



**KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**STENT İLE ATALETİ ARTTIRILMIŞ KOMPOZİT KİRİŞLERİN EĞİLME
ETKİSİ ALTINDA İNCELENMESİ**

Berna BAYRAM

Yüksek Lisans

**KONYA
Ocak 2023**

STENT İLE ATALETİ ARTTIRILMIŞ KOMPOZİT KİRİŞLERİN EĞİLME ETKİSİ
ALTINDA İNCELENMESİ

Berna BAYRAM

KTO Karatay Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim İLGÜN

Konya
Ocak 2023

BİLDİRİM

Enstitü tarafından onaylanan Yüksek Lisans tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını basılı veya dijital biçimde arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullar dahilinde erişime açma iznini KTO Karatay Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle, Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak ve gelecekteki çalışmalar (makale, kitap, lisans, patent vb.) için tezimin tamamının veya bir bölümünün kullanım hakları yalnızca bana ait olacaktır.

Tezimin bütünüyle kendi çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izinle kullanılması zorunlu olan kaynakları, yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde izinlerin suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında, tezim, aşağıda belirtilen koşullar haricince, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve KTO Karatay Üniversitesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.¹

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ay ertelenmiştir.²

Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.³⁴

25 Ocak 2023

Berna BAYRAM

¹ MADDE 6(1) Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

² MADDE 6(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internette paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

³ MADDE 7(1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

⁴ MADDE 7(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

ETİK BEYAN

KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kurallarına uygun olarak Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim İLGÜN danışmanlığında tarafımdan üretilen bu tez çalışmasında; sunduğum tüm veri, enformasyon, bilgi ve belgeleri bilimsel etik kuralları çerçevesinde elde ettiğimi, tüm değerlendirme, analiz, bulgu ve sonuçları bilimsel usullere uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım kaynakların tümüne bilimsel normlara uygun biçimde atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

25 Ocak 2023

Berna BAYRAM

Desteklerini esirgemeyen başta aileme, değerli hocalarım ve arkadaşlarıma,

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma konusunu öneren, lisans eğitimimin baŐlangıcından bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan sayın danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim İlğün'e, deneysel ve nümerik çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen ArŐ. Gör. Sadrettin Sancioğlu, ArŐ. Gör. Ahmad Javid Zia, ArŐ. Gör. Abdullah Müsevitoğlu,

Her zaman her koşulda yanımda olduklarını bildiğim annem ve babam başta olmak üzere aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

25 Ocak 2023

Berna BAYRAM

ÖZET

Berna BAYRAM

Stent ile Ataleti Arttırılmış Kompozit Kirişlerin Eğilme Etkisi Altında İncelenmesi

Yüksek Lisans Tezi

Konya, 2023

Bu tez çalışması kapsamında beton dolgulu çelik kirişlere stent eklenerek eğilme etkisi altındaki davranışı deneysel, analitik ve nümerik olarak 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 25 MPa olan beton sınıfı seçilmiştir. Stent elemanı olarak kirişlere 4 köşelerinden 10 mm lik boyuna donatı eklenmiştir. Donatılar arası stent 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 yük – orta deplasman eğrileri oluşturulmuş ve kirişlerin eğilme momenti kapasiteleri kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar – 2018 yönetmeliğinin 12. bölümünde verilen formüllerle, Avrupa Standartı (EuroCode4), Amerikan Standartı (ANSI/AISC 360-16) ve Çin yönetmeliği (DBJ/T13-51-2010) kıyaslanmıştır. Sonuç olarak stent ilaveli beton dolgulu kompozit kirişlerin deneysel ve ABAQUS yazılımından elde edilen nümerik analiz sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Analitik ve nümerik çalışmaların daha güvenilir tarafta kaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

Eğilme, kompozit kirişler, stent, beton dolgulu çelik profil, ABAQUS, BDKE

ABSTRACT

Berna BAYRAM

Investigation of Stent-Enhanced Composite Beams Under the Effect of Bending

Master's Thesis

Konya, 2023

Within the scope of this thesis, the behavior under the effect of bending was investigated experimentally, analytically and numerically by adding a stent to concrete-filled steel beams. 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 25 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 four corners. The beams were separated into four groups according to the stent frequency between the reinforcements. The samples prepared in the experiment were subjected to bending load from four 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, load- displacement curves were drawn and the bending moment capacities of the beams were compared. The results obtained were compared with the formulas given in Chapter 12 of the Design, Calculation and Construction of Steel Structures – 2018 regulation, European Standard (EuroCode4), American Standard (ANSI/AISC 360-16), and Chinese regulation (DBJ/T13-51-2010). As a result, it was seen that the experimental and numerical analysis results obtained from ABAQUS software of concrete filled composite beams with stent added were close to each other. It has been seen that analytical and numerical studies are on the more reliable side.

Keywords

Bending, composite beams, stent, concrete-filled steel section, ABAQUS, CFST

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	
BİLDİRİM.....	i
ETİK BEYAN	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLOLAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER DİZİNİ.....	xv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Beton	20
3.1.2. Yapısal Çelik.....	23
3.1.3. Stent.....	23
3.1.4. Beton Dolgulu Kompozit Kirişler.....	26
3.1.5. Deney Düzeneği	32
3.2. Yöntem.....	33
3.2.1. Standartlarla ve Geliştirilen Yöntemlerle Yapılan Analitik Çalışma.....	33
3.2.2. Sonlu Elemanlar Yazılımı ile Numerik Çalışma.....	43
3.2.3. Deneysel Çalışma.....	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	48
4.1. Standartlarla ve Geliştirilen Yöntemlerle Yapılan Analitik Çalışma Sonuçları	48
4.1.1. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2018 – ÇYTHYE .48	
4.1.2. Çelik ve Beton ile Oluşturulan Kompozit Yapıların Tasarımı–EUROCODE4.49	
4.1.3. Amerikan Şartnamesi (ANSI/AISC 360-16)	50
4.1.4. Çin Yönetmeliği (DBJ/T13-51-2010).....	50
4.2. Analitik Bulgularının Karşılaştırılması	51

4.3. Numerik Analiz Bulguları.....	51
4.3.1. Dairesel kesitli kirişler	52
4.3.2. Dikdörtgen kesitli kirişler	58
4.3.3. Kare kesitli kirişler.....	63
4.4. Deneysel Çalışma Bulguları.....	69
4.4.1. Dairesel kesitli kirişler	69
4.4.2. Dikdörtgen kesitli kirişler	78
4.4.3. Kare kesitli kirişler.....	87
4.5. Deneysel Çalışma Bulgularının Karşılaştırılması	96
4.6. Deneysel Çalışma Bulguları ile Numerik Çalışma Bulgularının Karşılaştırılması.....	99
4.6.1. Dairesel kesitli kirişler	99
4.6.2. Dikdörtgen kesitli kirişler	102
4.6.3. Kare kesitli kirişler.....	104
4.7. Deneysel Çalışma Bulguları ile Analitik Çalışma Bulgularının Karşılaştırılması....	107
SONUÇ	111
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	117

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Beton karışımı yüzdeleri.....	20
Tablo 2. Üretilen betonun 7 günlük ve 28 günlük küp basınç dayanımları.....	22
Tablo 3. Çelik Çekme Deney Sonuçları	23
Tablo 4. Kare kesitli BDKE kirişlerin özellikleri	29
Tablo 5. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin özellikleri.....	30
Tablo 6. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin özellikleri.....	30
Tablo 7. “Kompozit enkesitlerin eğilme momentinin basınç bileşeninin etkisindeki çelik enkesit parçaları için genişlik / kalınlık oranlarının sınır değerleri”	34
Tablo 8. BDKE kesitleri için narinlik sınırları.....	41
Tablo 9. Stentli BDKE kirişlerin ÇYTHYE’ye göre karakteristik eğilme momenti dayanımları	49
Tablo 10. Stentli BDKE kirişlerin EC4’e göre karakteristik eğilme momenti dayanımları.....	49
Tablo 11. Stentli BDKE kirişlerin AISC 360-16’ya göre karakteristik eğilme momenti dayanımları	50
Tablo 12. Stentli BDKE kirişlerin DBJ/T13-51-2010’a göre karakteristik eğilme momenti dayanımları	50
Tablo 13. Stentli BDKE kirişlerinin analitik karşılaştırılması.....	51
Tablo 14. Dairesel kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları	70
Tablo 15. Dikdörtgen kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları ..	78
Tablo 16. Kare kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları.....	88
Tablo 17. Dairesel kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel çalışma ve ABAQUS eğilme momenti dayanımları ve orta deplasmanlar	102
Tablo 18. Dikdörtgen kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel çalışma ve ABAQUS eğilme momenti dayanımları ve orta deplasmanlar	104
Tablo 19. Kare kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel çalışma ve ABAQUS eğilme momenti dayanımları ve orta deplasmanlar	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çelik boru, beton ve BDKE'nin şematik göçme modları	2
Şekil 2. Eğilme altında çelik boru, Betonarme eleman ve BDKE'nin şematik göçme modları....	2
Şekil 3. Köprülerde BDKE örnekleri.....	4
Şekil 4. Çin’de yer alan ve yapımında BDKE kullanılan yapılar (a) Caiyuanba Yangtze Köprüsü (b) Wangcang Doğu Nehri Köprüsü (c) Zhaohua Jialing Nehri Köprüsü (d) Ganhaizi Köprüsü (e) Xialaoxi Köprüsü (f) Jinan Doğu Tren İstasyonu köprüsü.....	5
Şekil 5. (a) Beton dolgulu kompozit kiriş şematik görünümü (b) Saha örneği	6
Şekil 6. (a) Çin’de yer alan SEG Plaza (b) Amerika’da bulunan Federal Adliye, (c) Çin’deki Ruifeng Binası	7
Şekil 7. Farklı BDKE kesitleri	8
Şekil 8. “Agrega en büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan beton için belirlenen agrega tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar”	21
Şekil 9. (a) Beton numuneleri, (b) Kür havuzunda beton numuneleri.....	22
Şekil 10. Çekme Deney Grafiği	24
Şekil 11. (a) Kare kesitli, (b) Dikdörtgen kesitli, (c) Dairesel kesitli numuneler için Stent boyutları	24
Şekil 12. (a) GR1, (b) GR4’e ait stentlerin hazırlanışı	25
Şekil 13. Stent eklenmiş BDKE kirişler	25
Şekil 14. (a) Kare kesitli BDKE kiriş, (b) Kare kesite ait A-A kesit özellikleri, (c) Dikdörtgen kesitli BDKE kiriş, (d) Dikdörtgen kesite ait B-B kesit özellikleri, (e) Dairesel kesitli BDKE kiriş, (f) Dairesel kesite ait C-C kesit özellikleri	28
Şekil 15. BDKE kiriş numuneleri (a) Numunelere alt plaka kaynatılması, (b) Dolum sırasında şişleme, (c) Dolum sonrası dik konumda numuneler.....	29
Şekil 16. 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	32
Şekil 17. Deney düzeneği	33
Şekil 18. “Kompozit elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı”	35
Şekil 19. BDKE elemanları için karşılıklı etkileşim (N-M) diyagramı	37
Şekil 20. Basit eğilme hali (N=0, M≠0).....	38
Şekil 21. Dikdörtgen kesitli BDKE kiriş	40
Şekil 22. Dairesel kesitli BDKE kiriş	40
Şekil 23. Geometrik modelleme izometrik görünüş	44
Şekil 24. BDKE kirişlerinin modellenmesi	44
Şekil 25. BDKE kirişlerinin modellenmesi	45

Şekil 26. Mesnet noktaları (a) Yük, (b) Mesnet.....	46
Şekil 27. Deney düzeneği şematik gösterimi (Tüm ölçüler mm cinsindedir.).....	46
Şekil 28. GR1-DR1/DR2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler	53
Şekil 29. GR2-DR1/DR2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler	54
Şekil 30. GR3-DR1/DR2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler	56
Şekil 31. GR4-DR1 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler	57
Şekil 32. GR1-D1/D2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler	59
Şekil 33. GR2-D1/D2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler	60
Şekil 34. GR3-D1/D2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler	62
Şekil 35. GR4-D1/D2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler	63
Şekil 36. GR1-K1/K2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler	65
Şekil 37. GR2-K1/K2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman (c) akma noktasındaki stentler	66
Şekil 38. GR3-K1/K2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman (c) akma noktasındaki stentler	68
Şekil 39. GR4-K1/K2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler	69
Şekil 40. Dairesel kesitli kirişlere ait akma noktasındaki yük grafiği	70
Şekil 41. (a) GR-1/DR1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/DR1 numunesinin yükleme sonrası durumu	71
Şekil 42. (a) GR-1/DR2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/DR2 numunesinin yükleme sonrası durumu	72
Şekil 43. (a) GR-2/DR1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/DR1 numunesinin yükleme sonrası durumu	73
Şekil 44. GR-2/DR2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/DR2 numunesinin yükleme sonrası durumu	74
Şekil 45. (a) GR-3/DR1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-3/DR1 numunesinin yükleme sonrası durumu	75

