

## STENTLİ KOMPOZİT KİRİŞLERİN EĞİLME ETKİSİNDE DENEYSEL İNCELENMESİ

Abdulkerim İLGÜN<sup>1</sup>, Berna BAYRAM<sup>2</sup>, Sadrettin SANCIOĞLU<sup>3</sup>

### ÖZET

*Bu çalışmada kapsamında beton dolgulu çelik kirişlere stent eklenerek eğilme etsi altındaki davranışı incelenmiştir. Çalışmada 114,3x3 mm dairesel kesitli 7 adet profil, 90x90 mm kare kesitli 8 adet profil ve 80x100 mm dikdörtgen kesitli 8 adet profil olmak üzere toplam 23 adet kiriş numunesi test edilmiştir. Profillerin cidar kalınlıkları 3 mm olup yapısal çelik sınıfı S235 seçilmiştir. Dolgu betonu olarak 28 günlük silindirik basınç dayanımı 40 MPa olan beton sınıfı seçilmiştir. Stent elemanı olarak kirişlere 4 köşelerinden 10 mm lik boyuna donatı eklenmiştir. Donatılar arası etriye sıklığına göre kirişler 4 gruba ayrılmıştır. Deneyde hazırlanan numuneler 4 noktadan eğilme yüküne maruz bırakılmıştır. Deney esnasında kirişlerde meydana gelebilecek deplasmanların ölçülmesi için LVDT'ler kullanılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler ile moment – orta deplasman eğrileri oluşturulmuş ve kirişlerin eğilme momenti kapasiteleri kıyaslanmıştır.*  
Anahtar Kelimeler: Eğilme, CFST Beam, Stent

### ABSTRACT

*In this study, the behavior of concrete-filled steel beams with stents was investigated under bending. In the study, a total of 23 beam specimens were tested, including 7 profiles with a circular cross section of 114.3x3 mm, 8 profiles with a square section of 90x90 mm and 8 profiles with a rectangular cross section of 80x100 mm. The wall thickness of the profiles is 3 mm and the structural steel class S235 has been chosen. Concrete class with a cylindrical compressive strength of 40 MPa for 28 days was chosen as the filler concrete. As a stent element, 10 mm longitudinal reinforcement was added to the beams from their 4 corners. The beams were divided into 4 groups according to the frequency of stirrups between the reinforcements. The samples prepared in the experiment were subjected to bending load from 4 points. LVDTs were used to measure the displacements that may occur in the beams during the experiment. With the data obtained as a result of the experiment, moment –middle displacement curves were created and the bending moment capacities of the beams were compared.*

Keywords: Bending, CFST Beam, Stent

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

<sup>2</sup> İnş. Müh., bernaabayrammm@gmail.com

<sup>3</sup> Arş. Gr., KTO Karatay Üniversitesi, Konya, sadrettin.sancioğlu@karatay.edu.tr

## GİRİŞ

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte inşaat sektöründe kompozit elemanların kullanımı hızla yayılmıştır. Özellikle yük taşıma kapasitelerindeki artışının yanı sıra inşaa süresinin kısa olması sebebiyle farklı birçok yapıda örneklerine rastlanmaktadır. Enerji sönümleme kapasitesi, yüksek süneklik düzeyi ve kare, dikdörtgen, daire gibi farklı birçok kesitte kullanılabilir olması beton dolgululu çelik boruların kullanılmasını yaygınlaştırmıştır.

Yüksek basınç dayanımına sahip beton yapı elemanı eğilme dayanımı çok düşük olduğu için eğilme yüküne karşı desteklenerek kullanılır. Yapısal çelikler eğilme dayanımı yüksek malzeme oldukları için beton ile birlikte kullanılır. Beton dolgululu çelik kompozit yapı elemanları (BDKE) bu iki yapı malzemesinin ortak kullanılması ile oluşturulmaktadır. Yüksek katlı yapılarda kolon-kiriş elemanı olarak kullanılmasının yanı sıra endüstriyel yapılar, köprüler gibi birçok mühendislik yapısında BDKE kullanılmaktadır. Literatürde BDKE kirişleri üzerine farklı çalışmalar bulunmaktadır.

Han (2004) çalışmasında içi beton dolgululu çelik kesitlerin davranışını tahmin eden bir mekanik model tasarlamıştır. Beton dolgululu kare ve dikdörtgen kesitli 16 adet 1100 mm uzunluğundaki kirişleri deneye tabii tutulmuştur. Deneyde derinlik – genişlik oranı 1 ile 2 arasında değişimi ve derinlik – et kalınlığı oranı 20 ile 50 arasındaki değişimi ana parametreler olarak belirlemiştir. Yük ve eğilme ilişkisi hem deneysel hem de teorik olarak belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar AIJ-1997, BS5400-1994, EC4-1994, ve LRFD-AISC-1999 yönetmelikleri ile kıyaslanmıştır. Deneysel sonuçlarda kesitlerin maksimum moment kapasitesi ve göçme modları incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ile standartlara göre hesaplanarak elde edilen değerlerin birbirlerine yakın olduğu ve deneysel sonuçlara en yakın değerleri EC4-1994 standardından elde edilen değerler olduğu saptanmıştır. (Han, 2004)

Al-Zand, Badaruzzaman, Mutalib ve Hilo (2014) tarafından yapılan çalışmada, beton dolgululu çelik elemanları alt bölgelerinden karbon fiber ile güçlendirerek eksenel yük etkisi altında davranışını sonlu elemanlar analizi kullanarak incelenmiştir. Kare ve dairesel kesitlere sahip, alt kısımlarından U şeklinde sarılmış tek ve çok katmanlı beton dolgululu kirişlerinin davranışları ABAQUS programı kullanılarak araştırılmıştır. Analiz sonucunda karbon fiber kullanılarak güçlendirilmiş beton dolgululu kirişlerin moment taşıma kapasitesini arttırdığı gözlemlenmiştir. Sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlar daha önce deneysel çalışması yapılan karbon fiber ile güçlendirilen beton dolgululu kirişlerin davranışı ile doğrulanmıştır (Al-Zand ve diğ., 2014)

