



ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article)

**ÇELİK KOLONLARDAN VE BETON DOLGULU ÇELİK TÜP KOLONLARDAN OLUŞAN
CERÇEVELERİN SAYISAL KARŞILAŞTIRILMASI**

Emre BAŞ¹, Mustafa Halûk SARAÇOĞLU^{2*}, Fethullah USLU³

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya, emrebas9292@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3188-8965

^{2*}Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya, mhaluk.saracoglu@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3842-5699

³Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya, fethullah.uslu@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8057-5119

Geliş Tarihi(Received Date):17.01.2023

Kabul Tarihi(Accepted Date):07.03.2023

ÖZ

Bu çalışmada aynı kat planına sahip farklı yüksekliklerdeki çelik kolonlu ve içi beton doldurulmuş çelik tüp (BDÇT) kompozit kolonlu yapılar analiz edilerek yapı kat deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve yapı toplam ağırlıkları incelenmiştir. Çelik kolona eşdeğer kompozit kolonu tespit etmek için Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları 2018 (ÇYTHYE, 2018) yönetmeliğini esas alan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramlarındaki kritik noktaların koordinatlarını da hesaplayabilmektedir. Çelik kolonlu yapılar AISC yönetmeliğine göre, ETABS 2019 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler sonucunda kolonlarda hesaplanan kritik kuvvetleri taşıyabilecek çelik profiller tespit edilmiş ve bu çelik kolon kesitlerine eşdeğer BDÇT kolonlar geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiştir. Ayrıca yapı yüksekliği artırılarak 3, 6, 9 ve 15 katlı yapılar ele alınmış ve kat sayısının değişimi ile çelik ve kompozit kolonlu yapıların davranışları ortaya konulmuştur. Bu çalışmada incelenmiş olan 4 farklı yapı, çelik kolonlu ve kompozit kolonlu olarak ayrı ayrı analiz edilmiştir. Kompozit kolonlu yapıların, çelik kolonlu yapılara göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Sonuçlar tablo ve grafiklerle sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: *Beton Dolgulu Çelik Tüp Kolonlar, Kompozit, Kompozit Yapı Elemanları, Kompozit Yapıların Tasarımı*

**NUMERICAL COMPARISON OF FRAMES CONSISTING OF STEEL COLUMNS AND
CONCRETE FILLED STEEL TUBE COLUMNS**

ABSTRACT

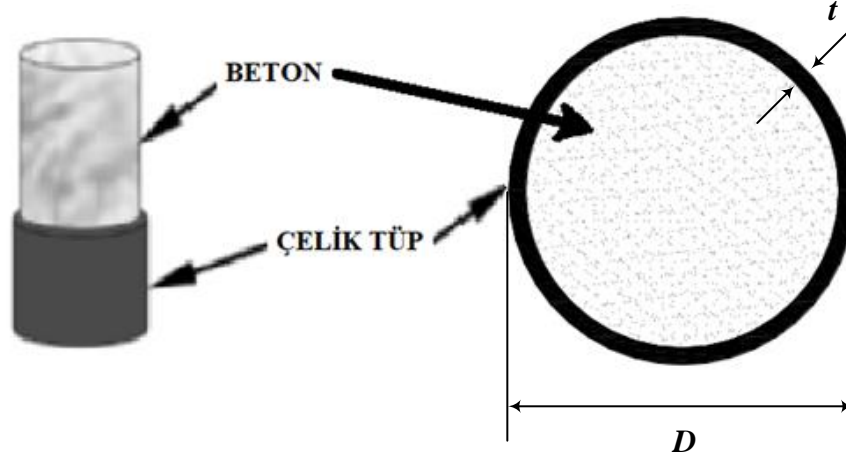
In this study, building floor displacements, base shear forces and total weights of the structure were investigated by analyzing the buildings with steel columns and concrete filled steel tube (CFST) composite columns with the same floor plan at different heights. In order to determine the composite column equivalent to the steel column, a computer program has been developed which is based on the

Regulation on the Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures (ÇYTHYE, 2018). The computer program can also calculate the coordinates of the critical points in the developed interaction diagrams. Steel column structures were analyzed according to AISC regulation using ETABS 2019 program. As a result of the analyses, steel profiles that can carry the calculated critical forces in the columns were determined and CFST columns equivalent to these steel column sections were obtained with the help of the developed computer program. Also by increasing the building height 3, 6, 9 and 15-storey buildings were considered and with the change of the number of floors behaviours of structures with steel and composite columns are presented. In this study, four different structures with steel columns and composite columns were analyzed separately. It has been determined that composite column structures perform better than steel column structures. The results were presented in tables and graphs.

Keywords: *Concrete Filled Steel Tube Columns, Composite, Composite Structural Elements, Design of Composite Structures*

1. GİRİŞ

Beton dolgulu çelik tüpler (BDÇT), inşaat ve işletme aşamaları sırasında geleneksel betonarme malzemesine göre birçok olumlu özellik göstermektedir. Geleneksel betonarme elemanların yerini alan bu yapı elemanları et kalınlığı t ve dış çapı D olan çelik tüplerin içerisine beton doldurularak imal edilirler (Şekil 1).



Şekil 1. Beton dolgulu çelik tüp elemanın perspektif ve kesit görüntüsü.

Bu tür yapılar; yüksek mukavemet, iyi süneklik ve dayanıklılık, yüksek yangın direnci, büyük enerji emme kapasitesi ve uygun inşa edilebilirlik özelliklerine sahiptirler. İnşaat aşamasında, BDÇT 'lerin çelik boruları, kalıp için harcanan zaman ve enerjinin büyük bir kısmını ortadan kaldırır ve betonun erken yaş aşamasında inşaat yüklerini destekler, bu da inşaat süresini, işçilik ve malzeme maliyetlerini önemli ölçüde azaltır ve inşaat verimliliğini artırır. Beton dolgulu çelik tüpler, elektrik şebekesi altyapıları, rüzgâr enerjisi kuleleri, köprü ayakları ve hafif öz ağırlık, yüksek eğilme rijitliği ve yüksek taşıma kapasitesi gerektiren diğer yapılarda kullanılırlar [1].