Şekil 46. GR-3/DR2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-3/DR2 numunesinin yükleme sonrası durumu	76
Şekil 47. GR-4/DR1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-4/DR1 numunesinin yükleme sonrası durumu	77
Şekil 48. Dikdörtgen kesitli kirişlere ait akma noktasındaki yük grafiği	78
Şekil 49. (a) GR-1/D1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/D1 numunesinin yükleme sonrası durumu	79
Şekil 50. (a) GR-1/D2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/D2 numunesinin yükleme sonrası durumu	80
Şekil 51. (a) GR-2/D1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/D1 numunesinin yükleme sonrası durumu	81
Şekil 52. (a) GR-2/D2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/D2 numunesinin yükleme sonrası durumu	82
Şekil 53. (a) GR-3/D1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-3/D1 numunesinin yükleme sonrası durumu	83
Şekil 54. GR-3/D2 numunesinin, (a) yükleme öncesi durumu (b) yükleme sonrası, (c) yerel burkulma	85
Şekil 55. (a) GR-4/D1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-4/D1 numunesinin yükleme sonrası durumu	86
Şekil 56. (a) GR-4/D2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-4/D2 numunesinin yükleme sonrası durumu	87
Şekil 57. Kare kesitli kesitli kirişlere ait akma noktasındaki yük grafiği	87
Şekil 58. (a) GR-1/K1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/K1 numunesinin yükleme sonrası durumu	89
Şekil 59. (a) GR-1/K2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/K2 numunesinin yükleme sonrası durumu	90
Şekil 60. (a) GR-2/K1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/K1 numunesinin yükleme sonrası durumu	91
Şekil 61. (a) GR-2/K2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/K2 numunesinin yükleme sonrası durumu	92
Şekil 62. (a) GR-3/K1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-3/K1 numunesinin yükleme sonrası durumu	93
Şekil 63. (a) GR-3/K2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-3/K2 numunesinin yükleme sonrası durumu	94
Şekil 64. (a) GR-4/K1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-4/K1 numunesinin yükleme sonrası durumu	95
Şekil 65. (a) GR-4/K2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-4/K2 numunesinin yükleme sonrası durumu	96

Şekil 66. GR1'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi	97
Şekil 67. GR2'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi	97
Şekil 68. GR3'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi	98
Şekil 69. GR4'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi	99
Şekil 70. GR1-DR1/DR2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	100
Şekil 71. GR2-DR1/DR2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	100
Şekil 72. GR3-DR1/DR2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	101
Şekil 73. GR4-DR1'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	101
Şekil 74. GR1-D1/D2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	102
Şekil 75. GR2-D1/D2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	103
Şekil 76. GR3-D1/D2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	103
Şekil 77. GR4-D1/D2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	104
Şekil 78. GR1-K1/K2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	105
Şekil 79. GR2-K1/K2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	105
Şekil 80. GR3-K1/K2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	106
Şekil 81. GR4-K1/K2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi	106
Şekil 82. Dairesel kesitli kirişlerin deneysel ve analitik çalışma sonucunda elde edilen moment kapasiteleri	107
Şekil 83. Dikdörtgen kesitli kirişlerin deneysel ve analitik çalışma sonucunda elde edilen moment kapasiteleri	108
Şekil 84. Kare kesitli kirişlerin deneysel ve analitik çalışma sonucunda elde edilen moment kapasiteleri	109
Şekil 85. Dikdörtgen kesitli, (a) GR1-D1, (b) GR2-D1, (c) GR3-D1 ve (d) GR4-D1 kirişlerinde deney sonucunda oluşan çatlaklar	110

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Açıklama
A_c	Beton enkesit alanı
A_g	Beton, yapısal çelik ve beton çeliğinin toplam enkesit alanı
A_s	Çelik enkesit alanı
A_{sr}	Beton çeliği enkesit alanı
B	Kutu enkesitin genişliği
b_i	Kutu enkesitin iç genişliği
D	Dairesel enkesitin dış çapı
E_c	Betonun elastisite modülü
EI	Eğilme rijitliği
E_s	Yapısal çeliğin elastisite modülü
E_{sr}	Beton çeliği elastisite modülü
f_c	Betonun karakteristik basınç dayanımı (EC4)
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{scy}	Yapısal çeliğin nominal akma gerilmesi (Han)
f_{sy}	Yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi (Han)
F_y	Yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi
f_y	Yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi (EC4)
h	Dairesel enkesitin iç çapı
H	Kutu enkesitin yüksekliği
h_i	Kutu enkesitin iç yüksekliği
h_n	Tarafsız eksenin konumu
I_c	Beton enkesitin atalet momenti
I_s	Yapısal çelik enkesitin atalet momenti
I_{sr}	Beton çeliğinin kesit atalet momenti
L	Numune boyu
M_{max}	Maksimum eğilme momenti dayanımı (EC4)
M_n	Karakteristik eğilme momenti dayanımı
M_{neut}	Nötral eğilme momenti dayanımı (EC4)
M_u	Karakteristik eğilme momenti dayanımı (Han)
P_B	Eksenel kuvvet

t	Eleman kalınlığı
w_c	Betonun birim hacim ağırlığı
W_{cB}	Dairesel enkesitli beton elemana ait plastik mukavemet momenti
W_{cn}	Kutu enkesitli beton elemana ait plastik mukavemet momenti
W_{pa}	Çelik elemana ait plastik mukavemet momenti
W_{pan}	Çelik elemana ait plastik mukavemet momenti
W_{pc}	Beton elemana ait plastik mukavemet momenti
W_{pcn}	Beton elemana ait plastik mukavemet momenti
W_{px}	x ekseninde plastik mukavemet momenti
W_{sB}	Dairesel enkesitli çelik elemana ait plastik mukavemet momenti
W_{sn}	Kutu enkesitli çelik elemana ait plastik mukavemet momenti
γ_m	Eğilme dayanımı endeksi
θ	Başlık ve örgü elemanları arasındaki dar açı
λ_p	Kompakt elemanlar için narınlık sınır değeri
λ_r	Kompakt olmayan elemanlar için narınlık sınır değeri
ξ	Sargılama katsayısı
ν_c	Kiriş ortası deplasman değeri
ϵ_c	Betonun birim deformasyon değeri
σ_c	Betonun gerilme değeri

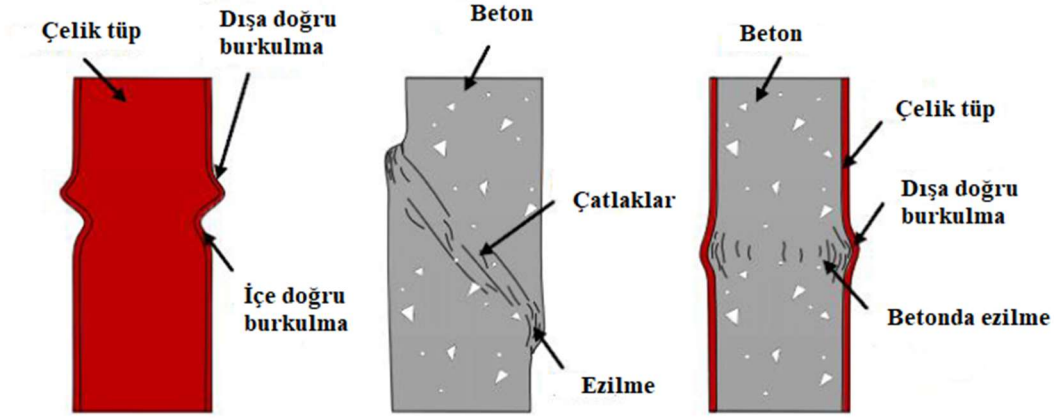
KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
BDKE	Beton dolgulu kompozit eleman
ÇYTHYE	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar
D	Dikdörtgen kesitli numune
DR	Dairesel kesitli numune
EC4	Eurocode 4
EN	Euronorm
GPa	Gigapascal
K	Kare kesitli numune
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
LVDT	Doğrusal değişken diferansiyel transformatörler
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
s	Saniye
TS	Türk Standardı

1. GİRİŞ

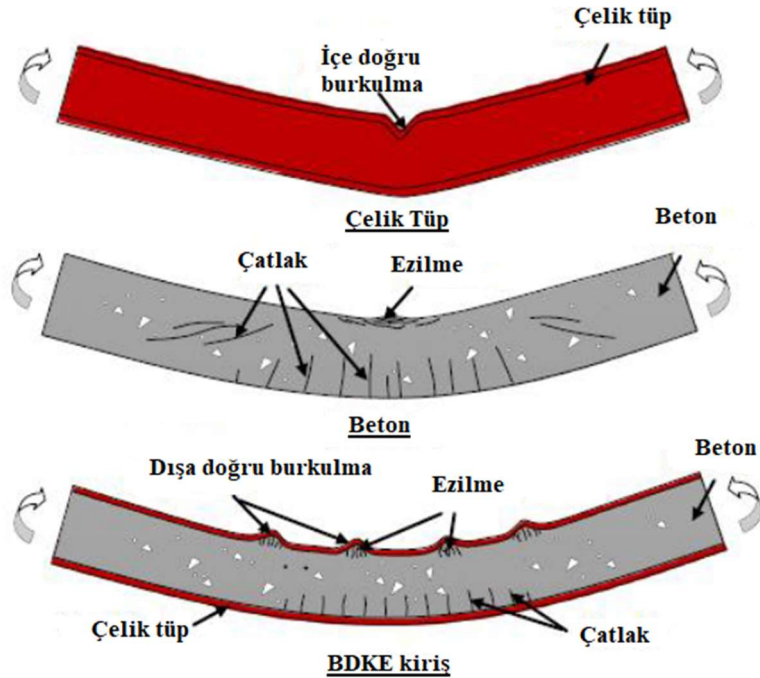
Yapı tasarımında bir inşaat mühendisinin ilk adımı malzeme seçimidir. Malzeme seçiminde en ekonomik yapı malzemesinden maksimum yapı performansı beklenir. Bu seçim mühendisin ekonomik sınırlarına ve tecrübelerine dayanılarak yapılır. Yıllardır dünyada yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi şüphesiz beton ve çeliktir. Betonun yüksek basınç dayanımına sahip olması, maliyetinin düşük olması gibi avantajları yapı sektöründe en sık kullanılan yapı malzemelerinin başında yer almaktadır. Betonun yanı sıra çelik, yüksek süneklik davranışına sahip olması, hızlı inşası ve yapı bazında betonarmeye göre hafifliği tasarım yapan inşaat mühendislerinin kullanmaya sıcak baktığı bir yapı malzemesi haline gelmiştir. Bu iki yapı malzemesinin bilinen bu avantajları sayesinde yapı mühendisleri yeni bir yapı sistemine yönelmiştir. Çelik ve betonun karışımı olan bu yapı sistemi kompozit yapı olarak adlandırılmıştır. Beklenildiği üzere kullanımı giderek yaygınlaşan kompozit yapılar yapı tasarımında oldukça başarı sağlamıştır. Yüksek katlı yapılardan köprülere kadar birçok mühendislik yapısında kolon, kiriş ve döşeme elemanlarında kompozit malzeme kullanılmaktadır.

Kompozit yapı elemanlarının yaygınlaşan kullanımı akademik çalışmalara da farklı bakış açıları kazandırarak literatüre katkı sağlayan araştırmalara konu olmuştur. Birçok araştırmacı kompozit yapılar hakkında hem deneysel hemde analitik çalışmalar yürütmüştür. Kompozit yapı elemanlarının bir çeşidi olan beton dolgulu kompozit elemanlar (BDKE), sayısız araştırmalarda kullanımının avantajlı olduğu görülmüştür. Düşük eğilme dayanımına sahip betonun çelik ile sarılması başka bir deyişle çelik tüplerin beton ile doldurulması, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı yüksek, burkulması minimal düzeye indirgenmiş yapı elemanı olarak kullanılır (Şekil 1).



Şekil 1. Çelik boru, beton ve BDKE'nin şematik göçme modları

İçi boş çelik elemanlara (İBÇE) kıyasla basıç dayanımı ve deformasyon kapasitesinin yüksekliği sebebiyle BDKE kolon olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yerel burkulmalarının önlenmiş olması ve eğilme rijitliğinin yüksek oluşu BDKE kiriş olarak kullanılmasına da olanak sağlar (Sancioğlu S., 2020).



Şekil 2. Eğilme altında çelik boru, Betonarme eleman ve BDKE'nin şematik göçme modları

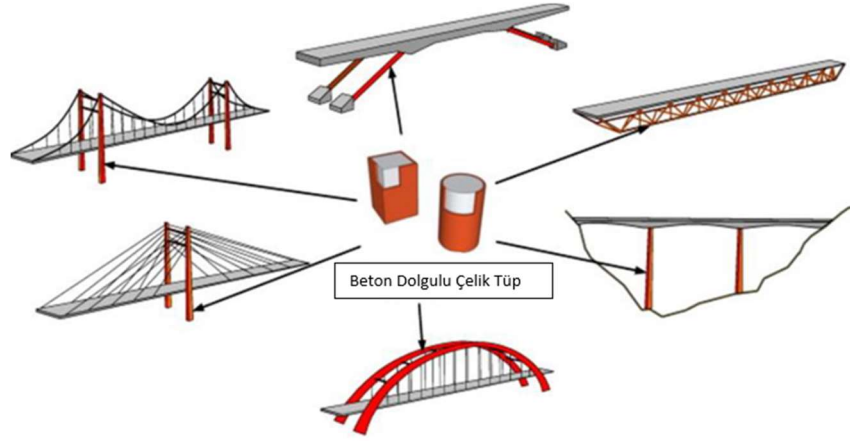
(Kalemi B., 2016)

BDKE yüksek dayanımı sebebiyle deprem etkisi fazla olan coğrafi bölgelerde kullanılmış ve avantajları görülmüştür (Nakanishi vd., 1999)

Yukarıda bahsedilen avantajlarının yanı sıra BDKE avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir

- Çelik tüp içerisine hapsedilen betonda sargılama etkisi oluşur ve bu sayede betonun mukavemetinde azalma gözlenmez.
- Betonarme yapı elemanlarında gözlemlenen sünme davranışı dolgu betonunda gözlemlenmesi ihtimali daha azdır.
- Betonarme yapıda kullanılan kalıp işlemi, pompadan beton dökümü gibi işçiliklerden hem mali açıdan hem de zamandan tasarruf sağlar.
- İnşaat alanlarında çevre kirletici unsurlar azdır.
- Dolgu betonu sayesinde yangın direnci çelik yapı elemanlarına göre daha yüksektir (Zebari, 2018).

