

## EKSENEL YÜK ETKİSİ ALTINDA İNCE CİDARLI ÇELİK KOLONLARIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

### EXPERİMENTAL INVESTIGATION OF THIN-WALLED STEEL COLUMNS UNDER AXIAL LOAD

Abdulkerim İLGÜN<sup>1</sup>, Hüsnü CAN<sup>2</sup> Berna BAYRAM<sup>3</sup>, Semih ARIBAŞ<sup>4</sup>  
Ahmad Javid ZIA<sup>5</sup>, Sadrettin SANCIOĞLU<sup>6</sup>

#### ÖZET

*Bu çalışmada daire kesitli çelik kolonların, farklı dolgu malzemeleriyle eksenel yük altındaki davranışı incelenmiştir. Çalışmada 60,3 mm çapında, 3 mm cidar kalınlığında ve 750 mm uzunluğunda S235JR kalitesinde 12 adet daire kesitli çelik kolon kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak 4 farklı malzeme (beton [C30], ince agrega [1-4 mm], iri agrega [4-31.5 mm], XPS) kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak iri ve ince agrega elek analizine göre elde edilmiştir. Çalışmada öncelikle iki adet içi boş kolonun eksenel yük altındaki burkulma verileri elde edilmiştir. Sonra her bir dolgu malzemesi için ikişer adet kolonun, eksenel yük altındaki burkulma deneyleri yapılmıştır. Dolgu malzemelerinin sıkıştırılma işlemi vibratör aracılığı ile yapılmış, sıkıştırma işlemi süresi her bir malzeme için 5-15 sn arası tutulmuştur. Toplamda on iki adet numune test edilmiştir. Elde edilen tüm veriler karşılaştırıldığında XPS dolgu malzemesinin daire kesitli çelik kolonun burkulma yüküne ve burkulma süresine etkisinin olmadığı görülmüştür. Diğer dolgu malzemelerinin, daire kesitli çelik kolonun burkulma yüküne etkisinin olmadığı, burkulma süresini geciktirdiği gözlemlenmiştir.*

Anahtar Kelimeler: Burkulma, Eksenel Yük, CFST Column

#### ABSTRACT

*In this study, the behavior of circular section steel columns against buckling under axial load with different filling materials was investigated. In the study, steel column of 60.3 mm in diameter, 3 mm wall thickness and 750 mm in length and twelve circle pieces in the quality of S235JR were used. Five different materials (concrete [C30], recycled fine aggregate [1-4 mm], recycled coarse aggregate [4-16 mm], polyurethane) were used as filling material. The coarse and fine aggregate to be used as filling material was recycled aggregate and was used after it was classified according to the sieve analysis. In the study, first, buckling data under axial load of two hollow columns were obtained. Then, for each filling material, two columns were subjected to buckling tests under axial load. Compression of the filling materials was done by means of vibrator, and the duration of compression was kept between 5-15 seconds for each material. A total of twelve samples have been tested. It was observed that the other fillers had an effect on the buckling load of the circular steel column and delayed while buckling.*

Keywords: Buckling, Axial Loads, CFST Column

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya, kerim.ilgun@karatay.edu.tr

<sup>2</sup> Prof. Dr., KTO Karatay Üniversitesi, Konya, husnu.can@karatay.edu.tr

<sup>3</sup> İnş. Müh., bernaabayrammm@gmail.com

<sup>4</sup> İnş. Müh., semiharibas@gmail.com

<sup>5</sup> Arş. Gr., KTO Karatay Üniversitesi, Konya, javid.zia@karatay.edu.tr

<sup>6</sup> Yrd. Ast., KTO Karatay Üniversitesi, Konya, sadrettin.sancioğlu@karatay.edu.tr

## GİRİŞ

Son yıllarda beton dolgulu çelik kullanımı hızlıca yayılmıştır. Yük taşıma kapasitelerindeki artışın yanı sıra hızlı inşası nedeniyle ekonomide tasarruf sağlamaktadır. Beton dolgulu çelik borunun bu kadar yaygınlaşmasının diğer sebepleri ise yüksek süneklik düzeyi ve yüksek enerji sönümlenme kapasitesine sahip olmasıdır. Bu özellikleri nedeniyle çok sayıda mühendislik yapısında, dairesel, dikdörtgen ve düzgün çokgen kesitli beton dolgulu çelik boruların (CFST) sıkça kullanıldığı bilinmektedir.