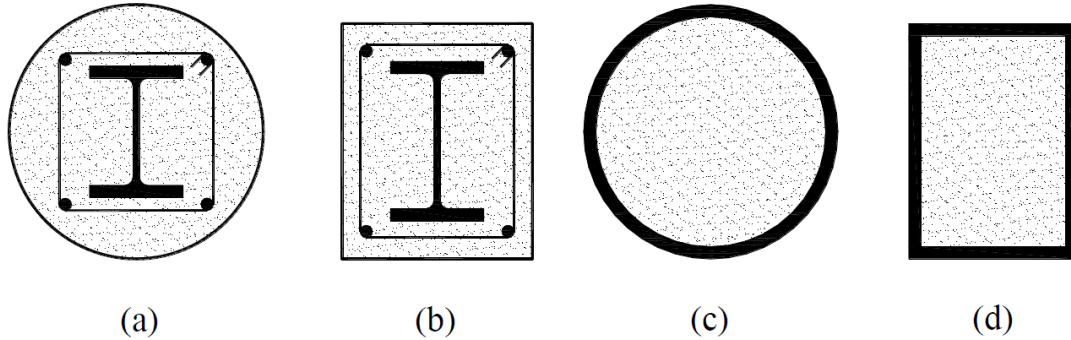
Üstünlüklerinden dolayı geniş ölçüde yararlanılan BDÇT'ler hakkında bugüne kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Han vd. [1], yayınladıkları derleme çalışmalarında, özellikle Çin'deki çalışmaları dikkate alarak beton dolgulu çelik boru yapılar için en son gelişmeleri gözden geçirmişlerdir. Çeşitli ülkelerden tasarım yaklaşımlarını inceleyerek BDÇT'leri kullanan Çin'deki bazı pratik projeleri sunmuşlar ve bu elemanların gelişimine yönelik eğilimleri tartışmışlardır. Schneider [2], eksenel basınç altındaki BDÇT'lerin davranışını yaptığı deneysel ve analitik çalışmalarla ortaya koymuştur. Sakino vd. [3], uzun süreli araştırma projelerinde merkezi yüklü kısa kolonlar ile ilgili deneyler yapmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda beton ile çelik tüpün yük altındaki davranışlarını incelemişler ve BDÇT kolonların yük-deformasyon ilişkisini ortaya koyacak yöntemleri üretmek istemişlerdir. Deneyler sonucunda elde ettikleri verileri kullanarak hem dairesel hem de kare kesitli BDÇT kolonlar için nihai eksenel basınç yük kapasitelerini tahmin eden tasarım formülleri önermişlerdir. Giakoumelis ve Lam [4], çeşitli beton dayanımlarına sahip BDÇT'lerin eksenel yük altındaki davranışını çalışmışlardır. Çelik boru kalınlığının, beton ile çelik boru arasındaki bağ kuvvetinin ve sargı donatısının etkilerini incelemişlerdir. Deney numunelerinden ölçülen kolon dayanımlarını Eurocode 4, Avustralya Standartları ve Amerikan Kodları gibi farklı yönetmelikler kullanarak hesapladıkları kolon dayanımları ile karşılaştırmışlardır. Hu vd. [5], eksenel kuvvet ve eğilme momentinin birlikte etkilediği beton dolgulu tüplerin sonlu eleman modellerini ortaya koyarak bu elemanların davranışını incelemişlerdir. Damar [6], yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında kompozit yapılarda taşıma gücünü araştırmıştır. Çalışmasında, kompozit kolonların ekonomik açıdan inşaat endüstrisinde yararlı olduğu sonucuna varmıştır. Patidar [7], BDÇT kolonların davranışını incelemek için çelik tüpün et kalınlığını ve betonun dayanımını değiştirerek sonlu elemanlar paket programı ile sayısal bir çalışma yapmıştır. Evirgen vd. [8], yaptıkları deneysel çalışmada eksenel yük altındaki BDÇT'lerin yapısal davranışını incelemişlerdir. Numunelerdeki genişlik/kalınlık oranı, betonun basınç dayanımı ve kesit parametrelerinin geometrik şeklinin nihai yükler, eksenel gerilme, süneklik ve burkulma davranışı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Essopjee ve Dundu [9], yaptıkları deneysel çalışmada BDÇT'lerin basınç altındaki performansını araştırmışlardır. Çelik boruların uzunluklarını, çaplarını ve dayanımlarını değiştirerek ve Güney Afrika standardındaki (SANS 10162-1) ve Eurocode 4'teki (EN 1994-1-1) ilkeleri kullanıp BDÇT'lerin dayanımlarını tahmin etmek için yeni formüller geliştirmişlerdir. İnce vd. [10], yaptıkları çalışmalarında, kompozit elemanlar ve kompozit yapı sistemlerinin üstünlüklerini ve sakıncalarını, geçmişte yapılmış olan çalışmaları da irdeleyerek ortaya koymuş ve bu konuda bazı öneriler getirmişlerdir. Amini [11], yüksek lisans tez çalışmasında kompozit yapıların dinamik davranışlarını geleneksel yapılar ile karşılaştırmıştır. Tez çalışmasında beş ve on beş katlı aynı mimari projeye sahip yapıyı betonarme ve kompozit yapı elemanlarıyla modellemiştir. Abdulmaged ve Göğüş [12], farklı tasarım kodlarına göre BDÇT'lerin performans değerlendirmesine yönelik parametrik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada; çelik tüpün çapı, et kalınlığı, akma gerilmesi ve betonun basınç dayanımı değişen parametreler olarak dikkate alınmış, Amerikan (ANSI/AISC360-16) ve Avrupa (Eurocode4-2004) standartları kullanılmıştır. Han vd. [13], 2019 yılında BDÇT'lerin tasarımı hakkında bir kitap yayınlamışlardır. Bölükbaşı [14], farklı kompozit kolon türlerinin Eurocode 4'e göre tasarımlarının örneklerle açıklanması konulu yüksek lisans tezi yazmıştır. Tez çalışmasında iki farklı kompozit kolon tipinin Eurocode4'e göre tasarımı anlatılmıştır. Uslu vd. [15], yayınladıkları makalede eksenel yük ve moment etkisi altındaki çelik gömme kompozit kolonların dayanımları ve sünekliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında bir çelik yapı üzerinden kesit tesirlerini alarak eşdeğer bir kompozit kolon tasarlamışlar ve bu kolona ait analizler yaparak süneklik ve dayanım özelliklerini değerlendirmişlerdir. Taşkın ve Uslu [16], yayınladıkları araştırma makalesinde çelik gömmeli kompozit kolonların sonlu elemanlar analizi ile sayısal karşılaştırılmasını yapmışlardır. Çalışmalarında oluşturdukları modeller ile doğrusal olmayan analizler yapmışlardır. Yapılan