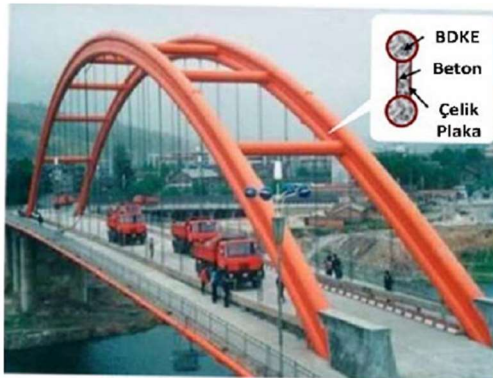
Kullanım alanı oldukça geniş olan kompozit kolonlar dünyanın birçok noktasında karşımıza çıkmaktadır. Şekil 3'de köprülerde kullanılan BDKE çeşitleri gösterilmektedir(Han vd., 2014). Şekil 4 (a)'da Çin'de Caiyuanba Yangtze Köprüsü olarak adlandırılan genişliği 36,5 metre olan ve açıklığı 420 metre olan köprü 800 metre uzunluğunda olup köprüde BDKE'ler kullanılmıştır. Şekil 4 (b)'de yine Çin'de yer alan Wangcang Doğu Nehri Köprüsü kemerli yapıda olup kemerin alt ve üst kısımlarında dambıl şekline sahip 800 mm çap ve 10 mm et kalınlığındaki BDKE kullanılarak 1992 yılında inşa edilmiştir. Şekil 4 (d)' de Çin'deki Ghanzai Köprüsü 110 metre yüksekliği ve 1811 metre uzunluğuna sahiptir ve bu köprüde yapı elemanı olarak BDKE kirişleri kullanılmıştır (Sancıoğlu S., 2020).



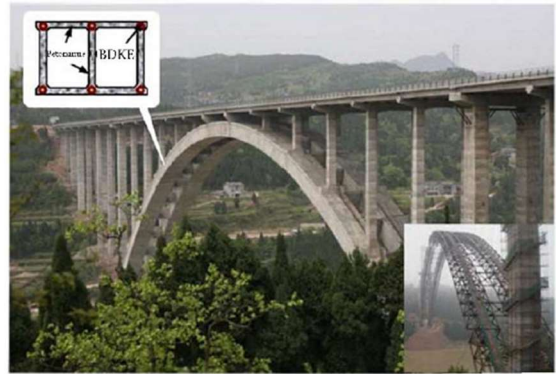
Şekil 3. Köprülerde BDKE örnekleri
(Han vd., 2014)



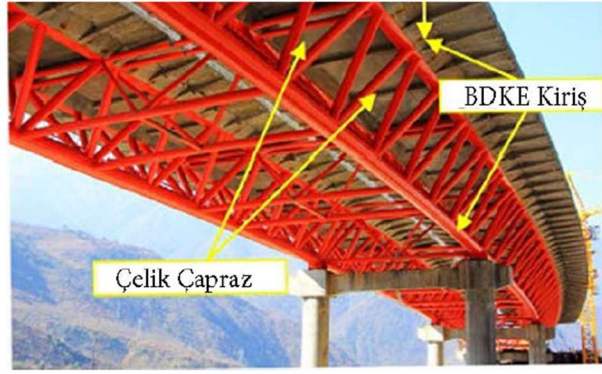
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

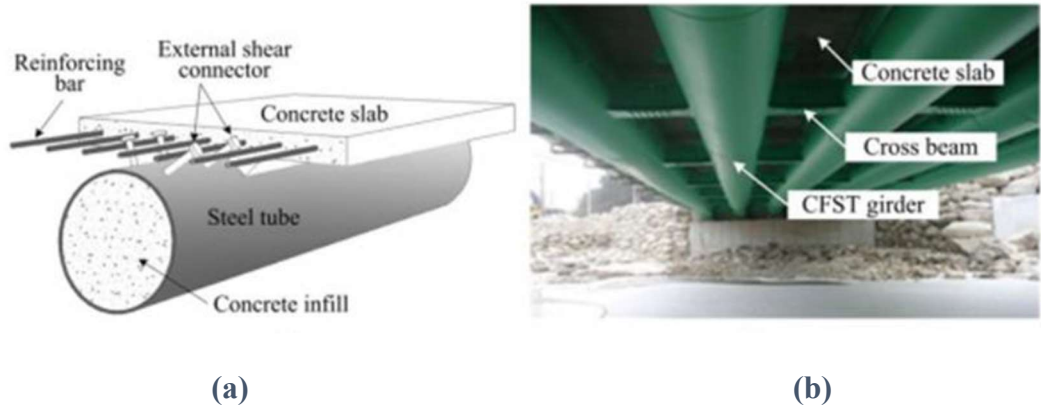


(f)

Şekil 4. Çin’de yer alan ve yapımında BDKE kullanılan yapılar (a) Caiyuanba Yangtze Köprüsü (b) Wangcang Doğu Nehri Köprüsü (c) Zhaohua Jialing Nehri Köprüsü (d) Ganhaizi Köprüsü (e) Xialaoxi Köprüsü (f) Jinan Doğu Tren İstasyonu köprüsü

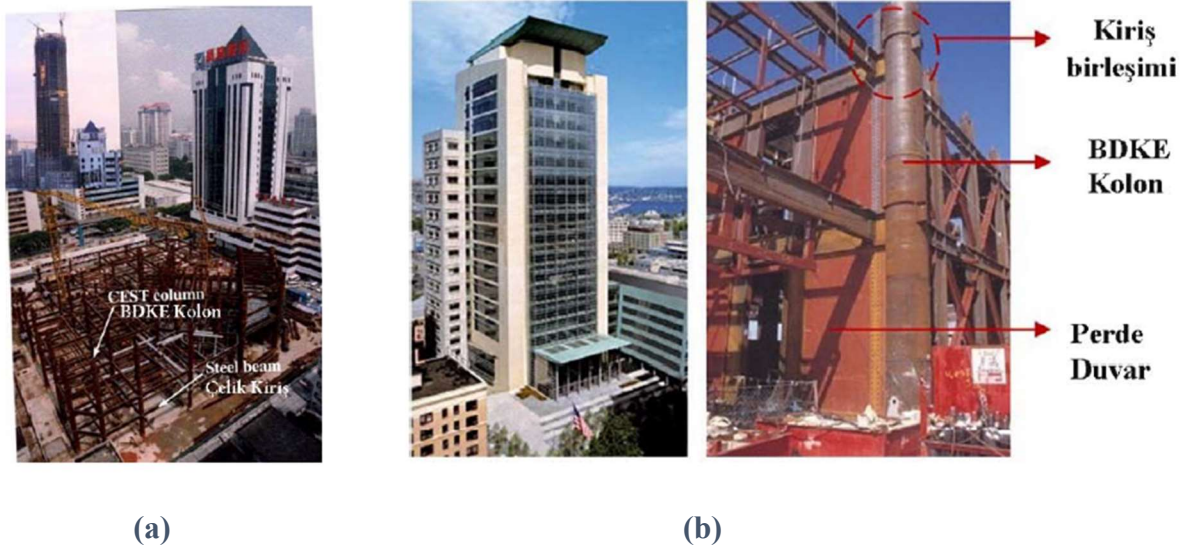
(Sancioğlu S., 2020)

Şekil 5 (a)’da BDKE kiriş olarak şematik görünümü ve Şekil 5 (b)’de kirişin saha örneği verilmektedir (Alkarkhi, 2021).



Şekil 5. (a) Beton dolgulu kompozit kiriş şematik görünümü (b) Saha örneği
(Alkarkhi, 2021)

Şekil 6 (a)'da yüksekliği 292 metre ve 71 kata sahip Çin'de yer alan SEG Plaza'nın taşıyıcı sisteminde BDKE kolonlar ve çelik kirişler kullanılmaktadır. Şekil 6 (b)'de Amerika'da inşa edilen yüksekliği 120 metre olan 23 katlı Federal Adliyesi'nin yapımında BDKE kolonlar ve çelik kirişler kullanılmaktadır. Şekil 6 (c)'deki 140 metre yüksekliğinde 39 kata sahip Çin'de bulunan Ruifeng Uluslararası Ticaret Binası'nın BDKE kolonlarında kare en kesitli profiller kullanılmıştır. (Sancıoğlu S., 2020)



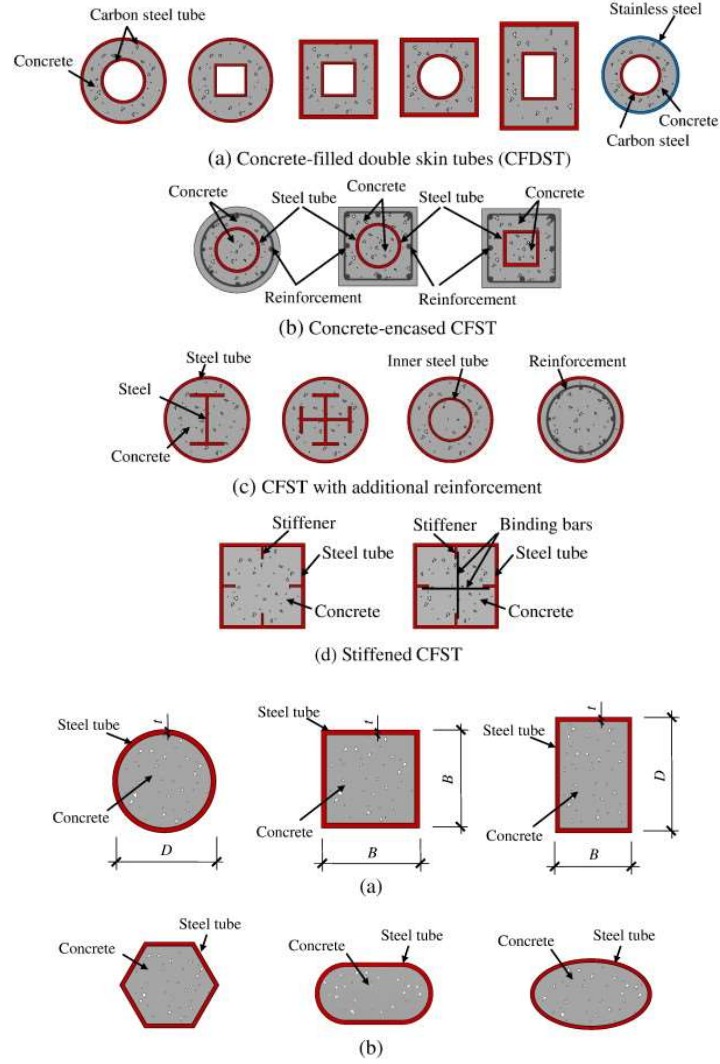


(c)

Şekil 6. (a) Çin’de yer alan SEG Plaza (b) Amerika’da bulunan Federal Adliye, (c) Çin’deki Ruifeng Binası

(Sancıoğlu S., 2020)

Deprem yönetmelikleri oluşumunda yapıların performansları baz alınması için birçok araştırmacı elemanlarda yerel burkulmaları, aderans etkisi, sargılama, numunelerin kesit ve boyutları, yangın etkisi gibi konuları çalışmalarında başlıca konu edinmişlerdir. Gelişen beton teknolojisi ile basınç dayanımı 150 MPa’ı aşan betonların üretimi artık mümkündür. Bu sebeple yüksek dayanımlı betonların gevrek davranışını önlemek amacıyla beton elemanlar sarılarak süneklik, dayanım ve rijitlik özelliklerinin artırılması hedeflenmiştir. Şekil 7 ’te BDKE yapı elemanlarının farklı kesitleri ve kullanımları verilmiştir.



Şekil 7. Farklı BDKE kesitleri

(Kalemi, 2016)

Literatüre bakıldığında BDKE kolon ve kiriş elemanlarının davranışına yönelik yapılan çalışmalarda birçok farklı tasarım kriterlerindeki değişimler incelenmiştir. Çalışmalar incelendiğinde çelik elemanlarda et kalınlığı (t), çap- genişlik ($D-B$), yapısal çeliğin kesiti gibi farklı oran kombinasyonları ile kompozit elemanların yük taşıma ve moment kapasitelerindeki etkiler araştırılmıştır. Bazı çalışmalarda da dolgu betonunun taşıma kapasitesindeki değişimlerinin etkisi de incelenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında BDKE kirişler stent ile ataleti artırılarak eğilmeye karşı davranışı deneysel, analitik ve numerik olarak incelenmiştir. Ayrıca yine bu çalışmada

farklı kesit tipine sahip olmasına rağmen eşit kesit alanına ve aynı et kalınlığına sahip dairesel kesitli, dikdörtgen kesitli ve kare kesitli BDKE kirişlerine 4 farklı stent aralığı verilerek 4 nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Seçilen stentli BDKE'lerin içerisine 28 günlük ortalama silindirik basınç dayanımı 25 MPa ve küp basınç dayanımı 30 MPa olan beton doldurulmuştur. Modellenen stentli BDKE'lerin deneysel sonuçları Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar – 2018 (ÇYTHYE – 2018) yönetmeliğinin 12. Bölümüne, uluslararası geçerliliği olan EuroCodde4 ve ANS/AISC 360-16'ya ve Çinde kullanılan DBJ/T13-51-2010 yönetmeliğinde önerilen hesaplama yöntemleri ile kıyaslanılmıştır. Ayrıca deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ABAQUS sonlu elemanlar paket programı ile kıyaslanılmıştır.

