N64	HEM 300	8%	30	70	0.33	32868	364431	31650	31515	-8.22	1.00
Ortalama:											1.03	

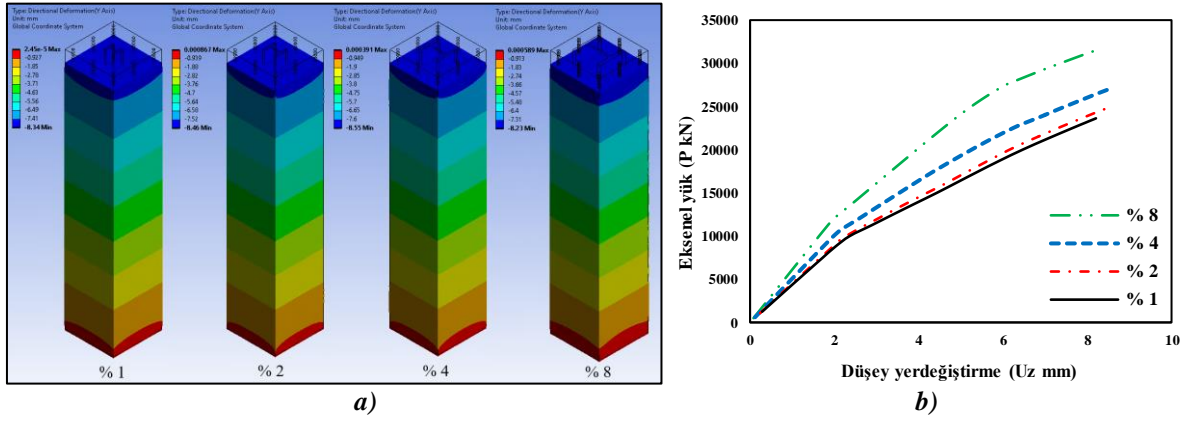


Şekil 8. Eksenel yük kapasitesi ÇYTHYE [1] ve ANSYS [2] sayısal karşılaştırılması

Kompozit kolona ait 64 adet parametrik çalışmada elde edilen en büyük eksenel yük kapasitesinin ÇYTHYE [1] ve ANSYS [2] sayısal karşılaştırılmasında bu oranlar $-\%6$ ile $+\%10$ aralığında yakınsadığı görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 9. Beton sınıfı C70 ve boyuna donatı $\phi 30$ 'daki çelik gömmeli kompozit kolona ait malzemelerin gerilme davranışları



Şekil 10. Beton sınıfı C70 ve boyuna donatı $\phi 30$ 'daki çelik gömmeli kompozit kolona ait
a) ANSYS sonuçları b) Kuvvet-düşey yer değiştirme grafiği

Parametrik çalışmadaki altmış dört adet çelik gömmeli kompozit kolona ait analizde, üst levhaya yük artışları uygulanarak göçene kadar doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda göçme durumuna geldiğinde tüm kompozit kolonlardaki çelik profillerin tamamen akma dayanımına ulaştığı görülmüştür.

Örneğin beton sınıfı C70, boyuna donatı $\phi 30$ ve A_s/A_g oranı %1-2-4-8 olan çelik gömmeli kompozit kolona ait olan gerilme davranışları incelenmiştir. Kompozit kolonlar aksenal yük altında göçme durumuna ulaştığında, yapısal çelik profilin ve boyuna donatı çeliğın akma sınırına yaklaştığı görülmüştür (Şekil 9). Ayrıca düşey yer değiştirme Şekil 10.a'da ve Tablo 3'te verilmiştir. Kompozit kolonların kuvvet-deplasman grafikleri de Şekil 10.b'de verilmiştir. Diğer kompozit kolon elemanlarında benzer şekilde davrandığı görülmüştür.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada iki ucu mafsalı kompozit kolonların, aynı kesit boyutları 600x600 mm, enine donatı çapları $\phi 10/200$ mm ve kolon yüksekliği 3000 mm, farklı boyuna donatı çapı, beton sınıfı ve çelik alan oranına sahip kompozit kolonların, tasarım basınç dayanımları ve aksenal kuvvet-moment eğrilerin davranışı incelenmiştir. Bu davranışa etki eden yapısal çelik alan oranı, beton dayanımı ve boyuna donatı oranı gibi parametrelerin etkisini araştırmak için ÇYTHYE [1] yönetmeliği kullanılarak toplamda altmış dört adet analiz yapılmıştır. Bu analizleri üç boyutlu ANSYS programı kullanılarak doğrusal olmayan (nonlinear) analizler yapılarak ÇYTHYE [1] yönetmeliği ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