analizlerden elde edilen değerler ile yönetmeliklerden elde edilen değerleri kıyaslamışlar ve çelik gömmeli kesitlerde kullanılan çelik profilin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. İpek ve Güneyisi [17], çalışmalarında BDÇT kolonlarının nihai eksenel dayanımını mevcut kare ve dairesel kesit tabanlı kod formüllerini kullanarak tahmin etmişlerdir. Manikandan ve Umarani [18], çalışmalarında deneysel ve teorik bir yaklaşımla, farklı tipteki beton dolgu çeşitleri ile BDÇT'lerin performansını incelemişlerdir. Lu vd. [19], yaptıkları çalışmada ön yük oranı, narinlik oranı, yük eksantrikliği ve profilli çeliğin kesit boyutu gibi farklı parametrelerin BDÇT kolonlarının nihai mukavemeti üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında ön yüklü BDÇT elemanların basınç ve eğilme altındaki nihai mukavemetini hesaplamak için bir tasarım formülü önermişlerdir. Wang vd. [20], yayınladıkları çalışmalarında eksenel kuvvet altındaki BDÇT elemanların basınç dayanımını inceleyen çalışmaları derlemişlerdir. Baş [21], yazmış olduğu yüksek lisans tezinde çelik kolonlu ve içi beton doldurulmuş çelik tüp kompozit kolonlu yapıların karşılaştırmalı tasarımını yapmıştır. Çalışmasında aynı döşeme ve kirislere sahip yapılarda çelik kolon ve BDÇT kolon kullanarak sonuçları kıyaslamıştır.

Bu çalışmada aynı kat planına sahip farklı yüksekliklerdeki çelik kolonlu ve BDÇT kolonlu yapılar analiz edilerek yapı kat deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve yapı toplam ağırlığı incelenmiştir. Kıyaslama yapabilmek için kompozit kolonlu yapılarda çelik kolonlu yapılardan elde edilen kritik yükleri taşıyabilecek eşdeğer BDÇT kolonlar kullanılmıştır.

2. MATERYAL ve METOD

Yapısal çelik ve betonarmenin birlikte kullanılması ile oluşturulan kompozit yapı elemanlarının tasarımı ile ilgili kurallar ÇYTHYE, 2018'de verilmiştir [22]. Bu kompozit yapı elemanlarından çelik gömme kompozit elemanlar Şekil 2 a ve b 'de, beton dolgulu kompozit elemanlar ise Şekil 2 c ve d 'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Tipik kompozit kolonlar [22].

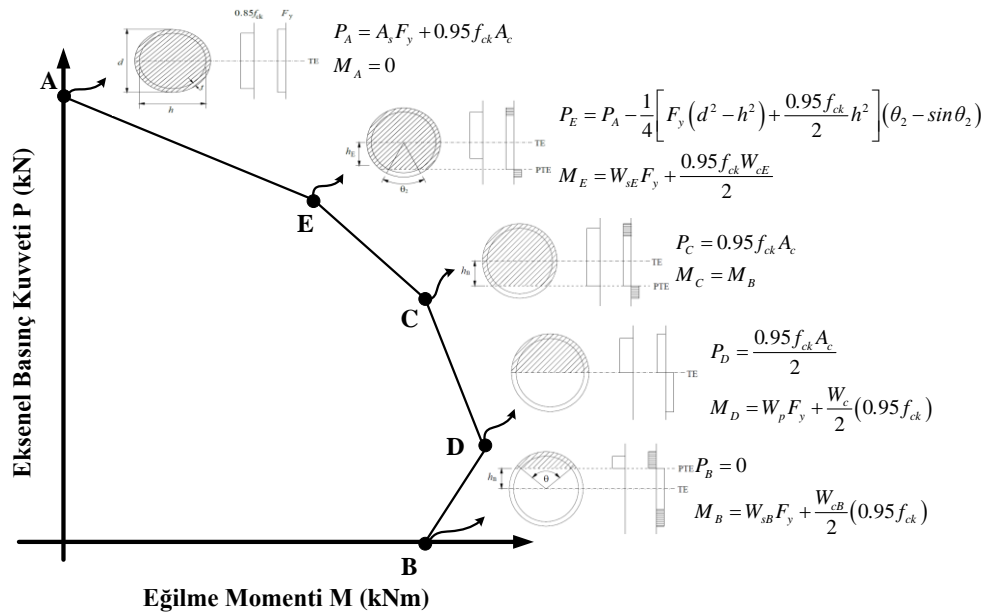
Bu çalışma kapsamında incelenen kompozit kolonlar Şekil 2 c'de gösterilen beton dolgulu dairesel çelik tüp kesitli kolonlardır. Delphi programlama dilinde kod yazılarak Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (ÇYTHYE) 2018'i esas alan ve çelik kolona eşdeğer kompozit kolonu tespit eden bir bilgisayar programı geliştirilmiştir [22], [23].

Geliştirilen program; en çok zorlanan çelik kolonlardan elde edilmiş olan eksenel kuvvet ve moment değerlerini veri olarak alıp yönetmeliğin şartlarına uygun geometrideki (D , t) ve malzeme özelliklerindeki (f_{ck} , F_y) farklı BDÇT kesitlerini listelemektedir.

Aynı zamanda çalışmada incelenen örnekler için ÇYTHYE 2018 [22] yönetmeliğinde verilen karşılıklı etki diyagramındaki A, E, C, D ve B noktalarının koordinatları da hesaplanmaktadır.

ÇYTHYE 2018 Tablo 12.5'te verilen ifadeler kullanılarak hesaplanan A, E, C, D ve B noktalarının eğilme momenti ve eksenel basınç kuvveti değerleri kullanılarak Şekil 3'te gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramları oluşturulabilmektedir [22].