Bu tez çalışmasının bir numaralı bölümünde beton dolgulu kompozit elemanların kullanımı ve avantajları hakkında bilgiler verilmiştir. Yine bu bölümde tezin konusu, amacı, kapsamı, özgün değeri, önemi ve yöntemi belirtilmiştir. Tezin iki numaralı bölümünde BDKE ile daha önce yapılan çalışmaları kapsayan literatür taraması sunulmuştur. Tezin üçüncü bölümü olan materyal ve yöntem başlığı altında bu çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, çalışma kapsamında seçilen yönetmelikler ve analitik hesaplamalar için önerilen formülasyonlar, ABAQUS yazılımındaki modelleme kriterlerinden bahsedilmiştir. Yine bu bölümde numune özellikleri ve deney düzeneğinden bahsedilmektedir. Tezin dördüncü bölümünde standartlar ve yönetmeliklere göre yapılan analitik çalışma, ABAQUS yazılımından elde edilen ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Aynı zamanda bu bölümde her çalışmadan elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Tezin beşinci bölümünde çalışmanın nihai sonuçları ve kazanımları belirtilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Beton dolgulu kompozit yapı elemanları hem betonun hem de yapısal çeliğin özelliklerini kullandığından avantajlıdır. Bu yapı elemanları içi beton doldurulmuş farklı geometrik şekillere sahip çelik tüpler ile oluşturulur. Yüksek katlı modern yapılar, köprüler ve alt yapı çalışmaları gibi birçok mühendislik uygulamalarında içi beton doldurulmuş çelik elemanlar kullanılmaktadır. Kompozit yapı elemanlarının tasarımı hakkında farklı yapı tasarımı modelleri ve geliştirilen yaklaşımlar kullanılarak eleman tasarımları yapılmaktadır. Günümüzde bazı paket programlar kompozit yapı elemanlarının modellenmesinde kullanılmaktadır. Literatüre katkı sağlamış bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Lu ve Kennedy (1994) tarafından yürütülen çalışmada kutu kesitli çelik dikdörtgen profil içerisine beton doldurularak iki noktada yükleme deneyi etkisinde çelik kirişin davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında 4 adedi boş olan toplam 16 adet çelik kutu kesitli dikdörtgen profil kiriş numunesi hazırlanmıştır. Deney sonucunda içi beton doldurulmuş kirişler boş kirişlere kıyasla eğilme etkisi altında elastik olmayan bölgede dayanımının arttığı ve çelik profilin burkulma davranışı sergilediği yerler içerisindeki dolgu betonunun ezildiği gözlemlenmiştir. Deney sonucunda moment kapasitesinin değişimini incelendiğinde eğilme rijitliğinde 1,12 kat artış gözlemlenmiştir.

Elchalakani, Zhao ve Grzebieta (2001) tarafından yapılan çalışmada, farklı D/t oranına sahip BDKE kirişlerinin eğilme etkisi altındaki deformasyonlar deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada D/t oranı 12 ile 110 arasında değiştirilerek dairesel kesitli çelik elemanlar beton doldurularak eğilme etkisinde süneklik, dayanım ve enerji sönümleme kapasitesi araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda ince cidarlı elemanların kalın cidarlı elemanlara kıyasla eğilme kapasitesinin ve sünekliğinin daha fazla arttığı tespit edilmiştir. BDKE nihai eğilme kapasitesini belirlemek için basitleştirilmiş bir formül sunulmaktadır.

Han (2004) çalışmasında içi beton dolgulu çelik kesitlerin davranışını tahmin eden bir mekanik model tasarlamıştır. Beton dolgulu 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.

Gho ve Liu (2004) çalışmalarında yüksek dayanımlı beton ile doldurulmuş çelik profilleri basit eğilme yüküne maruz bırakılmıştır. Deneyde 3 farklı kutu kesit boyutları (150 x 150, 200 x 150, 250 x 150 mm) ve 438, 495, 409 MPa olmak üzere 3 farklı akma dayanımına sahip kirişler eğilme etkisinde incelenmiştir. Deney sonucunda kirişlerin moment taşıma kapasiteleri, süneklik performansları ve moment – yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Deney sonuçları EC4, ACI ve AISC yönetmeliklerinde önerilen denklemlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında %11, %15 ve %18 farkların olduğu gözlenmiştir. Çalışmada bu farkların sebebinin yönetmeliklerde verilen denklemlerin beton ile doldurulmuş dairesel kesitli çelik profiller için kullanıldığını ve içi yüksek dayanımlı beton ile doldurulan dikdörtgen kesitlerin bu denklemler ile hesaplanmasında yetersiz kaldığı vurgulanmıştır.

Arivalagan ve Kandasamy (2010) tarafından yapılan çalışmada içi beton dolgulu çelik kirişler eğilme ve tekrarlı yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Çelik kirişler içerisine normal beton, uçucu kül betonu, taş ocağı atığından üretilen beton ve tuğla, kireç gibi malzemelerden üretilen düşük mukavemetli beton doldurularak kirişin taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Deneyde uzunluğu 1200 mm, 100x50x3.2 mm en kesitine sahip dikdörtgen kirişler 2 noktalı eğilme testine ve tersinir tekrarlı yüklemelere tabi tutulmuştur. Aynı kesit özelliklerine sahip numuneler ANSYS programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler EC4-1994, ACI-2002 ve AISC-LRFD-1999 yönetmeliklerinde belirtilen kapasite tasarımları ve sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

Moon, Roeder, Lehman ve Lee (2012) tarafından yapılan çalışmada; eğilme etkisi altında BDKE modeli geliştirilmiş ve sonlu elemanlar modeli ile sargılama etkisi, kompozit elemanların etkisi ve eğilme davranışı incelenmiştir. D/t oranının ve malzeme özelliklerinin etkisini incelemek için analitik bir çalışma sunulmuştur. Analitik sonuçlar,

ABAQUS paket programı kullanılarak yapılan sonlu elemanlar modelleri ve literatürde daha önceden yapılan araştırma çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, BDKE bileşenlerinin eğilme tasarımını geliştirmek için birleştirilmiştir. Sonlu elemanlar modeli kullanılarak analiz edilen numunelerde çekme bölgesinde oluşan beton çatlaklarının modele doğru bir şekilde etki ettirilememesinden dolayı farklı bir yaklaşım modeli oluşturulmuştur. Bu yeni yaklaşımla elde edilen modelde beton dolgu ve çelik boru bağımsız olarak modellenmiştir. Bu modelleme yaklaşımının kullanılmasının çelik boru ile beton dolgu arasındaki bağıl hareket ve sargılama etkilerinin doğrudan modellenmesi bakımından avantajlı olduğu savunulmuştur.

Güler (2012) tarafından yapılan tez çalışmasında içi yüksek dayanımlı beton dolgululu çelik kısa kolonların ve kirişlerin belirli yükler altındaki davranışları deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. 115 MPa ve 145 MPa basınç dayanımına sahip yüksek dayanımlı beton ile doldurulmuş 60 adet kolon numunesi eksenel yük etkisi altında incelenmiştir. Kolonlarda dairesel ve kare kesit etkisi, aderans etkisi ve D/t oranının eksenel yük taşıma kapasitesine olan etkileri araştırılmıştır. Yüksek dayanımlı içi beton doldurulmuş 15 adet açıklığı 1100 mm olan kiriş numunelerinin eğilme etkisi altındaki moment taşıma kapasitelerine D/t oranının etkisi de çalışma kapsamında incelenmiştir. Kirişler 4 noktalı yükleme testine tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen veriler ile kiriş numunelerinin yük – deplasman ve moment – eğrilik grafikleri oluşturulmuştur. Deney sonucunda oluşturulan eğriler kullanılarak kiriş numunelerine ait moment taşıma kapasiteleri, eğrilik ve enerji yutma kapasiteleri hesaplanmıştır. Kısa kolonların deney sonuçlarından elde edilen eksenel yük taşıma kapasiteleri Eurocode 4, AS (Avustralya Standardı), DL/T (Çin yönetmeliği) ve ACI (Amerika Beton Enstitüsü) mevcut yönetmelikleri ile karşılaştırılmıştır. Kirişlerin moment taşıma kapasiteleri Eurocode 4, AISC ve CIDECT yönetmeliklerinden hesaplanmış ve deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Kısa kolonlar ve kirişler ABAQUS sonlu eleman programı kullanılarak modellenmiş ve yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar modeli, deneysel sonuçlar ve yönetmeliklerden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

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

dolgulu kirişlerinin davranışları ABAQUS programı kullanılarak araştırılmıştır. Analiz sonucunda karbon fiber kullanılarak güçlendirilmiş beton dolgulu kirişlerin moment taşıma kapasitesini arttırdığı gözlemlenmiştir. Sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlar daha önce deneysel çalışması yapılan karbon fiber ile güçlendirilen beton dolgulu kirişlerin davranışı ile doğrulanmıştır.

Wang, Han, Nie ve Zhao (2014) yaptıkları çalışmada sonlu elemanlar analizi kullanarak dikdörtgen kesite sahip beton dolgulu kirişlerin kompakt, kompakt olmayan ve narin enkesit olma durumuna göre eğilme kapasitelerini incelemişlerdir. Daha önce deneye tabi tutulan 70 adet deney numunesinin sonuçları ile sonlu elemanlar analizinden elde edilen verilen karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu gözlenmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinden sonucunda elde edilen veriler AISC, EC4 ve DBJ13-51-2010 yönetmeliklerinde verilen hesaplama yöntemleri ile kıyaslanmıştır.

Ren, Han, Lam ve Li (2014) tarafından yapılan deneysel çalışmada beton dolgulu elips kesitine sahip çelik kiriş ve kolon numuneleri test edilmiştir. Deneyde 8 adet kiriş eğilmeye, 18 adet kiriş numunesi hem eğilme hem de basınç yüklemesine maruz bırakılmıştır. Çalışma kapsamında, kirişlerin kesme uzunluğunun kesit genişliğine oranı (a/B), kolonların ise narinlik oranı ve yük eksantirisitesi araştırılmıştır. Kirişlerde eğilme dayanımı a/B oranı 1,56'dan 3,65'e artış gösterdiği yerde %12,5'tan %22,3'e arttığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda kolonların basınç dayanımlarının %19'dan %63,6'ya yükseldiği ve narinlik oranlarının 75'ten 38'e düştüğü gözlemlenmiştir.

Brown, Kowalsky ve Nau (2015), döngüsel ters dört noktalı yüklemeye maruz kalan dairesel çelik çubukla güçlendirilmiş beton dolgulu çelik boru (RCFST) kirişlerin davranışı üzerinde deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Derinlik-kalınlık oranlarına sahip D/t , 33'ten 192'ye olan yedi numune, boyuna donatı oranları ρ_s , %0,75 ile %2,43 arasında olan beş numune ve bir adet kontrol numune olmak üzere toplam 13 büyük ölçekli RCFST kiriş test edilmiştir. Betonun karakteristik basınç dayanımı 33,8 ile 53,3 MPa arasında değişmektedir. Akma dayanımları 306.0 ile 546.0 MPa arasında olan dairesel dikiş kaynaklı ve spiral kaynaklı çelik borular numune olarak seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında farklı oranların çelik boruların mukavemeti, enerji yayılımı ve yerel burkulma ve kırılma başlangıcı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Test sonuçlarına göre, eğilme mukavemeti ve enerji kaybının hem boyuna donatı oranından hem de derinlik-

kalınlık oranından etkilendiğini gözlemlenmiştir. Deney sonucunda, derinlik-kalınlık oranının yerel burkulma üzerinde derin bir etkisi olduğu, ancak kırılma üzerinde hiçbir etkisi olmadığı ortaya çıkmıştır.

Joseph, James ve Philip (2016) alışmalarında dikdörtgen en kesitli CFST kirişi hem deneysel hemde analitik olarak eğilme etkisinde incelenmiştir. 400x 300 mm kesit ölçülerine sahip 4500 mm boyundaki kirişlere çapı 25 mm olan 4 adet donatı çekme bölgesine eklenmiştir. Kirişin basınç bölgesinde 2 adet 16 mm çapında donatı kullanılmıştır. Lin-Hai Han tarafından yürütölen analitik çalışmadan toplanan veriler ile sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Sonuçta elde edilen veriler kıyaslanmıştır.