Genellikle, gökdelen ve çok katlı yapılarda kolon ve kiriş olarak, düşük yüksekliklerdeki endüstriyel yapılarda kiriş olarak kullanılmaktadır. CFST'nin avantajı, ince cidarlı çelik boruların burkulmasının beton dolgusu ile engellenmesi veya geciktirilmesidir. Deneysel çalışmalarda ise farklı dolgu malzemeleriyle, çelik borunun burkulma modundaki ve süresindeki değişimler gözlenerek daha güvenilir ve ekonomik bir çözüm aranmaktadır. CFST, kolon olarak kullanıldığında kısa ve narin kolon sınıfına girer. Kısa kolonlar küçük 'Boy/Çap' oranlarına sahiptir. Bu tarz kolonların davranışları incelendiğinde kesit ve malzeme özellikleri belirleyici unsurlardır. Ancak narin kolonlar kısa kolonların aksine yüksek 'Boy/Çap' oranları ile elastik veya elastik olmayan şekilde burkularak taşıma kapasitelerine ulaşır Güneysi ve Ayşegül (2015). Geçmişte bu gibi beton dolgulu kolonlar üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Fakat bu çalışmalarda çoğunlukla dolgu malzemesi olarak beton kullanılmakta ve kesitin mukavemeti test edilmektedir. Beton dolgulu kolonlar üzerine yapılan eski çalışmalarda genellikle dairesel kesitli çeliğin beton çekirdeğine yüksek derecede mukavemet artışı sağlaması ve dolgu betonunu etkili bir şekilde sınırlandırabilmesi nedeniyle çelik borular tercih edilmiştir. Mevcut deneysel çalışmalar incelendiğinde beton dolgulu kolonun davranışını ve kapasitesini etkileyen bazı parametreler kullanılmıştır. Geometrik parametreler olarak narinlik oranı, D/t oranı gibi parametreler kullanılırken mekanik parametreler olarak beton ve çeliğin dayanımları, yükleme ve sınır şartları ve betonun sargılama derecesi kullanılmıştır Zeghiche ve Chaoui (2005). CFST kolonlarının yüksek taşıma kapasitelerine sahip olması nedeniyle özellikle yüksek sismik dalga periyotlarına sahip bölgelerde kullanılır. Bu sebepten ötürü birçok araştırmacı CFST kolonunu sismik dalgalar etkisinde deneysel çalışmalar yapmıştır. (Yin vd., 2012) C30 ve C90 beton dolgu kullanılarak oluşturulan 12 adet CFST kolona eksenel yük etkisi verilmiş, dairesel, kare ve dikdörtgen gibi kesitlerin kolon kapasitesine etkisi (Ibañez, Hernández-Figueirido, & Piquer, 2018) tarafından araştırılmıştır. Zhu ve Chan (2018) tarafından yapılan çalışmada silindirik basınç dayanımı 38 MPa ile 112 MPa arasında değişen 21 adet CFST kolonun tek eksenli basınç altında sekizgen, dairesel ve kare gibi kesitlerin yük taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. (Lu vd., 2015) ise farklı beton mukavemeti, farklı boru kalınlıkları ve farklı oranda çelik elyaf katkısı kullanarak CFST kolonların davranışını araştırmayı amaçlamıştır.

Bu çalışmada ise deneysel olarak dairesel kesitli CFST kolonların C30 beton, atık agregası ile üretilen C30 beton, 1-4 mm atık agregası, 4-16 mm atık agregası, poliüretan ve demir tozu gibi dolgu kullanılarak, eksenel yük etkisi altındaki burkulma davranışı incelenmiş ve burkulma etkisine karşı daha dayanıklı CFST kolonların daha düşük maliyetlerle imal edilebilmesi araştırılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler ile ülkemizde yürürlükte olan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik gereğince boş ve beton dolgulu numuneler için yapılan analiz sonuçları kıyaslanmıştır.

## MATERYAL

### Numuneler

Deneyde iki adet boş, iki adet atık agregalar ile üretilmiş C30 beton dolgulu, iki adet normal agregalardan üretilmiş C30 beton dolgulu, iki adet poliüretan dolgulu, iki adet 1-4 mm atık agregası dolgulu, iki adet 4-16 mm atık agregası dolgulu ve bir adet demir tozu dolgulu olmak üzere toplamda on üç adet dairesel kesitli çelik boru eksenel yük etkisi altında test edilmiştir. Tüm numuneler aynı uzunlukta ve aynı cidar kalınlığına sahiptir. Tüm numunelerin özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Tabloda C harfi betonu, D harfi numune dış çapını, d harfi numune iç çapını, t harfi

çidar kalınlığını, L harfi numune boyunu,  $f_{cu}$  beton numunenin karakteristik basınç dayanımını,  $f_y$  ise dairesel kesitli çelik borunun karakteristik akma dayanımını temsil eder.