Şekil 3'te gösterilen geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramında yer alan A, E, C, D ve B noktalarının W_c ve W_p ifadeleri sırasıyla beton ve çelik kesitlerine ait plastik mukavemet momentleridir. W_{cE} , W_{sE} , W_{cB} ve W_{sB} ise Şekil 3'te gösterildiği gibi E ve B noktalarındaki h_n bölgesi içindeki beton ve çelik kesitine ait plastik mukavemet momentlerini ifade etmektedir.



Şekil 3. BDÇT elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı [22].

Bileşik eğilme altında beton dolgululu boru enkesitli kompozit kolonun basınç tasarım dayanımları ÇYTHYE 2018 yönetmeliğinde Denklem 1-14'te verilen eşitlikler ile hesaplanmaktadır [15], [16], [21], [22].

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0,85 f_{ck} A_c \quad (1)$$

$$P_e = \frac{\pi^2 (EI)_e}{(L_c)^2} \quad (2)$$

$$(a) \frac{P_{no}}{P_e} \leq 2,25 \quad \text{için} \quad P_n = P_{no} \left[0,658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \quad (3)$$

$$(b) \frac{P_{no}}{P_e} > 2,25 \quad \text{için} \quad P_n = 0,877 P_e \quad (4)$$

$$(EI)_e = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_1 E_c I_c \quad (5)$$

$$C_1 = 0,25 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0,7 \quad (6)$$

Beton dolgulu kompozit elemanlar için tasarım basınç dayanımı;

(a) Kompakt enkesitler için

$$P_{no} = P_p \quad (7)$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f_{ck} \left(A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (8)$$

C_2 katsayısı boru enkesitler için 0,95 alınmaktadır.

(b) Kompakt olmayan enkesitler için

$$P_{no} = P_p - \frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (P_p - P_y) \quad (9)$$

$$P_y = F_y A_s + 0,7 f_{ck} \left(A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (10)$$

Denklem 9'da geçen P_p büyüklüğü Denklem 8 ile hesaplanacaktır.

(c) Narin enkesitler için

$$P_{no} = F_{cr} A_s + 0,7 f_{ck} \left(A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (11)$$

$$F_{cr} = \frac{0,72 F_y}{\left[\left(\frac{D}{t} \right) \frac{F_y}{E_s} \right]^{0,2}} \quad (12)$$

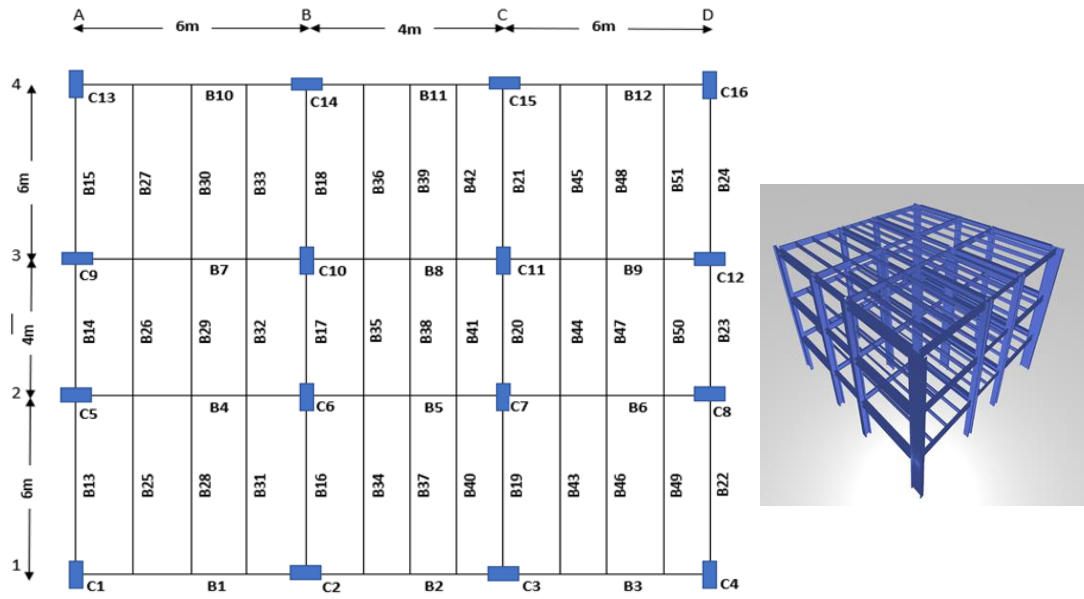
Boru ve kutu enkesitli tüm beton dolgulu kompozit elemanların etkin eğilme rijitliği Denklem 13-14'te verilen eşitlikler ile çözülmektedir.

$$(EI)_e = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_3 E_c I_c \quad (13)$$

$$C_3 = 0,45 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0,9 \quad (14)$$

3. SAYISAL ÖRNEKLER

Örnek problemlerin tasarımı American Institute of Steel Construction (AISC) yönetmeliğine göre, ETABS 2019 programı kullanılarak yapılmıştır [24], [25]. Ele alınan örnek yapılar Kütahya ilinin merkezinde bir alanda yapılacağı varsayılan hastane yapılarıdır. Tüm yapılar Şekil 4'te gösterilen aynı kat planına sahiptirler. Tüm yapılarda kat yükseklikleri 4 m olup, yapıların ana taşıyıcı kirişleri çelik kiriş, döşemeleri ise kompozit döşeme şeklinde seçilmiştir. Kat sayısı 3, 6, 9 ve 15 katlı olan 4 farklı yapı çelik kolonlu ve kompozit kolonlu olarak ayrı ayrı analiz edilmiştir.



Şekil 4. Kat planı ve örnek perspektif görüntüsü.