Aravind ve Rafi (2017) tarafından yapılan çalışmada farklı aderans teknikleri ile doldurulmuş içi beton dolgululu çelik kirişlerin eğilme davranışı incelenmiştir. Deneyde 120x60x3.2 mm en kesitli dikdörtgen çelik profillere epoksi reçine kullanılarak 3,35 mm elek üzerinde kalan kum tanecikleri yapıştırılmış ve doldurulan betonun çelik profil ile arasındaki aderans arttırılmıştır. Deneyde kullanılan bir diğer aderans tekniği ise dikdörtgen kesitli çelik tüplerin çapraz köşelerine 10 mm çaplı çubuk donatı uçlarından kesme konektörü olarak kaynaklanmıştır. Elde edilen deney sonuçları yük deplasman eğrileri ile kıyaslanmıştır. Deney sonucunda normal beton dolgululu numuneler, epoksi reçine ile aderansı arttırılan numuneler ve kesme konektörü kullanılarak aderansı arttırılan numuneler boş kesitlere göre sırasıyla %67.9, %97.48 ve %114.84 daha fazla yük taşıma kapasitelerine sahip olduğu gözlemlenmiştir (Aravind ve Rafi, 2017).

Abed, Abdelmageed ve İlgün (2018) tarafından yapılan çalışmada; içi beton dolgululu dikdörtgen çelik borunun eğilme davranışı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında deneysel, nümerik ve sonlu elemanlar analizi ile sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel çalışmada 6 adet içi beton dolgululu çelik boru ve 3 adet dairesel kesitli boş boru olmak üzere toplam 9 adet kiriş 4 nokta eğilme yükü altında incelenmiştir. Deney numunelerinin çap – et kalınlığı (D/t) oranı 7.82, 13.5 ve 17.5 olan üç gruba ayrılmıştır. Deney sonrası elde edilen veriler ile moment – yer değiştirme, yük – deplasman, göçme modları ve maksimum kapasite değerlerine ait grafikler oluşturulmuştur. Kirişlerde yüksek D/t oranına sahip numunelerinin eğilme kapasitesinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Nümerik sonuçlar için Japon Mimari Standardı (AIJ), İngiliz Standardı (BS), Amerikan Çelik Yapılar Standardı (AISC-LRFD), EuroCode4 (EC4) ve Han tarafından geliştirilen analitik denklemler kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ABAQUS programında numuneler modellenmiş ve tüm sonuçlar kıyaslanmıştır. Teorik incelemeler sonucunda AIJ standartının ve Han tarafından geliştirilen analitik denklemlerin hem deneysel hem de analiz sonuçlarına en yakın sonuçları verdiği saptanmıştır (Abed ve diğ., 2018).

Al-shaar ve Göğüş (2018) çalışmalarında, cıvatalı çelik plakalar kullanılarak güçlendirilmiş kendiliğinden beton dolgulu kare kesitli çelik kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışmada 2 farklı çelik plaka boyları ile güçlendirilmiş 12 adet kendiliğinden yerleşen içi beton dolgulu kare kesitli çelik kiriş, 3 adet kontrol amaçlı güçlendirilme yapılmamış kendiliğinden yerleşen içi beton dolgulu kare kesitli çelik kiriş ve 3 adet boş kesit kullanılmıştır. Güçlendirilen kirişlerde 6 adet kiriş önyükleme yapılmadan çelik plaka ve cıvatalar ile güçlendirilmiş ve diğer kalan 6 adet kirişe ise önyükleme yapılarak hasar aldırılmış ve ardından güçlendirme yapılarak deneye tabi tutulmuştur. Deney sonunda moment taşıma kapasiteleri, süneklik, göçme modları, moment – orta açıklık deplasman ilişkileri, eğilme momenti kapasiteleri belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonrasında kendiliğinden yerleşen beton dolgulu çelik boruların moment taşıma kapasitelerinin hesaplanmasına yönelik bir teorik model sunulmuştur. (Al-Shaar ve Göğüş, 2018)

Sancioğlu, İlgün, Çarbaş ve Akın (2019) yaptıkları çalışmada farklı enkesitli beton dolgulu çelik kirişlerin eğilme dayanımlarını analitik olarak incelemiştir. Aynı kesit alanına ve cidar kalınlığına sahip olan kare, dikdörtgen ve boru kesitli çelik profiller seçilmiştir. Profiller içerisine 28 günlük ortalama basınç dayanımı 25 MPa olan beton doldurulmuştur. Numuneler 4 noktadan eğilme etkisinde kalacak şekilde modellenmesi yapılmıştır. Modellenen kirişler numunelerinin analizleri sonlu elemanlar tabanlı ANSYS Workbench programı ile yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen veriler doğrultusunda beton dolgulu çelik kirişlere ait yük–deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Analiz sonucundaki veriler Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar – 2018 (ÇYTHYE) yönetmeliğine göre yapılan hesaplardan elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır (Sancioğlu ve diğ., 2019).