Boyuna donatı çapı ile çelik alan oranı (A_s/A_g) sabit seçildiğinde, beton sınıfı arttırılırsa aksenal yük taşıma kapasiteleri 1.33-1.62 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.22- 1.60 kat artış göstermiştir. Beton sınıfı ile boyuna donatı çapı sabit seçildiğinde, çelik alan oranı (A_s/A_g) arttırılırsa aksenal yük taşıma kapasiteleri 1.29-1.55 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.57- 2.14 kat artış göstermiştir. Çelik alan oranı (A_s/A_g) oranı ile beton sınıfı sabit seçildiğinde, boyuna donatı çapı arttırılırsa aksenal yük taşıma kapasiteleri 1.05-1.13 artar iken eğilme momenti değerleri ise 1.11-1.32 kat artış göstermiştir. Çelik gömmeli kompozit kolondaki çelik profil tamamen akma dayanımına ulaşmış olup; inelastik davranış göstermiştir. Yapısal çelik için ANSYS den hesaplanan yük ile yönetmelikte hesaplanan en büyük aksenal yük oranları 0.94-1.10 aralığında iken ortalama ise 1.03 olarak bulunmuştur. ÇYTHYE [1] yönetmeliğine göre yapısal çelik alan oran %1'den büyük ise kompozit kolon olarak tasarlanmaktadır. Ancak Eurocode 4 [26] yönetmeliğine göre grup 1– 8 betonarme kolon davranışı gösterirken grup 9-16 kompozit kolon davranışı sergilediği görülmüştür.

Sonlu elemanlar ile analiz yapılırken seçilen eleman tipi-SOLID185'in analitik çalışma ile bulunan sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bu tip bir çalışma yürütülürken, seçilecek sonlu eleman tipinin önemli olduğu ve modelin malzeme, geometri ya da hem malzeme hem de geometri bakımından lineer olmayan davranış açısından irdelenmesi gerekmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, 2016.
- [2] ANSYS, ANSYS User's Manual Revision 19.0, ANSYS, Inc., USA, 2019.
- [3] D. Tjitradi, E. Eliatun ve S. Taufik, "3D ANSYS Numerical Modeling of Reinforced Concrete Beam Behavior under Different Collapsed Mechanisms," *International Journal of Mechanics and Applications*, c. 7, s. 1, ss. 14-23, 2017.
- [4] S. Taufik, G. Utomo ve A. Sugianto, "Behavior of filled and encased composite column using 3D numerical modelling ANSYS," *International Journal of Composite Materials*, c. 8, s. 1, ss. 18-23, 2018.
- [5] E. Ellobody, B. Young ve D. Lam D, "Eccentrically loaded concrete encased steel composite columns," *Thin-Walled Structures*, c. 49, s. 1, ss. 53-65, 2011.
- [6] D. Ertürkme, C. Dünder ve S. Tokgöz, "Karbon Lifli Polimer Sargılı Narin Betonarme Kolonların Moment Büyütme Yöntemi ile Analizi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 31, s. 1, ss. 11-21, 2016.
- [7] T. Stolarski, Y. Nakasone ve S. Yoshimoto, "Application of ANSYS to stress analysis", Engineering Analysis with ANSYS Software, Linacre house, Oxford, 1st Edition, *Elsevier Butterworth*, 2006, ss. 51-142.
- [8] S. Taufik ve B. Tjahjono, "3D ANSYS Modeling behaviour of encased steel composite column with wide flange and hollow section," *International Journal of Mechanics and Applications*, c. 9, s. 1, ss. 10-18, 2019.
- [9] T. Kartheek ve T.V. Das, "3D modelling and analysis of encased steel-concrete composite column using ABAQUS," *Materials Today: Proceedings*, c. 27, s. 2, ss. 1545-1554, 2020.
- [10] K.S. Viridi ve P.J. Dowling, "The ultimate strength of composite columns in biaxial bending," *Proceedings Institution of Civil Engineers*, c. 55, s. 1, ss. 251-72, 1973.
- [11] P.R. Munoz ve C.T. Hsu, "Behaviour of biaxially loaded concrete-encased composite columns," *Journal of Structural Engineering, ASCE*, c. 123, s. 9, ss. 1163-1171, 1997.
- [12] C.C. Chen ve N.J. Lin, "Analytical model for predicting axial capacity and behavior of concrete encased steel composite stub columns," *Journal of Constructional Steel Research*, c. 62, s. 5, 424-433, 2006.
- [13] E. Ellobody ve B. Young, "Numerical simulation of concrete encased steel composite columns," *Journal of Constructional Steel Research*, c. 67, s. 2, 211-222, 2011.
- [14] B. Lai, J.Y. Richard Liew ve S. Li, "Finite element analysis of concrete-encased steel composite columns with off-center steel section," *12th International Conference on Advances in Steel-Concrete Composite Structures*, ss. 27-29, 2018.