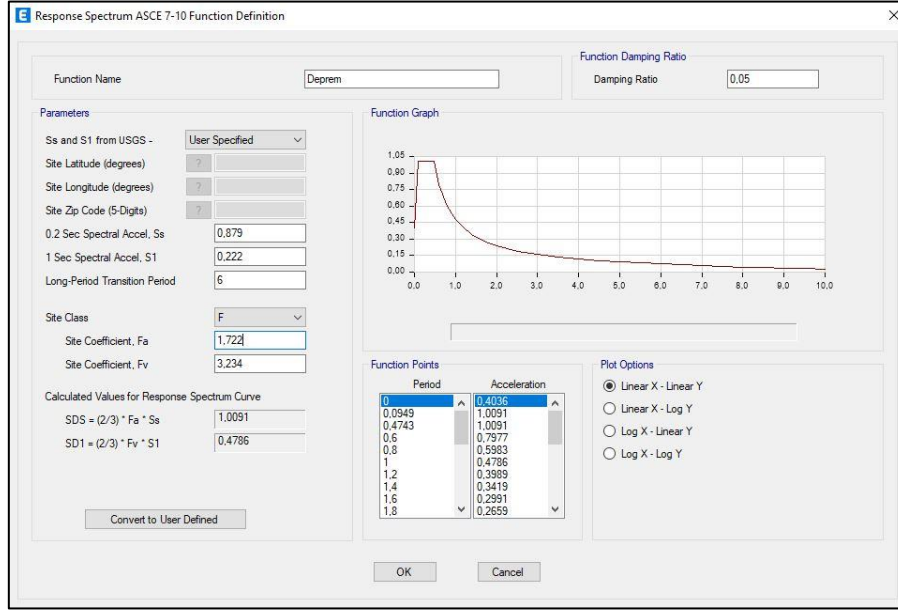
Analizlerde dikkate alınan zati, hareketli ve deprem yükleri ile bu yüklerden oluşturulan yük kombinasyonları ilgili yönetmeliklere uygun olarak hesaplanmıştır.

Hareketli yük hesabında, yapı hastane olarak düşünüldüğünden dolayı TS 498- Betonarme Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler Çizelge 7'de belirtildiği üzere yapı kat döşemelerinde hareketli yük 5 kN/m^2 , çatı katında ise hareketli yük $1,5 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaba katılmıştır [26].

Zati yüklerin hesabında TS ISO 9194-Yapıların Projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk standardında bulunan taşıyıcı olan veya olmayan elemanların yoğunlukları adlı ekten gerekli bilgiler alınıp hesaplamalar yapılmıştır. Duvar yükü 25 cm gaz beton için iç-dış sıva ile beraber $9,625 \text{ kN/m}^2$ ve döşeme yükü 2 cm mermer, 5 cm tesviye, 2 cm sıva ile $2,04 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır [27].

Deprem yükü ile ilgili olarak AFAD kurumunun Türkiye deprem tehlike haritalarından elde edilen raporu kullanılmıştır. Buna göre zemin sınıfı ve deprem yer hareketi düzeyi, seçilen bölgeyle ilgili

depremin periyoduna bağlı olarak ivme grafiği oluşturulmuş ve ETABS programına tanımlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Deprem hareketinin detayları.

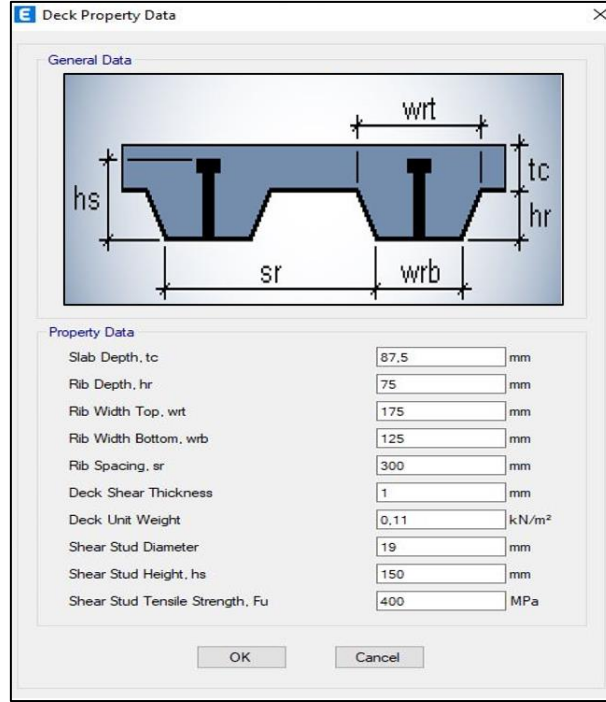
Gerekli yük kombinasyonları çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelikten alınmıştır [22]. Ayrıca taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında esas alınmak üzere, deprem etkisini içeren yük birleşimleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 4.4.4. maddesi gereğince düzenlenmiştir [28].

Ana taşıyıcı kirişler ve tali kirişler için çelik I profilleri seçilmiştir. Kompozit döşeme altında kullanılan tali kirişler y yönüne paralel olarak 6 m açıklıkta 1,5 m aralıklarla, 4 m açıklıkta ise 1 m aralıklarla olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4'te gösterilmiş olan kat planındaki kiriş numaralarına göre kiriş kesitleri Çizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1. Ana taşıyıcı ve tali kirişler.

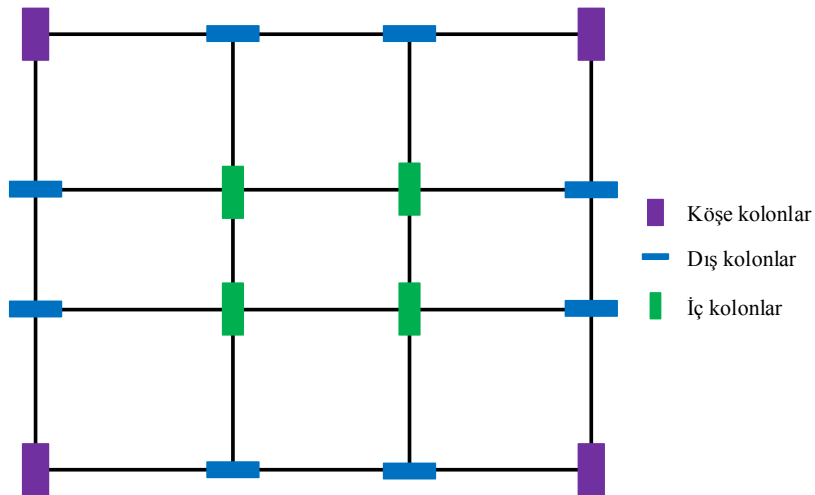
Kiriş Kesitleri	Kiriş Tipi	Kiriş No
W 10x68	Ana Taşıyıcı	17, 20
W 12x22	Ana Taşıyıcı	2, 5, 8, 11
W 12x96	Ana Taşıyıcı	14, 23
W 18x35	Ana Taşıyıcı	1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12
W 14x370	Ana Taşıyıcı	13, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 24
W 6x8,5	Tali	35, 38, 41
W 8x10	Tali	26, 29, 32, 44, 47, 50
W 10x12	Tali	34, 36, 37, 39, 40, 42
W 12x16	Tali	25, 27, 28, 30, 31, 33, 43, 45, 46, 48, 49, 51

Döşeme sacın en kesiti ve ETABS programındaki veri girişi Şekil 6'da gösterilmektedir [21], [24].