Khalil (2019) tarafından yapılan tez çalışmasında beton doldurulmuş çift cidarlı çelik boru kirişlerde iç tüpün kesit ve konumunun eğilme performansı üzerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada 810 mm uzunluğunda 100mm x 100mm x 3mm boyutlarına sahip kare kesitli çelik tüpler içerisine kare ve dikdörtgen kesitli 2 mm lik profiller farklı pozisyonlarda yerleştirilmiştir. İç profiller ve konumları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Deneylerde kirişler 2 noktadan eğilme testine tabi tutulmuştur. İncelenen numuneler arasında eğilme dayanımı, göçme modları, süneklik ve eğilme rijitliklerine göre karşılaştırmalar sunulmuştur. (Khalil, 2019)

Zhang, Zhang, Shan, Bai ve Zhang (2020) çalışmasında inşaatı yapılan bir karayolu projesinde yer alan beton dolgulu çelik kemerlere stent yerleştirilmesinin eğilme etkisine katkısını incelemiştir. Yapılan çalışmada beton dolgulu çelik kemerin sağ omuz, sol omuz ve kemerin orta bölgesine stent yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu stentlerin eşit yüklemeye altındaki deformasyonu izlenmiştir. Stentlerin dış çelik borunun ve beton çekirdeğinin eğilme direncine etkisini gözlemiştir. Gerçek gözlemler ve deneysel çalışma sonucunda stent kalınlığının artmasıyla beton dolgulu kompozit elemanın kapasitesinde artış gözlemiştir. Elde edilen sonuçlar ABAQUS programında oluşturulan analiz modelinin sonuçları ile kıyaslanmış ve beton dolgulu çelik kesitlerde stentin eğilme direnci için analitik metot önermiştir (Zhang ve diğ., 2020).

Sancioğlu (2020) tarafından yapılan tez çalışmasında, aynı kesit alanına sahip dairesel, kare ve dikdörtgen kesitli beton dolgulu kompozit elemanların eğilme etkisi altında dayanımları araştırılmıştır. Tez çalışması kapsamında deneysel, analitik ve nümerik analizler yapılmış ve sonuç kısmında karşılaştırılmıştır. Deneyde 114,3x 3 mm dairesel kesitli, 90x90 mm kare kesitli ve 100x80 mm dikdörtgen kesitli 3 mm cidar kalınlığında profiller seçilmiştir. Deneyde her kesitten üç (3) adet içi boş kiriş ve 28 günlük silindirik basınç dayanımı 40 MPa olan beton dolgulu dokuz (9) adet kiriş olmak üzere toplam 12 adet kiriş dört (4) nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda elde edilen verilere göre yük – deplasman ve moment – deplasman grafikleri oluşturulmuştur. Deney çalışmasından alınan sonuçlar ANSYS Workbench sonlu elemanlar paket yazılımında yapılan analiz sonuçlarıyla ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar – 2018, EuroCode4 yönetmelikleri ve Lin Hai Han tarafından geliştirilen yöntemle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda beton dolgulu çelik kirişlerin nümerik analizlerinin ve ANSYS Workbench programından elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Sancioğlu, 2020).

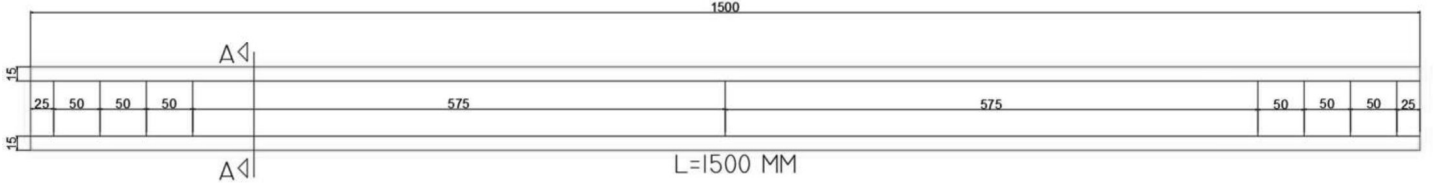
## MATERYAL

### Numuneler

Deneysel çalışmada serbest açıklığı 1500 mm olan aynı kesit alanına sahip beton dolgulu çelik profiller test edilmiştir. Deneyde 114,3x3 mm dairesel kesitli 7 adet profil, 90x90 mm kare kesitli 8 adet profil ve 80x100 mm dikdörtgen kesitli 8 adet profil olmak üzere toplam 23 adet kiriş numunesi 4 noktadan

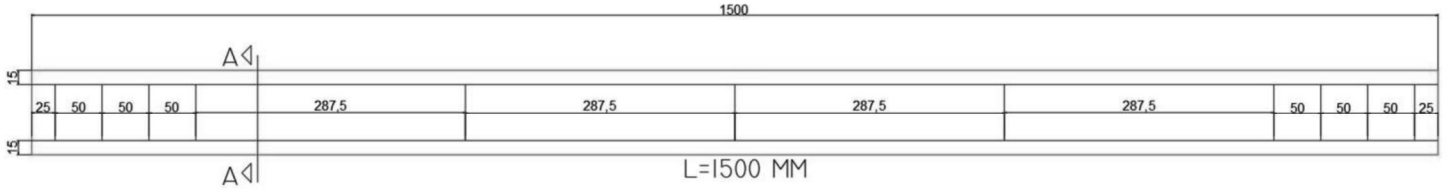
eğilme yüküne maruz bırakılmıştır. Çalışma kapsamında stent elemanı olarak 10 mm ve 8 mm çapına sahip yumuşak demir yapı elemanı seçilmiştir. 10 mm çaplı dört adet demir, profillerin köşe noktalarına yerleştirilmiştir. Kirişler stentlerin etriye sıklığına göre 4 gruba ayrılmıştır (Tablo 1). Şekil 1’de stentlerin konumları mm cinsinden verilmektedir.