Chen, Feng ve Xu (2017) alışmalarında eğilme etkisi altında karbon fiber polimer ile güçlendirilmiş beton dolgulu dairesel kesitli alüminyum alaşımlı boruların deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmada 20 adet güçlendirilmiş beton dolgulu numune ve 10 adet geleneksel beton dolgulu numune teste tabii tutulmuştur. Deney sonucunda numunelerinin nihai dayanımları, kırılma modları, eğilme sertliği, süneklik ve boyuna şekil değiştirmeleri incelenmiştir. Numunelerde nihai mukavemetinin genellikle karbon fiber ile takviye edilerek arttırıldığı, ancak sünekliğin genellikle bozulduğu gösterilmiştir. Deney sonrası elde edilen veriler Japon Standartı (AIJ) de önerilen hesaplamalar ile kıyaslanmıştır. Tasarım denklemlerinin, güçlendirilmiş beton dolgulu numunelerin ilk eğilme rijitliği için uygun olduğu ve ayrıca akma sonrası eğilme rijitliği için de uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Lu, Liu, Li ve Li (2017) tarafından yapılan çalışmada elik liflerle takviye edilmiş (FSSCFST) kendinden gerilmeli ve kendiliğinden yerleşen beton dolgulu elik boru kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen beton dolgulu elik boru (SCCFST) kirişlerin davranışı üzerine elik lif oranı ve öz gerilmenin etkisi değerlendirilmiştir. elik lifler, kendinden gerilmeli beton veya her ikisi ile güçlendirilmiş yirmi yedi kiriş numunesi, dört noktalı eğilme deneyine tabii tutulmuştur. Bu çalışmada önde gelen değerkenler, elik lif hacmi yüzdesi, %0, %0,6 ve %1,2; 0'dan 7,08 MPa'ya kadar kendi kendine stres; beton mukavemeti, 45.3'ten 69.2 MPa'ya; ve elik boru kalınlıkları 2,5 mm, 3,5 mm ve 4,25 mm'dir. ap-kalınlık oranları 66, 47.1 ve 38.8 olan dairesel kaynaklı elik borular tercih edilmiştir. Test sonuçlarına göre elik liflerin eğilme mukavemetini arttırdığını ve FSSCFST kirişlerin elastik

aşamasını uzattığı gözlemlenmiştir; ancak çelik boru kalınlığı arttıkça çelik liflerin olumlu etkisi azalmıştır. FSSCFST kirişlerinin moment kapasitesinin hesaplanması için teorik formüller çalışma kapsamında önerilmiştir.

Aravind ve Rafi (2017) tarafından yapılan çalışmada farklı aderans teknikleri ile doldurulmuş içi beton dolgulu 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 artırılmıştır. 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 dolgulu numuneler, epoksi reçine ile aderansı artırılan numuneler ve kesme konektörü kullanılarak aderansı artırılan numuneler boş kesitlere göre sırasıyla %67.9, %97.48 ve %114.84 daha fazla yük taşıma kapasitelerine sahip olduğu gözlenmiştir.

Alhete (2018) tarafından yapılan tez çalışmasında malzeme kusurlarının içi beton doldurulmuş çelik boru kirişler üzerindeki etkilerini araştırmak için borulara yapay çentik hasarı verilmiş ve kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışmada, 24 adet çentikli BDKE kirişleri, 2 adet çentiksiz BDKE kirişleri olmak üzere 26 adet numuneden oluşan 2mm ve 4mm et kalınlığına sahip 2 grup numune test edilmiştir. Boru kesitli çelik kirişlere kendiliğinden yerleşen beton (KYB) doldurulmuş ve eğilme performansını araştırmak için kirişlere üstten, alttan ve yan yüzlerinden iki farklı kalınlıkta, uzun ve kısa çentiklerle kirişler üretilmiştir. Deney sonucunda elde edilen moment taşıma kapasiteleri, süneklik, göçme modları, moment – orta açıklık deplasman eğrileri ve eğilme momenti kapasiteleri hesaplanmıştır. Deney sonucunda dikey çentiklerin yatay çentiklere göre kırışe daha çok hasar verdiği elde edilmiştir.

Abed, Abdelmageed ve İlgün (2018) tarafından yapılan çalışmada; içi beton dolgulu dikişsiz çelik borunun eğilme davranışı deneysel olarak, nümerik ve sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir. Deneyde 6 adet içi beton dolgulu çelik boru ve 3 adet dairesel kesitli boş boru 4 nokta eğilme yüküne maruz bırakılmıştır.. Deney numunelerinin çap – et kalınlığı (D/t) oranı 7.82, 13.5 ve 17.5 olan üç gruba ayrılmıştır. Çalışma sonuçlarında momente – yer değiştirme, yük – deplasman, göçme modları ve maksimum kapasite

değerlerine ait grafikler oluşturulmuştur. Yüksek D/t oranına sahip içi beton dolgulu tüplerin eğilmeye karşı daha fazla katkı sağladığı gözlenmiştir. Tüm numunelerde yerel burkulma olmaksızın sünek göçme modu gözlenmiştir. Çalışma kapsamında deneysel ve teorik olarak elde edilen veriler Japon Mimari Standardı (AIJ), İngiliz Standardı (BS), Amerikan Çelik Yapılar Standardı (AISC-LRFD), EuroCode4 (EC4) ve Han tarafından geliştirilen analitik denklemlere göre kıyaslanmıştır. Deney numuneleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ABAQUS programında modellenmiş ve sonuçlar deneysel sonuçlara yakın değerler vermiştir. Teorik incelemeler sonucunda AIJ standartının ve Han tarafından geliştirilen analitik denklemlerin hem deneysel hem de analiz sonuçlarına en yakın sonuçları verdiği saptanmıştır.

Al-shaar (2018) tezinde eğilme yüküne maruz kalan beton doldurulmuş çelik kirişlerin eğilme performansını deneysel olarak araştırmıştır. Hafif beton doldurulmuş çelik tüp kirişler, kendiliğinden yerleşen doldurulmuş çelik tüp kirişler ve kendiliğinden yerleşen beton doldurulmuş çelik tüp kirişlerin, çeşitli parametreler ve konfigürasyonlarda cıvata ve çelik plakalar kullanılarak takviye edilmiştir. Test edilen kirişlerin eğilme kapasitesini değerlendirmek için uluslararası tasarım kodları kullanılmıştır. Ayrıca, güçlendirilmiş kendiliğinden yerleşen beton doldurulmuş çelik tüp kirişlerinin moment kapasitesini hesaplamak için teorik bir model geliştirilmiştir.

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-Obaidi, Salim ve Hemzah (2018) tarafından yapılan çalışmada 25 MPa, 35 MPa ve 45 MPa beton basınç dayanımlarına sahip içi beton dolgulu farklı cida kalınlıklarına sahip dikdörtgen kesitli çelik kesitlerin eğilme etkisindeki davranışı incelenmiştir. Deneyde beton dayanımı ve çelik tüpün cidar kalınlığı parametrelerine bağlı olarak 2mm ve 3mm cidar kalınlığına sahip 100x50 mm dikdörtgen kesitli numuneler 2 noktalı eğilme deneyine tabii tutulmuştur. Deney süresince numunelerin göçme modları, yer değiştirmeleri ve maksimum yük kapasiteleri kaydedilmiştir. Deney sonucunda beton dayanımlarındaki farklılıkların beton dolgulu çelik kirişlerin moment kapasitesinde çok kayda değer bir değişikliğe neden olmadığı saptanmıştır. Aynı özelliklere sahip numuneler ABAQUS adlı paket program kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler ile sonlu elemanlar yöntemi sonucu elde edilen veriler kıyaslandığında birbirine yakın değerler ortaya çıkmıştır.

Gunawardena, Aslani, Uy, Kangü ve Hicks (2019) tarafından yapılan çalışmada dairesel beton dolgulu çelik boruların (CFST'ler) eğilme mukavemeti ile ilgili mevcut literatür çalışmaları gözden geçirilmiştir. Çalışmada dha önce literatürde yapılan 219 adet CFST kirişleri üzerinde yapılan eğilme testi sonuçları AS/NZS 2327 yönetmeliğinden elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmış ve AS/NZS 2327 yönetmeliğinin güvenilirliği kontrol edilmiştir. Sonuçta hedef güvenilirlik indeksi için kalibre edilmiş kapasite faktörleri, standartta verilen değerleri aşmış ve bu da kodun ihtiyatlılığını teyit etmiştir.

Sancıoğlu, İlgün, Çarbaş ve Akın (2019) yaptıkları çalışmada farklı enkesite sahip çelik profiller içerisine beton doldurularak eğilme dayanımları analitik olarak incelemiştir. Farklı geometriye sahip olan kesitler aynı kesit alanına ve cidar kalınlığına sahip olacak şekilde kare, dikdörtgen ve boru kesitli çelik profiller seçilmiştir. Profiller içerisine 28 günlük ortalama basınç dayanımı 25 MPa olan beton doldurulmuştur. İçi boş ve beton dolgulu numuneler 4 noktadan eğilme etkisinde kalacak şekilde modellenmesi yapılmıştır. Modellenen kirişlerin analizleri sonlu elemanlar tabanlı ANSYS Workbench programı ile yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre beton dolgulu çelik kirişlere ait yük–deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Analitik sonuçlar ve deneysel sonuçlar Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar – 2018 (ÇYTHYE) yönetmeliğine göre yapılan hesaplardan elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Her iki analizde de çelik kirişler içerisine beton doldurulması eğilme kapasitelerinde önemli performans artışları sağladığı gözlemlenmiştir.

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.

Al-Zand, Badaruzzaman, Al-Shaikhli ve Ali (2020) çalışmalarında içi beton dolgulu ince kare kesitli çelik kirişlerin eğilme etkisi altında deneysel ve numerik araştırmalar yapmışlardır. Toplam 6 kare BDKE numunesi eğilme yükleri altında test edilmiştir. Deneyde 4 numune kesitleri, tüp kesitleri boyunca tek ve çift V-şekilli oluklar ile rijitleştirilmiş ve 2 adet numune kontrol numuneleri olarak test edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kirişlerin moment taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Deney sonucu elde edilen veriler ve sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

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 numerik analizlerinin ve ANSYS Workbench programından elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Zhang, Zhang, Shan, Bai ve Zhang (2020) alışmasında gerçek bir karayolu projesinde uygulanan beton dolgulu elik kemerele stent yerleştirilmesinin eğilme etkisine katkısını incelemiştir. alışmasında beton dolgulu elik kemerin sağ omuz, sol omuz ve kemerin orta bölgesine yerleştirilen stentlerin eşit yükleme altındaki deformatsyonu izlenerek stentlerin dış elik borunun ve beton çekirdeğinin eğilme direncine etkisini gözlemiştir. Gerçek gözlemler ve deneyler sonucunda stent kalınlığının artmasıyla beton dolgulu kompozit elemanın kapasitesinde artış gözlemiştir. ABAQUS programında bir analiz modeli oluşturmuş ve beton dolgulu elik kesitlerde stentin eğilme direnci için analitik metot önermiştir.

Halvani (2021) tez çalışmasında beton dolgulu elik kolon ve elik kiriş bağlantıları sonlu elemanlar analizi ile incelemiştir. Çalışma kapsamında beton dolgulu 50 cm uzuluğunda 12x12x0.25 cm en kesatine sahip kolonların dört tarafına UPN100 ve HEB 100 elik kirişler ayrı ayrı eklenerek kolon kiriş birleşimleri ABAQUS programında incelenmiştir. Çalışma sonuçları daha önce Haider M. Abdul Hussein (2013) tarafından yapılan deneysel çalışma sonuçları referans alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Referans alınan model ile ABAQUS programından elde edilen sonuçlar kıyaslandığında beton dolgulu kolonların analizinde hata payı %1.1 ve kirişlerde %4 olarak gözlenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Beton

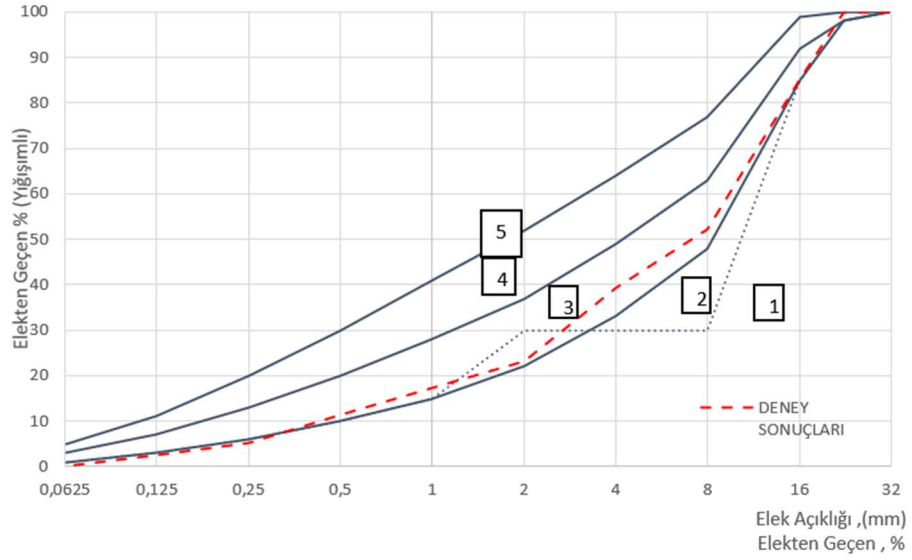
Yaygın bir yapı malzemesi olarak kullanılan beton, içerisinde çimento, farklı çaplarda agrega, su ve gerektiği takdirde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Beton içerisindeki malzemelerden dolayı başta plastik kıvamlı olup kimyasal reaksiyonların ardından zamanla sertleşir ve nihai mukavetini kazanır (Ersoy, Özcebe ve Canbay, 2019).