Tablo 1. Numune Özellikleri

Numune	D(mm)	d(mm)	t(mm)	L(mm)	$f_{cu}$ (Mpa)	$f_y$ (Mpa)
E; P; S; L	60,3	57,3	3	650	-	235
RC; NC	60,3	57,3	3	650	30	235

E: Dolgusuz numuneler

RC: Geri dönüştürülmüş agregalardan elde edilen betonun doldurulduğu numuneler

NC: Normal agregalardan elde edilen betonun doldurulduğu numuneler

P: Poliüretan dolgulu numuneler

S: İnce agregası (1-4 mm) dolgulu numuneler

L: İri agregası (4-16 mm) dolgulu numuneler

### Malzeme Özellikleri

#### Beton

Kullanılan betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı 30 MPa, karakteristik aksel çekme dayanımı 1.9 MPa ve 28 günlük elastisite modülü 32000 MPa'dır. Beton karışımı hazırlanırken CEM I 42,5 R - Portland Çimentosu kullanılmıştır. Atık agregalar eski beton numunelerinden elde edilmiştir. Beton karışımı içerisinde akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Hazırlanan beton karışımı slump deneyine tabii tutulmuş ve her iki agregası çeşidi ile oluşturulan beton karışımında ölçülen çökme değeri 70 mm olarak kaydedilmiştir. Tablo 2' de beton karışımı miktarları verilmiştir.

Tablo 2. Beton Karışım Oranları

Numune İsimleri	Beton Dayanımı (MPa)	Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	İri Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	İnce Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	Süper akışkanlaştırıcı (kg/m <sup>3</sup> )
RC1	30	438	210	863	14	3.34
RC2	30	438	210	863	14	3.34
NC1	30	438	210	863	14	3.34
NC2	30	438	210	863	14	3.34

#### Çelik

Kullanılan dairesel dikişli çelik borunun malzeme kalitesi S235JR olup karakteristik akma dayanımı 235 MPa ve karakteristik çekme dayanımı 360 MPa'dır.

#### Agregası

Normal agregalar elek analizi ile 1-4 mm ve 4-16 mm çaplara sahip dane boyutlarıncı ayrıştırılarak deney esnasında kullanıma hazır hale getirilmiştir. Atık agregalar ise eski beton numuneleri çeneli kırıcı kullanılarak 16 mm ve daha küçük parçalara ayrılmıştır. Bu parçaların sınıflandırılması için parçalanmış malzemeler elek analizi deneyine tabii tutulmuş ve numune boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Elek analizi deneyine başlanmadan önce bölgeleme yardımı ile analiz için bir miktar numune alınmış ve numuneler etüvde kurutulup ağırlığı ölçüldükten sonra elek setine yerleştirilmiş ve sarsma tablasında bir süre bekletilmiş ve ayrışma işlemi tamamlanmıştır. Beton karışımı ve dolgu olarak kullanılacak olan dane çapları 1-4 mm ve 4-16 mm olduğundan bu çaplara sahip malzemeler seçilmiştir.

Tablo 3. Elek Analizi

Elek Açıklığı (mm)	Kümülatif Geçen (%)	Kümülatif Kalan (%)
32	100	0
16	95.7	4.3
8	71.5	28.5
4	68.3	31.7
2	47.4	52.6
1	40.4	59.6
0.5	22.7	77.3
0.25	15.7	84.3
<b>İncelik Modülü</b>		<b>3.38</b>

Agregaların su emme ve birim ağırlık değerleri TS 3526'ya göre hesaplanmıştır. İnce agregaların (1-4 mm) ortalama su emme değerleri %10,64 olup, iri agregaların (4-16 mm) ortalama su emme miktarı %4,62'dür. İnce agregaların özgül ağırlığı 2,2 gr/cm<sup>3</sup> ve iri agregaların özgül ağırlığı 2 gr/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### *Poliüretan*

Kullanılan poliüretanın, malzeme toplam kalınlığının %10'u kadar bir deformasyon oluşuncaya kadar direnç gösterdiği basınç dayanımı 0.516 MPa' dır. Elastisite modülü ise 3-5 MPa arasındadır.