## GRUP 1



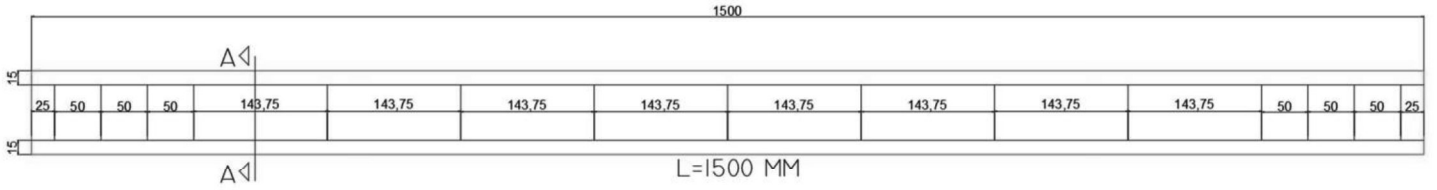
(a)

## GRUP 2



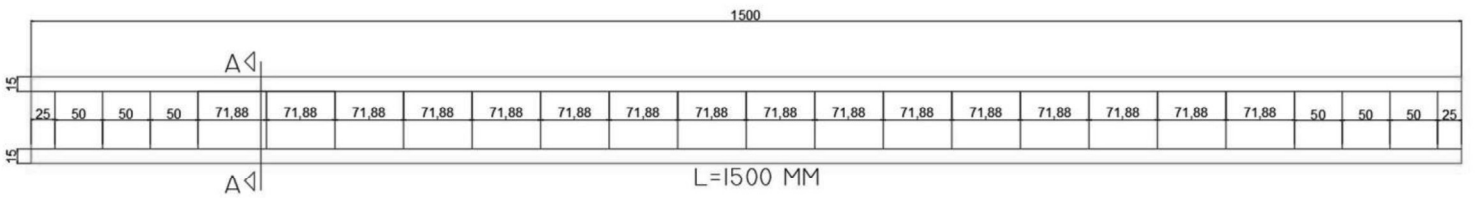
(b)

## GRUP 3



(c)

## GRUP 4



(d)

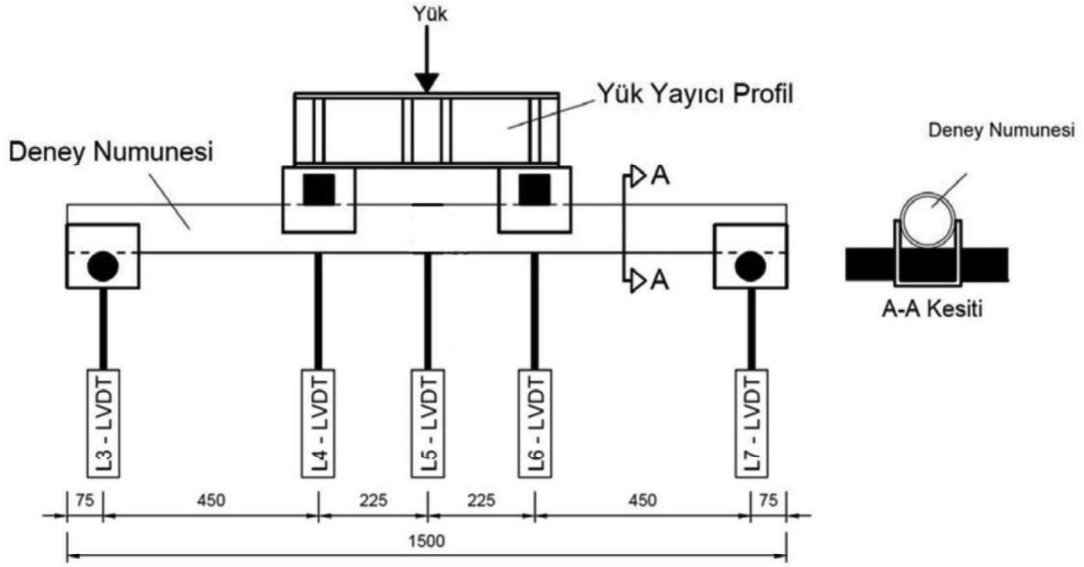
Şekil 1. (a) GR1'e ait stent yerleşimi, (b) GR2'ye ait stent yerleşimi, (c) GR3'e ait stent yerleşimi, (d) GR4'e ait stent yerleşimi

Tablo 1. Numune Özellikleri

Eleman Kesiti	Eleman Adı	Etriye ölçüleri (mm)	Mesnet noktası etriye aralığı (cm)	Gövde etriye aralığı (cm)
Kare Kesitli	GR1 / K1	60-60-10-10	2,5	57,5
	GR1 / K2	60-60-10-10	2,5	57,5
	GR2 / K1	60-60-10-10	2,5	28,75
	GR2 / K2	60-60-10-10	2,5	28,75
	GR3 / K1	60-60-10-10	2,5	14,4
	GR3 / K2	60-60-10-10	2,5	14,4
	GR4 / K1	60-60-10-10	2,5	7,2
	GR4 / K2	60-60-10-10	2,5	7,2
Eleman Kesiti	Eleman Adı	Etriye ölçüleri (mm)	Mesnet noktası etriye aralığı (cm)	Gövde etriye aralığı (cm)
Dikdörtgen Kesitli	GR1 / D1	70-50-10-10	2,5	57,5
	GR1 / D2	70-50-10-10	2,5	57,5
	GR2 / D1	70-50-10-10	2,5	28,75
	GR2 / D2	70-50-10-10	2,5	28,75
	GR3 / D1	70-50-10-10	2,5	14,4
	GR3 / D2	70-50-10-10	2,5	14,4
	GR4 / D1	70-50-10-10	2,5	7,2
	GR4 / D2	70-50-10-10	2,5	7,2
Eleman Kesiti	Eleman Adı	Etriye ölçüleri (mm)	Mesnet noktası etriye aralığı (cm)	Gövde etriye aralığı (cm)
Dairesel Kesitli	GR1 / DR1	Ø84	2,5	57,5
	GR1 / DR2	Ø84	2,5	57,5
	GR2 / DR1	Ø84	2,5	28,75
	GR2 / DR2	Ø84	2,5	28,75
	GR3 / DR1	Ø84	2,5	14,4
	GR3 / DR2	Ø84	2,5	14,4
	GR4 / DR1	Ø84	2,5	7,2