Bu tez çalışması için yürütülen deneysel çalışmalarda BDKE kirişlerin içerisine doldurulmak üzere seçilen beton karışımı KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı laboratuvarında üretilmiştir (Tablo1).

Tablo 1. Beton karışımı yüzdeleri

Amaçlanan Beton Sınıfı	Çimento Miktarı (%)	Su Miktarı (%)	Agrega Miktarı (%)	Kimyasal Katkı Miktarı (%)	Özgül Ağırlık (kg/m³)
C25/30	12,55	7,7	79,6	0,15	2403

Beton karışımında kullanılacak agregaların belirlenmesi için TS 802 standartlarında önerilen tane dağılımları kullanılmalıdır. Bu sebeple 0- 4 / 4- 11,2 / 11,2- 22,4 mm çaplarına sahip 3 grup agrega il elek analizi deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen agreganın granülometri eğrisi (Şekil 8) ile TS 802 de kullanılması uygun görülen değerler kıyaslanması yapılmıştır. TS 802 standardında 3 numaralı bölgeye düşen tane dağılımlarının kullanıma uygun olduğu belirtilmektedir. Bu durumun mümkün olmadığı durumlarda tane dağılımı 4 numaralı bölgeye denk gelen dağılım eğrileri de kullanılabilir.



Şekil 8. “Agrega en büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan beton için belirlenen agreganın tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar”

(Kaynak: TS 802 – Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları – 2016)

Elde edilen beton karışımında 15 x 15 x 15 cm ölçülerindeki küp beton numuneleri ve 15 x 30 cm ölçülerinde silindir beton numuneleri alınarak 7. ve 28. günde beton dayanım testine tabii tutulmuştur. 200 ton yük kapasitesine sahip beton test presi kullanılarak kirişlerin basınç dayanımı ölçülmüştür. Test aşamasında ilgili standardın önerdiği üzere yükleme hızı 0,2 - 1,0 MPa/s değerleri arasından sabit bir yükleme hızı seçilmiştir (TS EN 12390-3, 2019). Yükleme hızı alt ve üst sınır yükleme hızlarının aritmetik ortalaması alınarak, yani 0,6 MPa/s olarak belirlenmiştir. Beton numuneleri Şekil 9 (a) ve (b)’de verilmiştir.



Şekil 9. (a) Beton numuneleri, (b) Kür havuzunda beton numuneleri

Beton karışımı sonrası alınan numunenin 7 günlük ve 28 günlük küp basınç dayanımları sırasıyla Tablo 2’ de sunulmuştur.

Tablo 2. Üretilen betonun 7 günlük ve 28 günlük küp basınç dayanımları

Amaçlanan Küp Basınç Dayanımı (MPa)	Numune Numarası	7 Günlük Basınç Dayanımları (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımları (MPa)
30	1	30,05	23,21
30	2	30,12	41,32
30	3	30,35	30,49
Ortalama		30,17	31,67

3.1.2. Yapısal Çelik

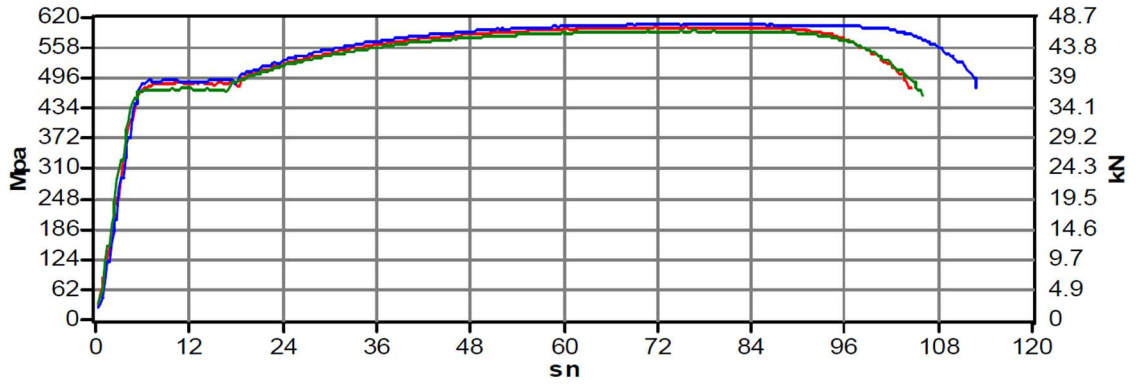
Yapı malzemesi olarak çelik yüksek süneklığe, yüksek akma gerilmesine ve çekme dayanımına sahiptir. Bu tez kapsamında Sancioğlu (2020) tarafından çalışmada seçilen S235 çelik sınıfı seçilmiştir. Sancioğlu (2020) tezinde kullanılan çelik kesit alanları yine bu tez kapsamında da aynı boyutlarda kullanılmıştır. Bu sebeple, 80 x 100 x 3 mm kesitli 8 adet dikdörtgen profil, 90 x 90 x 3 mm kesitli 8 adet kare profil ve 114,3 x 3 mm kesitli 7 adet dairesel boru profil kiriş elemanı olarak seçilmiştir.

3.1.3. Stent

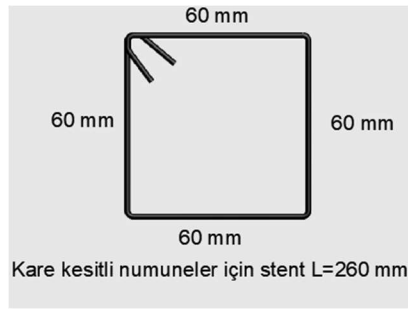
Bu çalışmada beton dolgulu çelik kirişlerin eğilme kapasitesinin ve atalet momentinin artırılmasının kirişin dayanımına etkisinin araştırılması hedeflendiği için kirişlerin atalet momenti artışı stent ile sağlanmaya çalışılacaktır. Stent elemanı olarak 10 mm ve 6 mm çapına sahip yumuşak demir yapı elemanı seçilmiştir. Çelik profillerin içlerine 4 adet yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi (f_y) 420 MPA olan 10 mm çaplı donatı çubuğu kullanılmıştır. Elde edilen numunelere belirli mesafeler ile eklenen 6 mm çaplı etriyeler kullanılmıştır. Mesnet noktalarında ilk stent 25 mm olmak üzere stent aralığı 50 mm olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda etriye aralıklarına bağlı olarak numuneler 4 ayrı grupta incelenmiştir. KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği yapı laboratuvarında etriye ve donatılar uygun ölçüde kesilmiş ve bağlantıları yapılarak çelik kirişler içerisine yerleştirilmiştir. Çelik donatılar ile kirişler arasında pas payı 1,5 cm olarak seçilmiştir. Kullanılan yapısal çeliklerin çekme dayanımları sırasıyla Tablo 3' te sunulmuştur.

Tablo 3. Çelik Çekme Deney Sonuçları

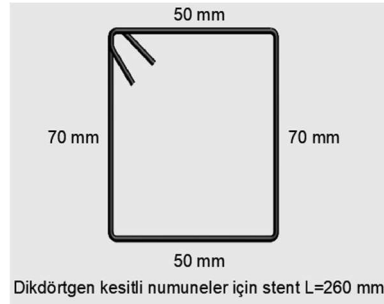
Anma Çapı	Kütle (Kg/m)	Akma (MPa)	Çekme (MPa)	Çekme/Akma	React/Rnom	Kopma Uzama %
10	0,62	481	603	1,25	1,14	89,9
10	0,613	488	607	1,24	1,16	9,7
10	0,613	468	594	1,27	1,11	9,1



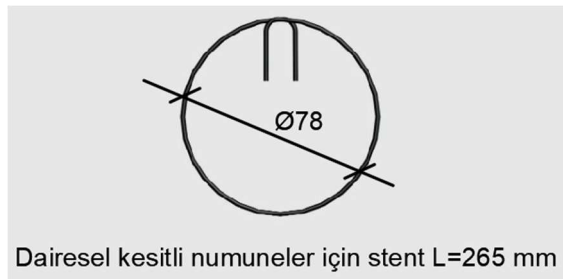
Şekil 10. Çekme Deney Grafiği



(a)



(b)



(c)

Şekil 11. (a) Kare kesitli, (b) Dikdörtgen kesitli, (c) Dairesel kesitli numuneler için Stent boyutları



(a)



(b)

Şekil 12. (a) GR1, (b) GR4'e ait stentlerin hazırlanışı

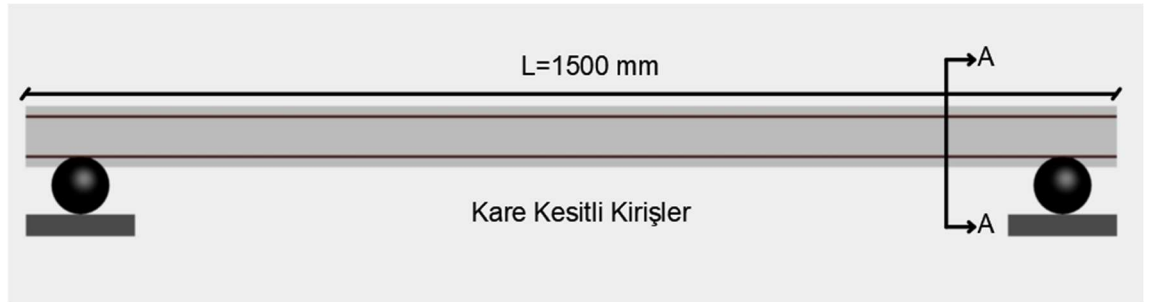


Şekil 13. Stent eklenmiş BDKE kirişler

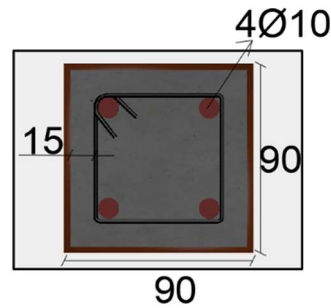
3.1.4. Beton Dolgulu Kompozit Kirişler

Bu tez çalışmasında literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak aynı çelik et kalınlığında ve kesit alanına sahip farklı kesit tiplerindeki donatı ve etriye eklenerek atalet momenti arttırılmış BDKE kirişler incelenmiştir.

Aynı mekanik malzeme özelliklerini taşıması hedeflenen çelik kirişler 1500 mm boyunda olacak şekilde kestirilmiştir. Beton dökümü sırasında altından dökülmemesi amacıyla kirişlerin alt kısımlarından kirişler ile aynı 3 mm et kalınlığına sahip 15 x 15 cm olan plaka tasarlanıp kaynatılmıştır. Doldurulan betonun dağılımının düzgün olması için dolum sırasında ve priz alma süresince (28 gün) numuneler dik bir şekilde konumlandırılmıştır. Üretilen C25/30 betonun doldurulmasıyla BDKE kirişler KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği yapı laboratuvarında üretilmiştir (Şekil 15 (b) ve (c)). Beton doldurma işlemi sırasında, içinde bulunan donatılar ve etriyeler nedeniyle vibratör kullanılamamıştır. Bu sebeple betonun homojen yayılması ve daha iyi sıkışması için çelik çubuk ile şişleme yöntemi ve çekiç kullanılmıştır.



(a)

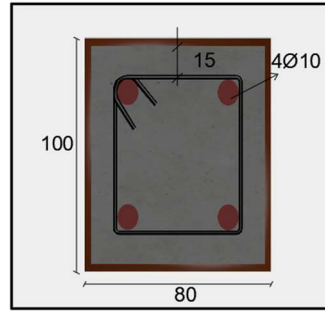


A-A Kesit

(b)

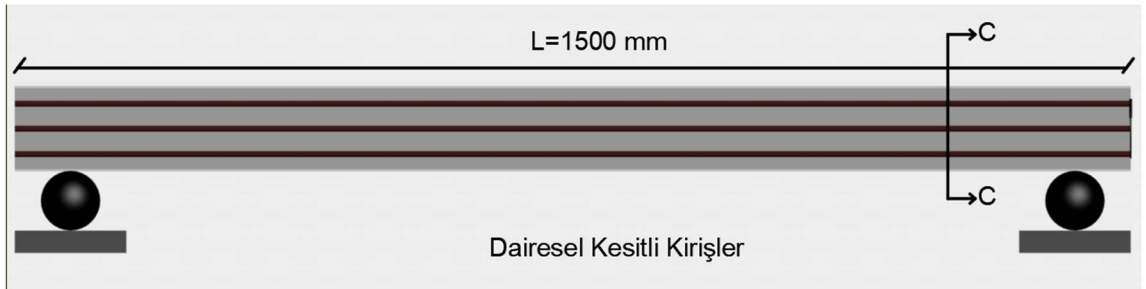


(c)

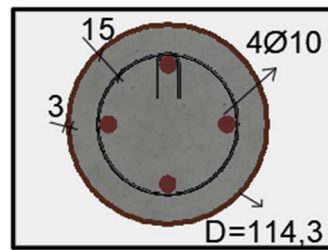


B-B Kesit

(d)



(e)



C-C Kesit

(f)

Şekil 14. (a) Kare kesitli BDKE kiriş, (b) Kare kesite ait A-A kesit özellikleri, (c) Dikdörtgen kesitli BDKE kiriş, (d) Dikdörtgen kesite ait B-B kesit özellikleri, (e) Dairesel kesitli BDKE kiriş, (f) Dairesel kesite ait C-C kesit özellikleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 15. BDKE kiriş numuneleri (a) Numunelere alt plaka kaynatılması, (b) Dolum sırasında şişleme, (c) Dolum sonrası dik konumda numuneler

Deney numunelerine ait özellikler Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6 özetlenmiştir.