## METOD

### Numunelerin Hazırlanması

Test esnasında kullanılacak olan dairesel kesitli çelik borular mesnetten mesnete 650 mm'dir. Çelik boruların iç kısımları döküme hazır hale gelmesi için aşındırıcılar yardımıyla temizlenmiştir. Borular hazır hale getirildikten sonra her bir boru numunesinin altına 70\*70 mm boyutlarında ve 2 mm kalınlığında çelik plakalar merkezli olarak kaynatılmış ve dolum için hazır hale getirilmiştir.

Çelik boru numuneler hazırlandıktan sonra dolgu işlemine geçilmiştir. Dolgu işlemi esnasında beton ve agregalar huni yardımıyla borular içine doldurulmuştur. Boşluksuz ve homojen bir dolum olması için borular 15 saniye süresince vibrasyon etkisine tabii tutulmuştur. Poliüretan dolumunda ise yine boşluksuz bir dolum olması için katmanlar halinde dolum yapılmıştır.

### Deneysel Çalışma

Test için hazırlanan düzeneğin üst kısmına eksenel yük oluşturması için bir hidrolik kriko eklenmiştir. Bu hidrolik krikonun uç kısmına yük değerlerini gözlemleyebilmek adına bir data logger bağlanmıştır. Data logger'ın altına ise test numuneleri olan boruları tutacak şekilde çelik plaka içine soket yapılmıştır. Yine aynı şekilde test numunelerini aşağıdan taşıyacak olan sehpa düzeneğinin üst kısmına bir plaka yerleştirilmiş ve çelik borunun girmesi için bir soket yapılmıştır. Bu soketler sayesinde numune dik bir şekilde, iki ucundan mafsallı olarak mesnetlendirilmiştir. Dik düzlemde

deney düzeneğine yerleştirilen çelik boruların aksel yük etkisi altındaki yatay deplasmanlarını gözlemek ve ölçmek amacıyla boru numunelerinin dış duvarlarına tam temas edecek şekilde "LVDT" yerleştirilmiştir. Bu cihazdan beş adet kullanılmış ve kartezyen koordinat sisteminin +x, -x, +y, -y, -z yönlerine göre konumlandırılmıştır.

Eksenel yük uygulanmaya başlandığında her adımda yük durumu kayıt altına alınmıştır. Ayrıca test başlangıcından itibaren, numune burkulma deformasyonuna uğrayana dek kronometre ile süre tutularak burkulma süreleri de ölçülmüş ve tam burkulma anındaki yük ve süre bilgileri kayıt altına alınmıştır.



Şekil 1. Deney Fotoğrafları

### Analitik Çalışma

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik uyarınca Bölüm 8’de verilen hesap adımları uygulanarak boş numuneler için karakteristik basınç kuvveti dayanımı Denklem 1 ‘de belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad [1]$$

Eşitlikte verilen  $F_{cr}$  kritik burkulma gerilmesini ve  $A_g$  kayıpsız en kesit alanını ifade etmektedir. İçerisinde beton dolgu bulunan kompozit numuneler ise yine aynı yönetmelik kapsamında Bölüm 12.3’de belirtilen hesap adımları uygulanarak beton dolgulu kompozit numuneler için kullanılan aksel kuvvet altındaki karakteristik dayanımı Denklem 2’de belirtildiği üzere hesaplanmıştır.