### Deney Düzenegi

KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği yapı laboratuvarında kurulu olan deney düzenegi kullanılmıştır. Kiriş mesnetleri arasındaki mesafe 1350 mm ve yükler arası mesafe 450 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1 Deney düzeneği

## METOD

### Numunelerin Hazırlanması

Tasarlanan özelliklerdeki stentler hazırlandıktan sonra çelik borular içerisine yerleştirilmiştir. Kirişlerin bir ucuna 15x15 cm boyutlarında ve 3 mm kalınlığında çelik plakalar merkezli olarak kaynatılmış ve dolun için hazır hale getirilmiştir. Çelik boru numuneler hazırlandıktan sonra beton dolun işlemine geçilmiştir. Doldurulan betonun dağılımının düzgün olması için dolun sırasında ve priz alma süresince (28 gün) numuneler dik bir şekilde konumlandırılmıştır. Boşluksuz ve homojen bir dolun olması için borular çelik çubuk yardımıyla şişlenmiştir.



Şekil 2. Stentleri eklenmiş numuneler



(a)

(b)



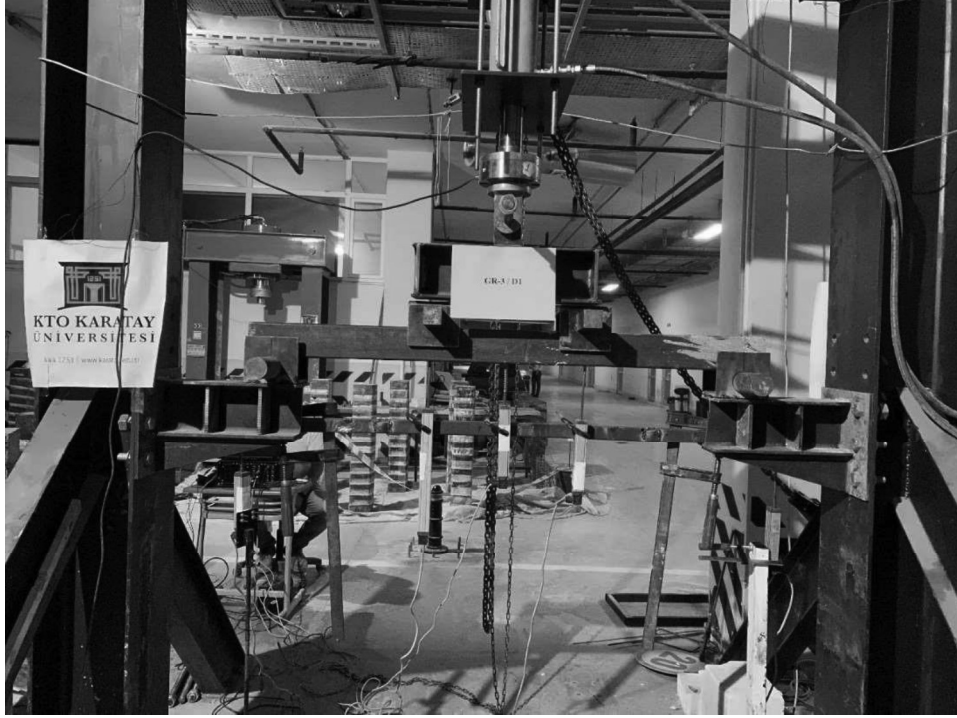
(c)

Şekil 3. (a) Beton dolum işlemi, (b) Şişleme yöntemi, (c) Dikey konumlandırılan numuneler

### **DeneySEL Çalışma**

Deney esnasında kullanılacak olan çelik borular mesnetten mesnete 1500 mm'dir. Deney numunesi serbest açıklığı 1350 mm olup 4 oktalı eğilme testine tabii tutulmuştur. Deneyde 2 nokta arası mesafe kiriş merkezinde 450 mm olarak tarlanmış ve bu açıklık saf moment açıklığı olarak tanımlanmaktadır.

Kirişte oluşabilecek düşey deformasyonların kayıt altına alınabilmesi için kiriş serbest açıklığının,  $L$ , ortasında,  $L/2$ , ve yük uygulanan noktaların altında,  $L/3$  ve  $2L/3$ , ve mesnetlerin altına LVDT'ler yerleştirilmiştir.



(a)



Şekil 4. (a) Numunenin yükleme öncesi durumu, (b) Numunenin yükleme sonrası durumu