Şekil 6. Döşeme sacın en kesiti.

Örneklerde kolonlar her katta aynı kesite sahip olarak tasarlanmıştır. Ayrıca Şekil 7'de gösterildiği gibi köşe kolonlar, dış kolonlar ve iç kolonlar olmak üzere üç farklı grupta düzenlenmiştir.



Şekil 7. Kolon gruplarının kalıp planındaki konumları.

Şekil 4’te gösterilmiş olan kat planındaki kolon numaralarına göre kolon grupları Çizelge 2’de yer almaktadır.

Çizelge 2. Kolon grupları.

Kolon Kesitleri	Kolon No
Dış kolonlar	2, 3, 5, 8, 9, 12, 14, 15
İç kolonlar	6, 7, 10, 11
Köşe kolonlar	1, 4, 13, 16

Çelik kolonlar I profil olarak tasarlanmıştır. Kat sayısı farklı olan 4 ayrı problem için ETABS programından elde edilen her gruptaki kolon kesitleri Çizelge 3’te verilmektedir.

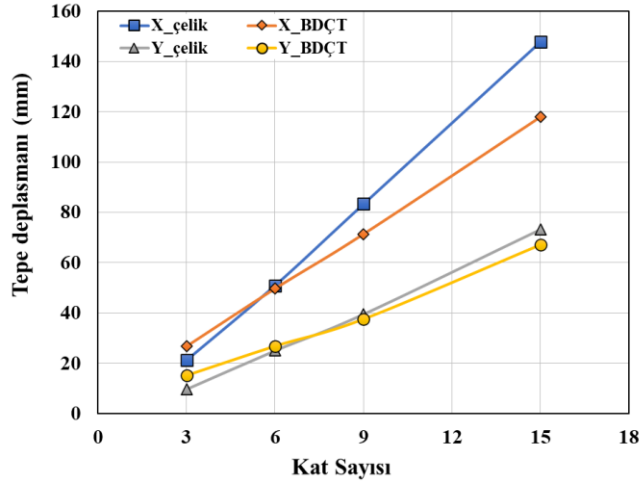
Analiz sonucunda kolonlarda hesaplanan kritik kuvvetleri taşıyabilecek çelik profiller tespit edilmiştir. Tespit edilen bu çelik kolon kesitlerine eşdeğer BDÇT kolonlar geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiştir. Yapılarda kullanılan kompozit kolonların kesit özellikleri Çizelge 3’te verilmektedir.

Çizelge 3. Yapılarda kullanılan çelik ve kompozit kolonların kesit özellikleri.

Kolon Kesitleri	Kat Sayısı	Çelik Kolon	Kompozit Kolon			
			D (mm)	t (mm)	f_{ck} (N/mm ²)	F_y (N/mm ²)
İç kolonlar	3	W 36x231	356	8	30	355
	6	W36x247	457	10	30	355
	9	W40x249	559	12	30	355
	15	W1000x438	635	14	30	355
Dış kolonlar	3	W 14x730	356	8	30	355
	6	W14x730	432	10	30	355
	9	W14x730	483	11	30	355
	15	W360x1086	610	14	30	355
Köşe kolonlar	3	W 40x183	356	8	30	355
	6	W33x221	356	8	30	355
	9	W40x235	406	9	30	355
	15	W1000x371	457	10	30	355

Çizelge 3’te geçen t çelik boru profilin et kalınlığını, D çelik boru profilin çapını, f_{ck} beton basınç dayanımını ve F_y çelik akma dayanımını göstermektedir.

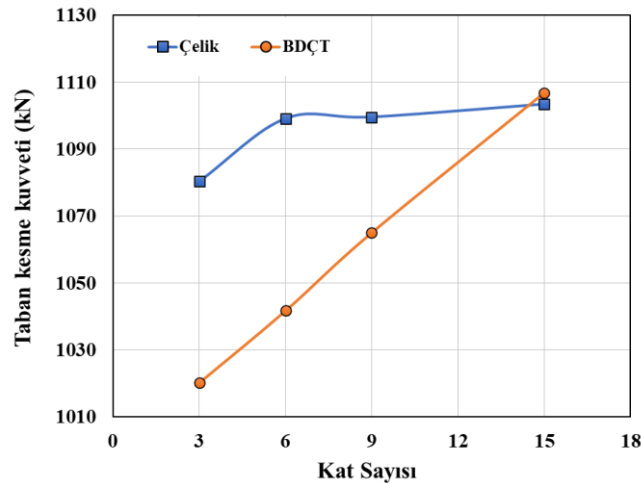
ETABS programı kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen yapı kat deplasmanları X yönünde ve Y yönünde farklıdır. Yapılarda oluşan tepe deplasmanları Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Yapılarda oluşan tepe deplasmanları.

Şekil 8'deki gibi, BDÇT kolonlu ve çelik kolonlu yapılara ait tepe deplasmanları incelendiğinde bina kat sayısının artması ile birlikte tepe deplasmanlarının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, kompozit kolonun eğilme rijitliğinin çelik kolonun eğilme rijitliğine göre daha fazla olmasıdır. Yüksekliği 3 katlı olan yapılarda BDÇT kolonlu yapılardaki tepe deplasmanları çelik kolonlu yapılardaki tepe deplasmanlarından daha fazladır. Ancak yüksekliği 6 kattan fazla olan yapılarda BDÇT kolonlu yapıların tepe deplasmanları çelik kolonlu yapılarınkine göre daha düşük hesaplanmıştır.