- [15] D.H Nguyen ve W.K. Hong, “An analytical model computing the flexural strength and performance of the concrete columns confined by both transverse reinforcements and steel sections,” *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, c. 19, s. 6, ss. 647-66, 2020.
- [16] B. Lai ve J.Y. Richard Liew, “Axial-moment interaction of high strength concrete encased steel composite columns: Design recommendation,” *Journal of Constructional Steel Research*, c. 170, s. 7, ss. 106136, 2019.
- [17] O. Düğenci, “Artı kesitli çekirdeğe sahip burkulması önlenmiş basınç çubuklarının eksenel yük altında deneysel ve numerik araştırılması,” Doktora tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2015.
- [18] I. Montava, R. Irlles, J. Segura, J. M. Gadea ve E. Juliá “Numerical simulation of steel reinforced concrete (SRC) joints,” *Metals*, c. 9, s. 2, ss. 131, 2019.
- [19] S. Kedziora ve M. O. Anwaar, “Concrete-filled steel tubular (CFTS) columns subjected to eccentric compressive load,” *Proceedings of the 15th Stability of Structures Symposium*, ss. 20004, 2019.
- [20] F. P. M. Quevedo, R. J. Schmitz, I. B. Morsch, A. C. Filho, D. Bernaud, “Customization of a software of finite elements to analysis of concrete structures: long-term effects,” *Ibracon structures and materials journal*, c. 11, s. 4, ss. 696-718, 2018.
- [21] S. B. Krylov, V. I. Travush, A. S. Krylov ve D. V. Konin, “Contact technologies in design of reinforced concrete beams with cracks,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, ss. 456, 2018.
- [22] ANSI/AISC 360-16-Specification for structural steel buildings. American Institute of Steel Construction (AISC), 2016.
- [23] X. Yun and L. Gardner L, “Stress-strain curves for hot-rolled steels,” *Journal of Constructional Steel Research*, c. 133, s. 6, ss. 36–46, 2017.
- [24] E. Hognestad, N.W. Hanson and DMchenry, “Concrete Stress Distribution in Ultimate Stress Design,” *ACI Journal*, c. 27, s. 4, ss. 455-479, 1955.
- [25] H.B. Özmen, M. İnel and H. Bilgin, “Sargılı beton davranışının betonarme eleman ve sistem davranışına etkisi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 22, s. 2, ss. 375- 383, 2007.
- [26] Eurocode 4 : Design of composite steel and concrete structures-Part 1- 1. General rules and rules for buildings, EN 1994-1-1, 2004.