## SONUÇ

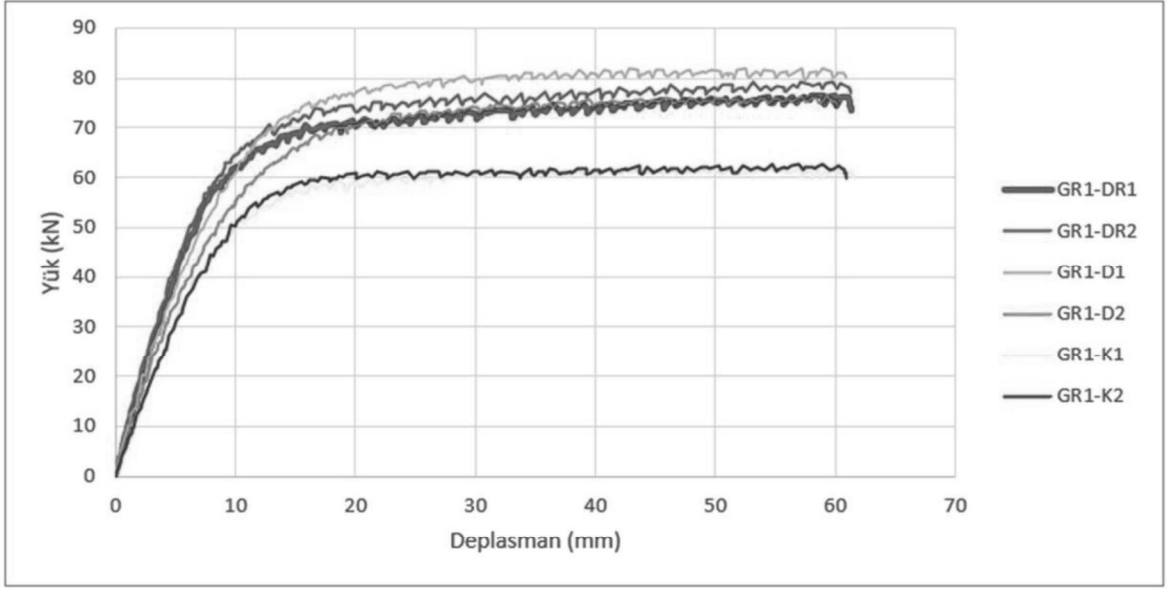
Yapılan bu çalışma sonucunda deneylerden elde edilen verilere göre yük-orta deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Yükleme esnasında mesnetlerde deplasman kontrolü yapılmış olup yükleme altında mesnetlerin deplasman yapmadığı gözlemlenmiştir. Oluşturulan eğriler ile Sancioğlu (2020) tarafından yapılan tez çalışmasındaki aynı kesit özelliklerine ve yükleme sistemine sahip içi boş çelik profillerden alınan sonuçlar kıyaslanmıştır.

GR1’de ki stentlerin etriye aralığına göre aynı kesite sahip olan numune değerlerin ortalamaları alındığında maksimum yük taşıma kapasitesi dikdörtgen kesite sahip kirişlerde gözlemlenmiştir. Dairesel kesitlerde akma noktasındaki yük taşıma kapasitesi kare kesitlerden kıyaslandığında dayanımlarının %22,86 oranında artarken, orta noktada %1,045 daha az deplasman yaptığı görülmüştür. Dairesel kesitler ile dikdörtgen kesitler kıyaslandığında, dairese kesitlerin yük taşıma kapasitesi %2,37 oranında arttığı ve orta noktada %8,94 daha az deplasman yaptığı gözlenmiştir. G1’e ait numunelerde yük taşıma kapasitelerinin kesitlere göre ortalamaları alındığında maksimum değeri gösteren dairese kesitli numuneler ile Sancioğlu (2020) tarafından yapılan çalışmadan alınan içi boş dairese kesitli numunenin (B4) eğilme yükü altında karakteristik eğilme momenti kıyaslandığında, Stentli kompozit numune %114,7 daha fazla moment taşıdığı gözlemlenmiştir. Aynı numuneler için orta deplasmanda %20,2 azalma gözlenmiştir.

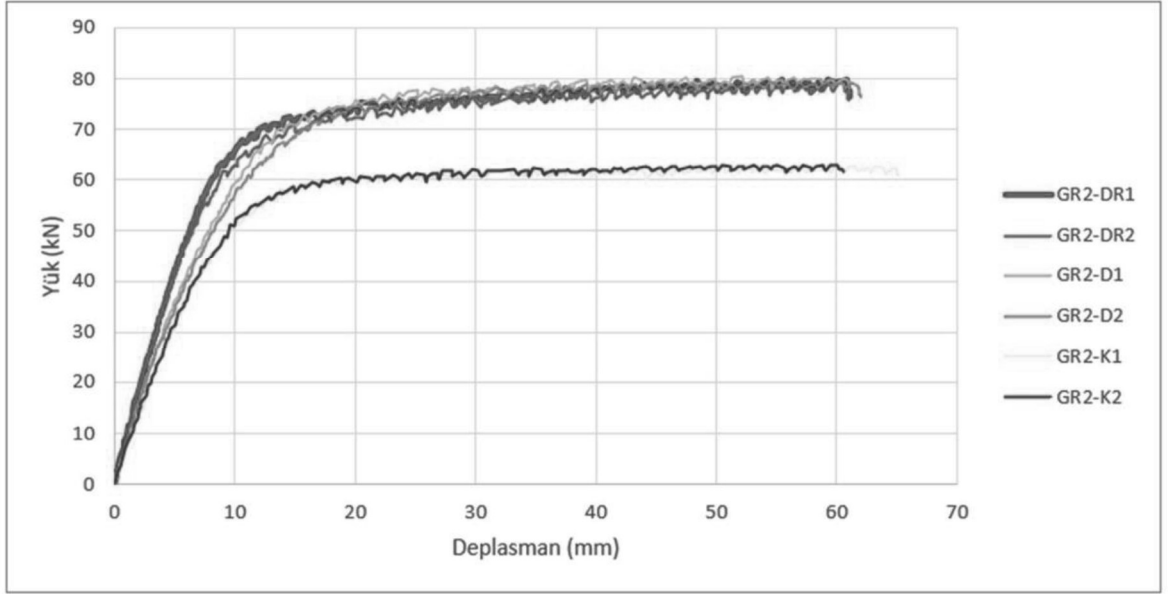
GR2’ de yer alan numunelerin yük taşıma kapasiteleri kıyaslandığında dikdörtgen kesitlerinin kare kesitlere göre dayanımları %26,46 oranında artarken, orta noktada %19,6 daha fazla deplasman yaptığı görülmüştür. Dikdörtgen kesitler ile dairese kesitler kıyaslandığında, dikdörtgen kesitlerin yük taşıma kapasitesi %2,02 oranında arttığı ancak orta noktada %25,97 daha fazla deplasman yaptığı gözlenmiştir. G2’ye ait numunelerde yük taşıma kapasitelerinin kesitlere göre ortalamaları alındığında maksimum değeri gösteren dikdörtgen kesitli numuneler ile Sancioğlu (2020) tarafından yapılan çalışmadan alınan içi boş dikdörtgen kesitli numunenin (D4) eğilme yükü altında karakteristik eğilme momenti kıyaslandığında, Stentli kompozit numune %88,56 daha fazla moment taşıdığı gözlemlenmiştir. Aynı numuneler için orta deplasmanda %80,53 artış gözlenmiştir.