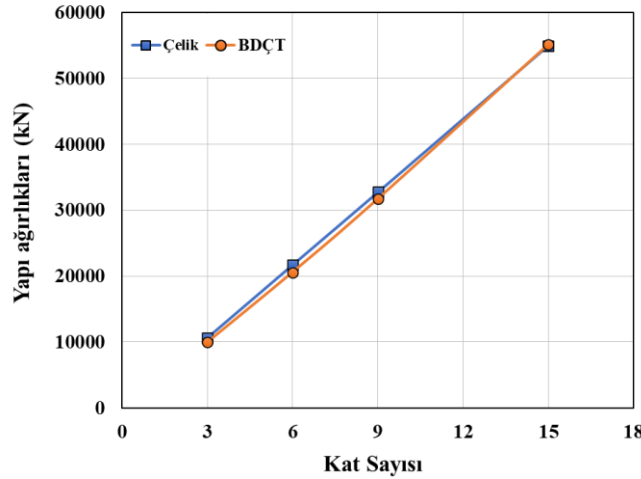
Tasarımı yapılan yapıların planda simetrik olmasından dolayı x ve y yönlerinde oluşan taban kesme kuvvetleri birbirine eşit hesaplanmıştır. Çelik kolonlu ve BDÇT kolonlu yapılara ait analizler sonucunda elde edilen kombinasyonlara göre x ve y yönlerine ait mutlak değerce en büyük taban kesme kuvvetleri Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Yapılarda oluşan taban kesme kuvvetleri.

Şekil 9'dan görüleceği gibi BDÇT kolonlu yapılardaki taban kesme kuvvetleri çelik kolonlu yapılardakilerden daha az hesaplanmıştır. Aradaki fark yapı yüksekliği arttıkça azalmaktadır. Taban kesme kuvveti yapının ilgili doğrultudaki doğal titreşim periyoduna, ağırlığına, etkin yer ivme katsayısına, yapı önem katsayısına, spektrum katsayısına ve deprem yükü azaltma katsayısına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada incelenen çelik kolonlu ve BDÇT kolonlu yapıların kat planları aynı olmasına rağmen ağırlıkları farklıdır. Bu nedenle, BDÇT kolonlu 3 katlı yapının taban kesme kuvveti çelik yapının taban kesme kuvvetine göre %5.6 daha az iken bu yüzde kat sayısı arttıkça azalarak 6 katlı yapıda %5.2 ve 9 katlı yapıda %3.1 olarak hesaplanmıştır. BDÇT kolonlu 15 katlı yapının taban kesme kuvveti ise çelik yapının taban kesme kuvvetine göre %0.3 daha fazla olarak hesaplanmıştır.

TBDY 2018'e göre hareketli yük katılım katsayısı 0,3 kullanılarak hesaplanan yapıların toplam ağırlıkları (G+0,3Q) Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. Yapılara ait toplam ağırlıklar.

Şekil 10'da görüldüğü gibi, yapıların toplam ağırlıklarının değişiminde taban kesme kuvvetlerine benzer bir durum oluşmuştur. Kompozit kolonlar içi beton doldurulmuş çelik tüp kolonlar olduğu için ağırlık hesabında hem beton hem de çelik ağırlıkları etkili olmuştur. Ayrıca, çelik tüplerin çapları ve et kalınlıkları ağırlık hesabında etkili bir parametredir. Bu nedenle, BDÇT kolonlu 3 katlı yapı ağırlığı çelik yapı ağırlığına göre %6.8 daha az iken bu yüzde kat sayısı arttıkça azalarak 6 katlı yapıda %5.3 ve 9 katlı yapıda %3.2 olarak hesaplanmıştır. BDÇT kolonlu 15 katlı yapı ağırlığı ise çelik yapı ağırlığına göre %0.3 daha fazla olarak hesaplanmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada aynı kat planına sahip çelik kolonlu ve kompozit kolonlu yapılar analiz edilmiştir. Yapılarda döşemeler, ana kirişler ve tali kirişler aynı alınarak kolon türlerinin değişiminin yapılarda oluşan tepe deplasmanlarına, taban kesme kuvvetlerine ve yapılara ait toplam ağırlıklara etkisi incelenmiştir. Ayrıca yapı yüksekliği artırılarak 3, 6, 9 ve 15 katlı yapılar ele alınmış ve kat sayısının

değişimi ile çelik ve kompozit kolonlu yapıların davranışları ortaya konulmuştur. İncelenen kompozit kolonlar beton dolgululu çelik tüp kesitli kolonlardır.

Yapılarda oluşan tepe deplasmanları kat sayısı arttıkça artmaktadır. BDÇT kolonlu yapılarda çelik kolonlu yapılara göre daha düşük tepe deplasmanları hesaplanmıştır. Eğilme rijitliğinin bu davranışa etkisi vardır. İncelenen yapıların kat planları x ve y yönlerinde simetrik olarak seçilmiştir. Bu sebepten x ve y yönlerinde hesaplanan taban kesme kuvvetleri her iki yönde de birbirlerine eşittir. Çelik kolonlu ve kompozit kolonlu yapılarda oluşan taban kesme kuvvetlerinin mutlak değerce karşılaştırılmasında çelik kolonlu yapılarda daha fazla olduğu görülmüştür. Yapıların ağırlıkları ile ilgili yapılan kıyaslamada malzeme özelliklerinin yanında kesit boyutları da etkilidir. Çelik kolon için sadece çelik malzemesi dikkate alınırken, BDÇT kolon için beton malzemesi de hesaba katılmıştır. BDÇT kolonlarda çap ve et kalınlıkları ağırlık hesabında etkili olmuştur. Ağırlık ile ilgili karşılaştırma sonucunda da kompozit kolonların çelik kolonlu yapılara göre daha üstün olduğu görülmüştür. Yapı maliyeti seçilen kesitlerden oluşan yapının ağırlığı ile doğrudan ilişkilidir. Daha hafif olan yapının maliyeti de daha az olacaktır.