Tablo 4. Kare kesitli BDKE kirişlerin özellikleri

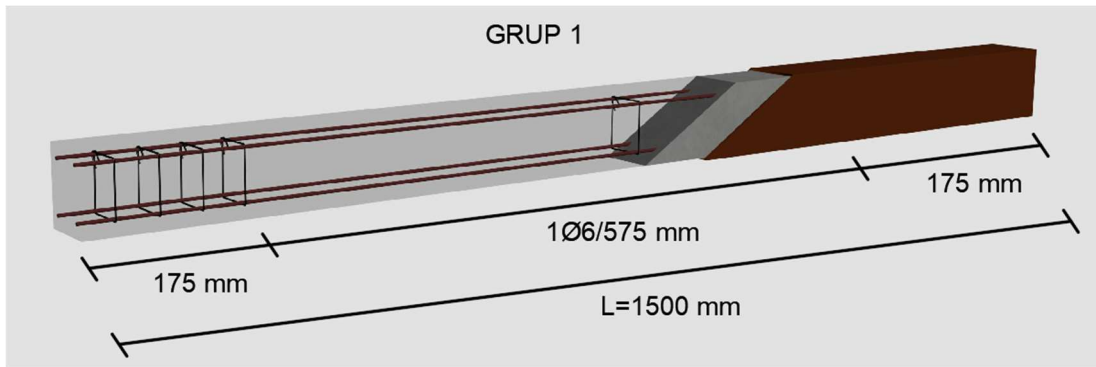
Eleman Kesiti	Eleman Adı	Etriye Adeti	Mesnet bölgesi etriye aralığı (mm)	Gövde etriye aralığı (mm)
Kare Kesitli Numune	GR-1 / K1	9	50	575
	GR-1 / K2	9	50	575
	GR-2 / K1	11	50	287,5
	GR-2 / K2	11	50	287,5
	GR-3 / K1	15	50	144
	GR-3 / K2	15	50	144
	GR-4 / K1	23	50	72
	GR-4 / K2	23	50	72

Tablo 5. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin özellikleri

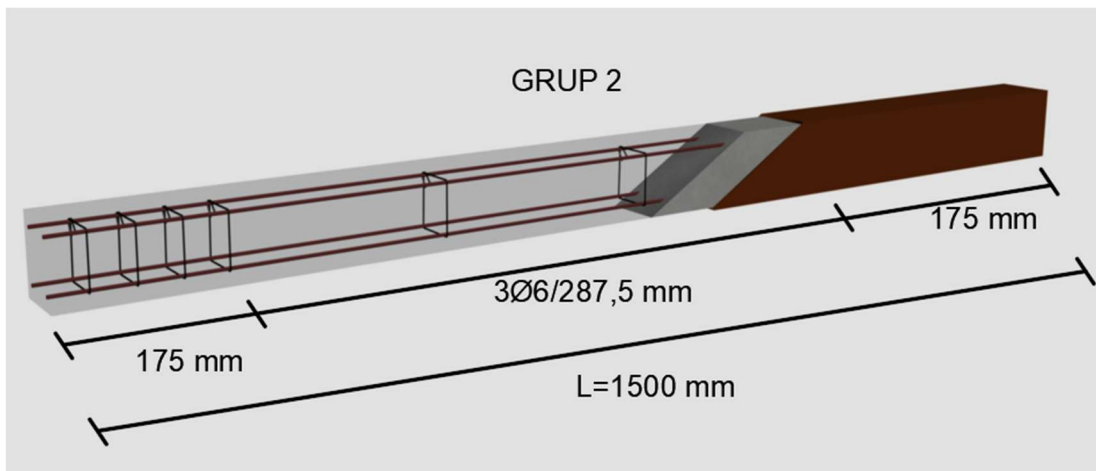
Eleman Kesiti	Eleman Adı	Etriye Adeti	Mesnet bölgesi etriye aralığı (mm)	Gövde etriye aralığı (mm)
Dikdörtgen Kesitli Numune	GR-1 / D1	9	50	575
	GR-1 / D2	9	50	575
	GR-2 / D1	11	50	287,5
	GR-2 / D2	11	50	287,5
	GR-3 / D1	15	50	144
	GR-3 / D2	15	50	144
	GR-4 / D1	23	50	72
	GR-4 / D2	23	50	72

Tablo 6. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin özellikleri

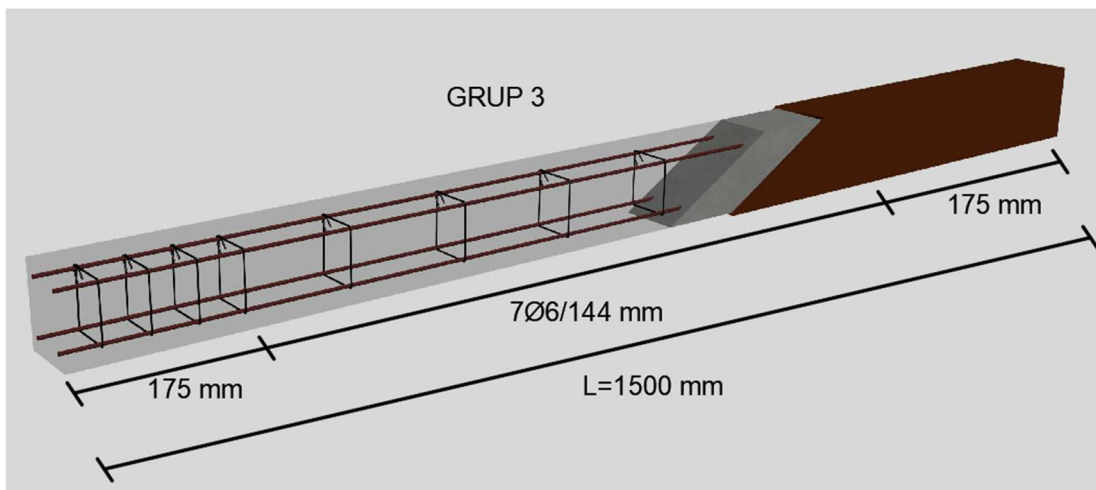
Eleman Kesiti	Eleman Adı	Etriye Adeti	Mesnet bölgesi etriye aralığı (mm)	Gövde etriye aralığı (mm)
Dairesel Kesitli Numune	GR-1 / DR1-84	9	50	575
	GR-1 / DR2	9	50	575
	GR-2 / DR1	11	50	287,5
	GR-2 / DR2	11	50	287,5
	GR-3 / DR1	15	50	144
	GR-3 / DR2	15	50	144
	GR-4 / DR1	23	50	72



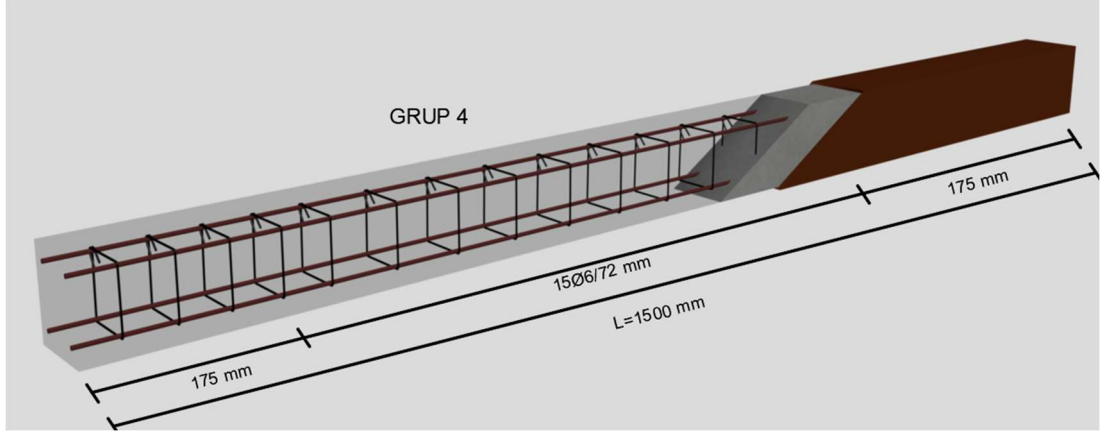
(a)



(b)



(c)

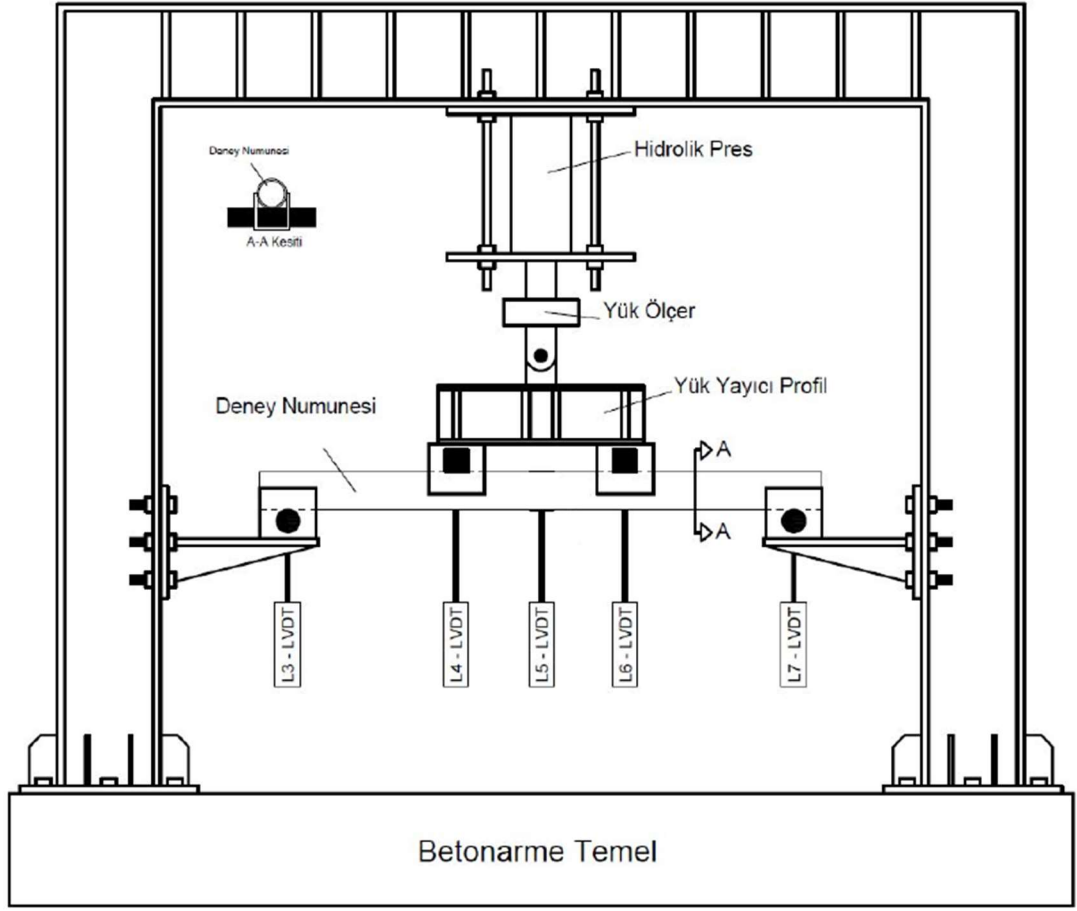


(d)

Şekil 16. 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

3.1.5. Deney Düzenegi

KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği yapı laboratuvarında kurulu olan deney düzenegi kullanılmıştır. İki metre açıklığında sahip rijit çerçevede berkitme levhaları ile güçlendirilen HEB çelik profil kullanılmıştır. Çerçevede 30 ton yük kapasiteli hidrolik krika ve 30 ton kapasiteye sahip yük ölçer bulunmaktadır. Ayrıca uygulanan yükün tek noktadan iki noktaya yayılması için yüksek rijitliğe sahip yük yayıcı profil ve giriş açıklığındaki spesifik noktalardaki deplasmanların ölçümü için doğrusal değişken ötelenme ölçerler (LVDT) kullanılmıştır (Şekil 17).



Şekil 17. Deney düzeneği

3.2. Yöntem

3.2.1. Standartlarla ve Geliştirilen Yöntemlerle Yapılan Analitik Çalışma

Tezin bu bölümünde uluslararası tasarım standartlar, yönetmelikler ve geliştirilen hesaplama yöntemlerinden yararlanılarak hesaplanan, beton dolgulu kompozit elemanların eğilme dayanımlarının hesaplama adımları incelenmiştir.

3.2.1.1. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2018 – ÇYTHYE

Ülkemizde kullanılan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2018 yönetmeliğine göre eğilme kapasitesi tasarımı için önerilen formüller aşağıda verilmektedir. Kompozit yapı elemanlarında kullanılan betonun elastisite modülü, E_c , aşağıda verilen Denklem (1) ile hesaplanmıştır (ÇYTHYE, 2018).

$$E_c = 0,043w_c^{1,5}\sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

Kompozit elemanların karakteristik kesit dayanımlarının belirlenmesinde ÇYTHYE’de önerilen plastik gerilme dağılımı yöntemi kullanılmıştır. Kesit dayanımlarının hesabı yapılırken betonun çekme dayanımı göz önüne alınmamıştır. Plastik gerilme dağılımı yönteminde, dikdörtgen gerilme yayılımını esas alınarak çelik elemanlarda oluşan gerilmelerin karakteristik akma dayanımına ulaştığı ve betonda oluşan gerilmelerin ise betonun karakteristik basınç dayanımının 0,85 katına ulaştığı varsayımı yapılmaktadır.