GR3’ de yer alan numunelerin yük taşıma kapasiteleri kıyaslandığında maksimum kapasite dairese kesitlerde gözlenmiştir. Dairesel kesitlerin kare kesitlere göre dayanımları %26,46 oranında artarken, orta noktada %8,2 daha az deplasman yaptığı görülmüştür. Dairesel kesitler ile dikdörtgen kesitler kıyaslandığında, dikdörtgen kesitlerin yük taşıma kapasitesi %17,26 oranında arttığı ve orta noktada %16,45 daha fazla deplasman yaptığı gözlenmiştir. Deney sonuçlarından alınan verilere göre GR3D2 numunesinde yerel burkulma gözlenmiştir. Beton dolumu sırasında yaşanan aksiliklerden kaynaklı kirişte homojen bir beton dağılımı olmadığı bu sebeple kirişte yerel burkulma durumu ve beklenen değerden daha az yük taşıma kapasitesi ölçülmüştür. G3’e ait numunelerde yük taşıma kapasitelerinin kesitlere göre ortalamaları alındığında maksimum değeri gösteren dairese kesitli numuneler ile Sancioğlu (2020) tarafından yapılan çalışmadan alınan içi boş dairese kesitli numunenin (B4) eğilme yükü altında karakteristik eğilme momenti kıyaslandığında, Stentli kompozit numune %109,1 daha fazla moment taşıdığı gözlemlenmiştir. Aynı numuneler için orta deplasmanda %12,38 azalma gözlenmiştir.

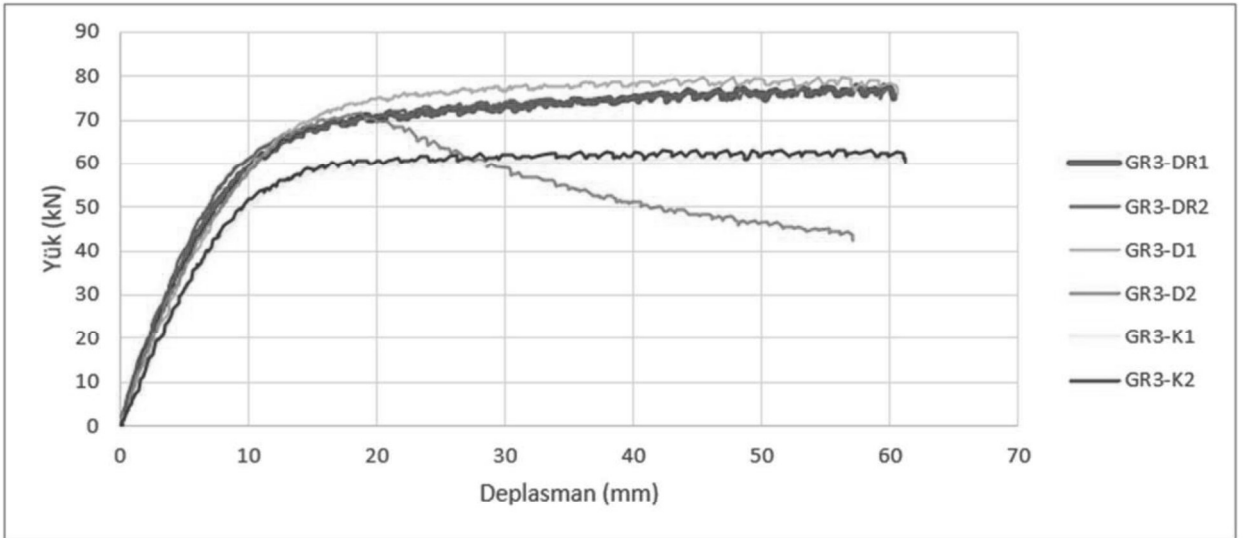
GR4’ de yer alan numunelerin yük taşıma kapasiteleri kıyaslandığında maksimum kapasite dikdörtgen kesitlerde gözlenmiştir. Dikdörtgen kesitlerinin kare kesitlere göre dayanımları %26,85 oranında artarken, orta noktada %97,8 daha fazla deplasman yaptığı görülmüştür. Dikdörtgen kesitler ile dairese kesitler kıyaslandığında, dikdörtgen kesitlerin yük taşıma kapasitesi %6,11 oranında arttığı ancak orta noktada %17,1 daha fazla deplasman yaptığı gözlenmiştir. G4’e ait numunelerde yük taşıma kapasitelerinin kesitlere göre ortalamaları alındığında maksimum değeri gösteren dikdörtgen kesitli numuneler ile Sancioğlu (2020) tarafından yapılan çalışmadan alınan içi boş dikdörtgen kesitli numunenin (D4) eğilme yükü altında karakteristik eğilme momenti kıyaslandığında, Stentli kompozit numune %90,3 daha fazla moment taşıdığı gözlemlenmiştir. Aynı numuneler için orta deplasmanda %82,40 artış gözlenmiştir.