Bu çalışmada incelenmiş olan 3, 6, 9 ve 15 katlı yapıların kıyaslanmalarında da görüldüğü üzere özellikle daha yüksek yapılarda kompozit kolonlu yapıların deplasmanlar bakımından ve maliyet açısından çelik kolonlu yapılardan daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Kat sayısı arttıkça maliyet farkının da artarak devam edeceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Han, L.H., Li, W. and Bjorhovde, R., (2014), Developments and Advanced Applications of Concrete-Filled Steel Tubular (CFST) Structures: Members, Journal of Constructional Steel Research, 100, 211–228.
- [2] Schneider, S.P., (1998), Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes, Journal of Structural Engineering, 124(10), 1125–1138.
- [3] Sakino, K., Nakahara, H., Morino, S., and Nishiyama, I., (2004), Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns, Journal of Structural Engineering, 130(2), 180-188.
- [4] Giakoumelis, G., and Lam, D., (2004), Axial Capacity of Circular Concrete-Filled Tube Columns, Journal of Constructional Steel Research, 60(7), 1049-1068.
- [5] Hu, H.T., Huang, C.S., and Chen, Z.L., (2005), Finite Element Analysis of CFT Columns Subjected to an Axial Compressive Force and Bending Moment in Combination, Journal of Constructional Steel Research, 61(12), 1692–1712.
- [6] Damar, M. (2006). Kompozit Yapılarda Taşıma Gücü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 75s.
- [7] Patidar, A.K., (2022), Behaviour of Concrete Filled Rectangular Steel Tube Column, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering ,4(2), 46–52.

- [8] Evirgen, B., Tuncan, A., and Taskin, K., (2014), Structural Behavior of Concrete Filled Steel Tubular Sections (CFT/CFSt) Under Axial Compression, *Thin-Walled Structures*, 80, 46–56.
- [9] Essopjee, Y., and Dundu, M., (2015), Performance of Concrete-Filled Double-Skin Circular Tubes in Compression, *Composite Structures*, 133, 1276–1283.
- [10] İnce, G., İnce, H.H., ve Kaya, F., (2015), Kompozit Yapı Sistemlerinin İncelenmesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(1), 43–47.
- [11] Amini, H. (2018). Kompozit Yapıların Dinamik Davranışlarının Geleneksel Yapılar ile Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 75s.
- [12] Abdulmaged, M.T., and Göğüş, M.T., (2018), Parametric Study for Performance Evaluation of Concrete Filled Steel Composite Circular Members According to Design Codes, *European Journal of Science and Technology*, özel sayı, 62–64.
- [13] Han, L.H., Lam, D., and Nethercot, D.A. (2019). *Design Guide for Concrete-Filled Double Skin Steel Tubular Structures* (1st edition). Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group.
- [14] Bölükbaşı, E. (2020). Farklı Kompozit Kolon Türlerinin Eurocode 4'e göre Tasarımlarının Örneklerle Açıklanması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, 116s.
- [15] Uslu, F., Taşkın, K., and Saraçoğlu, M.H., (2021), Strength and Ductility of Concrete Encased Composite Columns Under Axial Force and Moment, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 333–344.
- [16] Taşkın, K., and Uslu, F., (2021), Çelik Gömmeli Kompozit Kolonların Sonlu Elemanlar Analizi ile Sayısal Karşılaştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(3), 81–95.
- [17] İpek, S., and Güneyisi, E.M., (2021), Comparison of The Predictability of the Ultimate Axial Strength of Elliptical Cfst Columns Using Existing Square and Circular Section-Based Code Formulae, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(1), 12–27.
- [18] Manikandan, K.B., and Umarani, C., (2021), Understandings on the Performance of Concrete-Filled Steel Tube with Different Kinds of Concrete Infill, *Advances in Civil Engineering*.
- [19] Jia, Z.L., Shi, Y.L., Wang, W., and Ji, S.H., (2022), Compression-Bending Behaviour of Steel-Reinforced Concrete-Filled Circular Steel Tubular Columns with Preload, *Structures*, 36, 892–911.
- [20] Wang, X., Fan, F., and Lai, J., (2021), Strength Behavior of Circular Concrete-Filled Steel Tube Stub Columns Under Axial Compression: A review, *Construction and Building Materials*, 322.
- [21] Baş, E. (2022). Çelik Kolonlu ve İçi Beton Doldurulmuş Çelik Tüp Kompozit Kolonlu Yapıların Karşılaştırmalı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya, 88s.

- [22] ÇYTHYE, (2018). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları, Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- [23] Demirli, N., and İnan, M.Y., (2003), DELPHI 7., Ankara: Prestige Education Center.
- [24] ETABS, (2019). CSI Analysis reference manual for ETABS, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [25] AISC (2016). American Institute of Steel Construction, Specification for Structural Steel Buildings, ANSI / AISC 360-16, American Institute of Steel Construction.
- [26] TS498, (1998). Betonarme Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler, Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [27] TS ISO 9194, (1997). Yapıların Projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk, Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- [28] TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara: İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.

SEMBOLLER

A_c	: Betonun enkesit alanı
A_g	: Kompozit elemanın toplam enkesit alanı
A_s	: Çeliğin enkesit alanı
A_{sr}	: Boyuna donatı alanı
D	: Çelik tüp elemanının dış çapı
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Çeliğin elastisite modülü
E_{sr}	: Beton çeliği elastisite modülü
f_{ck}	: Betonun dayanımı
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
F_y	: Çeliğin akma dayanımı
F_{ysr}	: Beton çeliği karakteristik akma gerilmesi
I_c	: Betonun atalet momenti
I_s	: Çelik kesitin atalet momenti
I_{sr}	: Kompozit enkesitin elastik tarafsız eksenine göre donatı çubuklarının atalet momenti
L_c	: Eleman burkulma boyu
P_e	: Elastik burkulma yükü
P_n	: Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı
P_{no}	: Eksenel yük etkisindeki çift simetri eksenli kompozit eleman enkesitinin basınç kuvveti dayanımı
P_p	: Karakteristik ezilme dayanımı
P_y	: Akma sınır durumunda eksenel kuvvet dayanımı
t	: Çelik tüp elemanının et kalınlığı
λ	: Kutu veya boru enkesitin genişlik (çap) / kalınlık oranı
λ_p	: Kompakt elemanlar için narinlik sınır değeri

λ_r : Kompakt olmayan eleman için narinlik sınır değeri