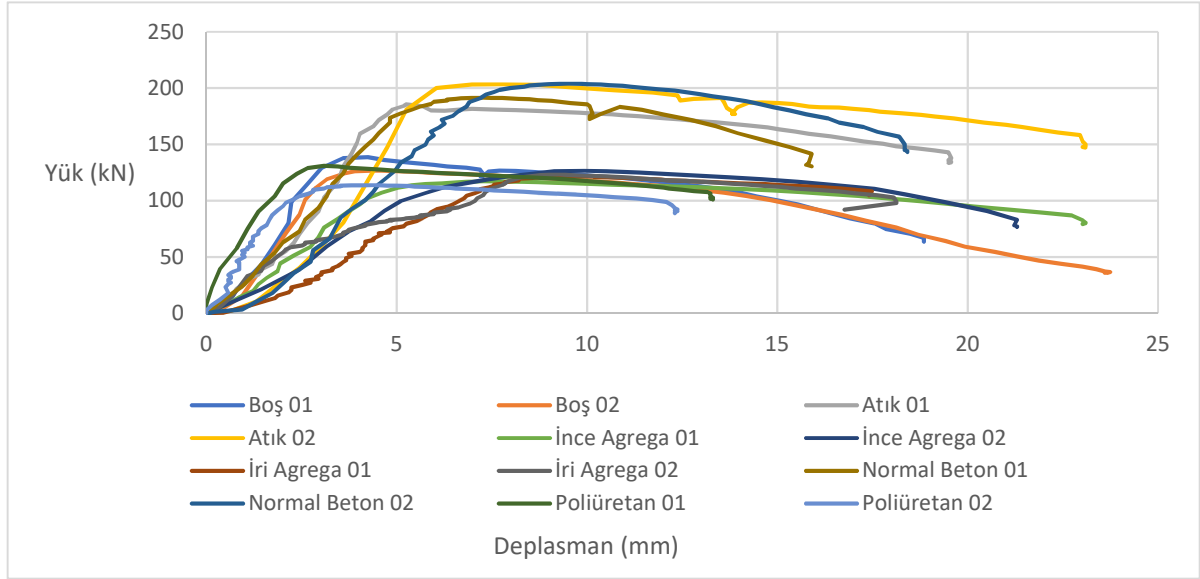
$$P_p = F_y A_s + C_2 f_{ck} (A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c}) \quad [2]$$

Eşitlikte verilen  $F_y$  yapısal çeliğin karakteristik akma dayanımını,  $A_s$  yapısal çeliğin çekirdek en kesit alanını,  $C_2$  boru ve kutu enkesitli elemanlar için tanımlanan burulma sabitini (yönetmelik uyarınca boru enkesitler için  $C_2=0.95$  alınmıştır),  $f_{ck}$  betonun karakteristik basınç dayanımını,  $A_c$  beton enkesit alanını,  $A_{sr}$  boyuna donatı alanını,  $E_{sr}$  beton çeliğinin elastisite modülünü ve  $E_c$  betonun elastisite modülünü tanımlamaktadır.

### SONUÇ

Yapılan deney sonucunda elde edilen yük deplasman grafiğine göre normal beton ile doldurulmuş çelik boru ve atık agregadan üretilmiş betonla doldurulmuş çelik borunun, içi boş çelik boruya göre taşıdığı aksel kuvvetin daha fazla olduğu görülmüştür. Normal betonla doldurulmuş çelik boruyla, atık agregayla doldurulmuş çelik boru kıyaslandığında normal betonla doldurulmuş çelik borunun daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. İnce agregaya, iri agregaya ve poliüretanla doldurulmuş çelik boru, içi boş çelik boruyla kıyaslandığında aksel yük taşımasının değişmediği görülmüştür. Deneysel sonuçlar, teorik sonuçlarla uyumludur.

Bu çalışma, daha fazla sayıda numuneye, daha farklı dolgu malzemeleriyle doldurularak ve farklı kesitli çelik borularla denenerek kapsamı genişletilmelidir.



Grafik 1. Yük – Deplasman Eğrisi

## KAYNAKLAR

- Güneyisi, E. M., & Ayşegül, G. (2015). Eksenel Yük Etkisindeki Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Beton Dolgulu Kompozit Kolonların Taşıma Kapasitelerinin Modellenmesi, 203–214.
- Ibañez, C., Hernández-Figueirido, D., & Piquer, A. (2018). Shape effect on axially loaded high strength CFST stub columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 147, 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.04.005>
- Lu, Y., Li, N., Li, S., & Liang, H. (2015). Behavior of steel fiber reinforced concrete-filled steel tube columns under axial compression. *Construction and Building Materials*, 95, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.114>
- Yin, F. X., Zhang, J. T., & Xu, P. B. (2012). Summary of Research on Concrete Filled Steel Tubular (CFST) Columns. *Advanced Materials Research*, 594–597, 891–895. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.594-597.891>
- Zeghiche, J., & Chaoui, K. (2005). An experimental behaviour of concrete-filled steel tubular columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 61(1), 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2004.06.006>
- Zhu, J. Y., & Chan, T. M. (2018). Experimental investigation on octagonal concrete filled steel stub columns under uniaxial compression. *Journal of Constructional Steel Research*, 147, 457–467. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.04.030>