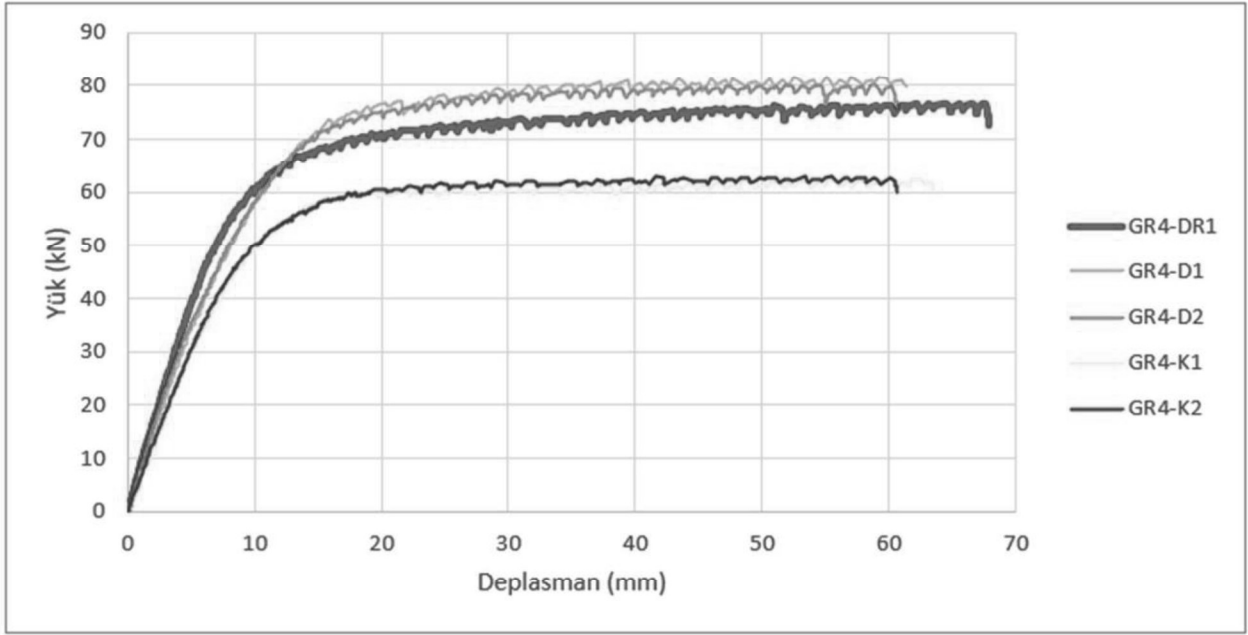
Şekil 5. GR1'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi



Şekil 6. GR2'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi



Şekil 7. GR3'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi



Şekil 8. GR4'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi

Eleman Kesiti	Eleman Adı	Yük (kN)	Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)
Kare Kesitli	GR1 / K1	48,72	10,96	9,57
	GR1 / K2	50,12	11,28	9,*3
	GR2 / K1	48,75	10,97	9,41
	GR2 / K2	51,07	11,49	9,97
	GR3 / K1	51,19	11,52	10,73
	GR3 / K2	49,08	11,04	9,01
	GR4 / K1	49,96	11,24	1,41
	GR4 / K2	50,51	11,36	10,43
Eleman Kesiti	Eleman Adı	Yük (kN)	Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)
Dikdörtgen Kesitli	GR1 / D1	63,94	14,39	10,83
	GR1 / D2	54,67	12,30	9,97
	GR2 / D1	66,85	15,04	12,39
	GR2 / D2	59,38	13,36	10,79
	GR3 / D1	55,01	12,38	9,25
	GR3 / D2	42,99	9,67	6,31
	GR4 / D1	64,22	14,45	11,86
	GR4 / D2	63,24	14,23	11,55
Eleman Kesiti	Eleman Adı	Yük (kN)	Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)
Dairesel Kesitli	GR1 / DR1	63,06	14,19	10,82
	GR1 / DR2	58,37	13,13	8,12
	GR2 / DR1	62,93	14,16	9,04
	GR2 / DR2	60,79	13,68	9,36
	GR3 / DR1	56,33	12,67	9,15
	GR3 / DR2	58,59	13,18	8,98
	GR4 / DR1	60,06	13,51	10

## KAYNAKLAR

- Han, L. H. (2004). Flexural behaviour of concrete-filled steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 60(2), 313–337.
- Al-Zand, A. W., Hamidon, W., Hilo, S. (2014). Finite element analysis of concrete-filled steel tube beams partially wrapped with CFRP sheet. *International Journal of Technical Research and Applications*, 9, 04-09.
- Aravin, S., Rafi, D.M. (2017). A study on flexural behaviour of concrete filled steel tubes. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 3(6), 621-626.
- Abed, F. H., Abdelmageed, Y. I., Kerim Ilgun, A. (2018). Flexural response of concrete-filled seamless steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 149, 53–63.
- Al-Shaar, A., Göğü, M. (2018). Performance of retrofitted self-compacting concrete-filled steel tube beams using external steel plates. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, 18.
- Sancioğlu, S., İlgün, A., Çarbaş, S., Akın S. (2019). Beton dolgulu çelik kirişlerin eğilme etkisinin analitik olarak incelenmesi, 8. Uluslararası Çelik Yapılar Sempozyumu, 416-421.
- Khalil, O. (2019). Investigation of flexural performance of double skin concrete filled steel tube beams. *Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep*.
- Zhang, X., Zhang, Y., Shan, R., Bai, Y., Zhang Z. (2020). Application on bending performance of annular concrete-filled steel tube stent. *Journal of Constructional Steel Research*, 168.
- Sancioğlu, S. (2020). Beton dolgulu kompozit kirişlerin eğilme etkisinin deneysel ve analitik incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*