ÇYTHYE başlık 12.2.3’te belirtilen malzeme sınırlarına göre beton dolgulu kompozit elemanları oluştururken kullanılan beton için, karakteristik basınç dayanımı, f_{ck} , 20 – 70 MPa arasında iken çelik için, karakteristik akma gerilmesi, f_y , 460 MPa ile sınırlıdır.

Beton dolgulu kompozit enkesitler eğilme momenti etkisinde incelenirken yerel burkulma açısından üç gruba ayrılır. “Eğilme momentinin basınç bileşeni etkisindeki parça genişlik/et (B/t) kalınlığı ve çap/et (D/t) kalınlığı oranları ile kıyaslandığında aşağıdaki Tablo 7’de tanımlanan λ_p sınırını aşmadığı sürece kompakt, $\lambda_p - \lambda_r$ arasında kaldığı sürece kompakt olmayan kesit ve λ_r değerini aşıyorsa narin olarak tanımlanırlar (ÇYTHYE, 2018).

Tablo 7. “Kompozit enkesitlerin eğilme momentinin basınç bileşeninin etkisindeki çelik enkesit parçaları için genişlik / kalınlık oranlarının sınır değerleri”

Eleman	Genişlik/et kalınlığı – Çap/ et kalınlığı	λ_p (Kompakt / Kompakt Olmayan)	λ_r (Kompakt Olmayan/ Narin)
Uniform kalınlıklı kutu enkesitlerin başlıkları	b/t	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Uniform kalınlıklı kutu enkesitlerin gövdeleri	h/t	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Boru enkesitli elemanlar	D/t	$0.09 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$

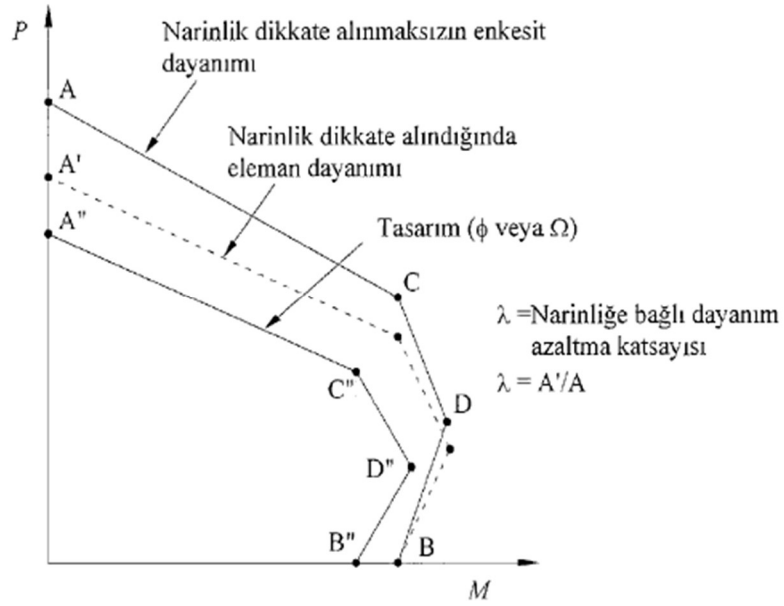
(Kaynak: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2018 – ÇYTHYE)

BDKE için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , enkesitin kompakt, kompakt olmayan ve narin olması durumuna göre hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında seçilen kesitler kompakt enkesit sınıfında olduğu için karakteristik eğilme momenti dayanımları, M_n , Denklem (2) ile hesaplanmıştır.

$$M_n = M_p \quad (2)$$

Bu standarda kapsamında kompozit elemanların enkesitinde oluşan plastik gerilme yayılışı ilkesine bağlı kalınarak, aksel kuvvet ve eğilme momenti arasındaki etkileşim karşılıklı etkileşim diyagramı ile ilişkilendirilir. ÇYTHYE’de verilen karşılıklı etki diyagramı Şekil 18’te verilmiştir (ÇYTHYE, 2018).



Şekil 18. “Kompozit elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı”

(Kaynak: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2018 – ÇYTHYE)

Diyagram incelendiğinde kirişlerin karakteristik eğilme dayanımının hesabı, B noktasına göre hesaplanmalıdır. B noktası aksel kuvvetin sıfır ve eğilme momentinin olduğu noktayı temsil eder. Buna göre,

Dairesel kesite sahip kiriş elemanları için karakteristik eğilme dayanımı, M_B , Denklem (3) ile hesaplanmıştır.

$P_B = 0$ için,

$$M_B = W_{sB}F_y + \frac{1}{2}W_{cB}(0.95f_{ck}) \quad (3)$$

$$W_{sB} = \frac{(d^3-h^3)}{6} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (4)$$

$$W_{cB} = \frac{h^3}{6} \sin^3\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (5)$$

$$\theta = \frac{0.0260K_c - 2K_s}{0.0848K_c} + \frac{\sqrt{(0.0260K_c - 2K_s)^2 + 0.857 cK_s}}{0.0848 c} \quad (rad) \quad (6)$$

$$K_c = f_{ck}h^2 \quad (7)$$

$$K_s = F_y \left(\frac{d-t}{2}\right) t \quad (8)$$

$$h_n = \frac{h}{2} \sin\left(\frac{\pi-\theta}{2}\right) \leq \frac{h}{2} \quad (9)$$

Denklem (3)'de verilen çelik enkesite ait plastik mukavemet momenti, W_{sB} , Denklem (4), beton enkesite ait plastik mukavemet momenti, W_{cB} , Denklem (5), başlık ve örgü elemanları arasındaki dar açı, θ , Denklem (6), K_c , Denklem (7), K_s , Denklem (8) ve tarafsız eksenin konumu, h_n , Denklem (9) temsil etmektedir.

Kutu kesite sahip kirişler elemanların karakteristik eğilme dayanımı, M_B , Denklem (10)'da verilmektedir.

$P_B = 0$ için,

$$M_B = M_D - W_{sn}F_y - \frac{1}{2}W_{cn}(0.85f_{ck}) \quad (10)$$

Denklem (11)'de verilen çelik enkesite ait plastik mukavemet momenti, W_{sn} , Denklem (12), beton enkesite ait plastik mukavemet momenti, W_{cn} , Denklem (13), tarafsız eksenin konumu, h_n , Denklem (14), karşılıklı etki diyagramında D noktasına karşılık gelen karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_D , Denklem (15) M_D için plastik mukavemet momenti, W_c , aşağıda belirtilen esaslara göre hesaplanacaktır.

$$W_{sn} = 2 \cdot t \cdot h_n^2 \quad (11)$$

$$W_{cn} = b_i h_n^2 \quad (12)$$

$$h_n = \frac{0.85f_{ck}A_c}{2[0.85 ckb_i + 4tF_y]} \leq \frac{h_i}{2} \quad (13)$$

$$M_D = W_{px}F_y + \frac{W_{cn}}{2}(0.85f_{ck}) \quad (14)$$

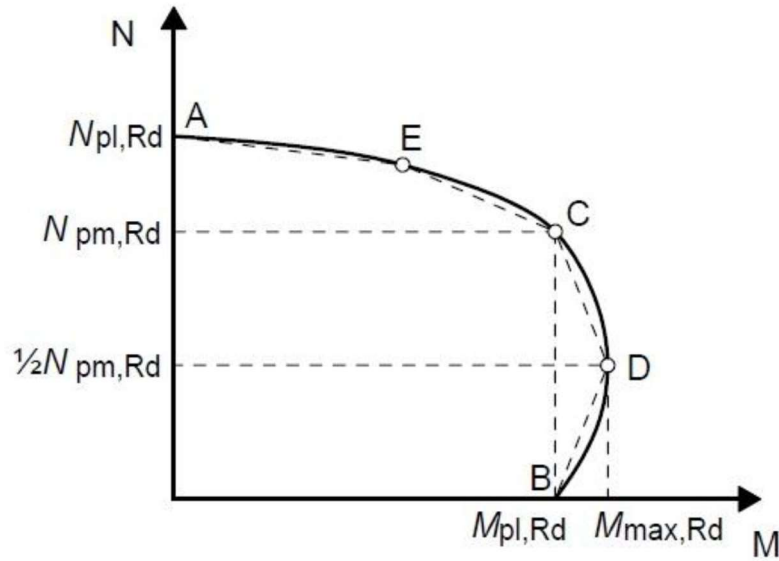
$$W_c = \frac{b_i h_i^3}{4} - 0.192 r_i^3 \quad (15)$$

Donatı ile güçlendirilen BDKE kirişlerin moment kapasitelerini hesaplarken ÇYTHYE uyarılarından hareketle basit eğilme durumuna karşı gelen ($N=0$, $M \neq 0$) karşılıklı etki diyagramını kullanmaktadır.

3.2.1.2. Çelik ve Beton ile Oluşturulan Kompozit Yapıların Tasarımı – EUROCODE4

Avrupa Standardı EC4 (EN 1994-1-1 Eurocode4, 2004), Avrupa Birliği'ndeki kompozit yapıların tasarımı için onaylanmış bir standarttır.

EC4'te, eğilme ve basınç yükü kombinasyonuna maruz kalan BDKE elemanının eğilme direnci, eksenel yük (N) ile eğilme momenti (M) arasındaki etkileşim eğrisinden belirlenebilir. BDKE elemanı için eğilme moment kapasitesinin belirlenmesinde Şekil 19'da gösterilen etkileşim eğrisindeki B noktası ile belirlenebilir.

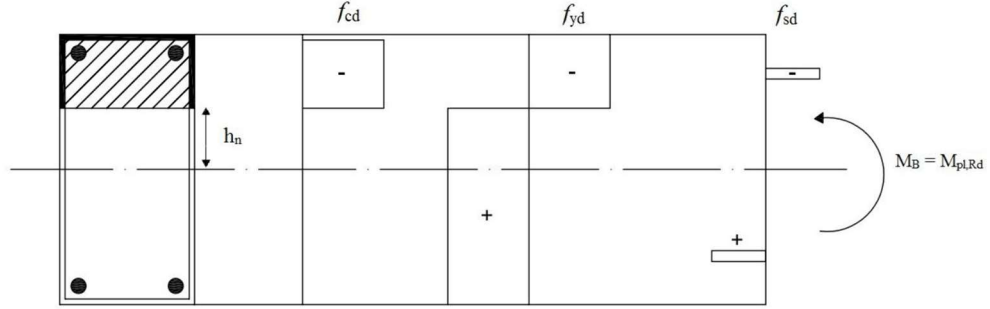


Şekil 19. BDKE elemanları için karşılıklı etkileşim (N-M) diyagramı

(Kaynak: EN 1994-1-1 Eurocode4 (2004))

EC4, BDKE elemanlarının eğilme kapasitesinin, çelik borunun basınç ve çekme etkisi altında akma dayanımına ulaşabileceği varsayılarak kompozit kesit boyunca plastik eğilme momenti olarak hesaplanabileceğini göstermektedir.

Diyagramın B noktasında Şekil 20’de de örneklendirilen basit eğilme etkisine karşı gelen (N=0, M≠0) durum için aşağıdaki denklemler önerilmektedir.



Şekil 20. Basit eğilme hali (N=0, M≠0)

(Kaynak: Güler (2012))

$$M_{pl,Rd} = M_{pl,Rd}(\text{çelik}) + M_{pl,Rd}(\text{beton}) + M_{pl,Rd}(\text{donatı}) \quad (16)$$

$$M_{pl,Rd} = f_y(W_{pa} - W_{pan}) + 0,5f_{ck}(W_{pc} - W_{pcn}) + f_{sk}(W_{ps} - W_{psn}) \quad (17)$$

Dairesel kesitler için;

$$W_{pc} = W - W_{pa} - W_{ps} \quad (18)$$

$$W = 1/6(D)^3 \quad (19)$$

$$W_{pa} = (1/6)(D^3 - (D - 2t)^3) \quad (20)$$

$$W_{ps} = \left(\frac{1}{6}\right)(D_s^3 - (D_s - 2t_s)^3) \quad (21)$$

$$h_n = \frac{A_c f_{cd}}{2Df_{cd} + 4t(2f_{yd} - f_{cd}) + 4t_s(2f_{sk} - f_{cd})} \quad (22)$$

$$W_{pan} = 2t(h_n)^2$$

$$W_{psn} = 2t_s(h_n)^2$$

$$W_{pcn} = (D - 2t - 2t_s)(h_n)^2$$

Dikdörtgen kesitler için;

$$W_{pa} = 0,25 BH^2 - 2/3(r + t)^3 - (r + t)^2(4 - \pi)(0,5H - t - r) - W_{pc} \quad (23)$$

$$W_{pc} = 0,25 (B - 2t)(H - 2t)^2 - 2/3r^3 - r^2 - (r + t)^2(4 - \pi)(0,5H - t - r) - W_{ps} \quad (24)$$

$$h_n = (A_c f_{ck} - A_{sn}(2f_{sk} - f_{ck})) / (2Bf_{ck} + 4t(2f_y - f_{ck})) \quad (25)$$

$$W_{pcn} = (B - 2t)(h_n)^2 W_{psn} \quad (26)$$

$$W_{pan} = 2t(h_n)^2 \quad (27)$$

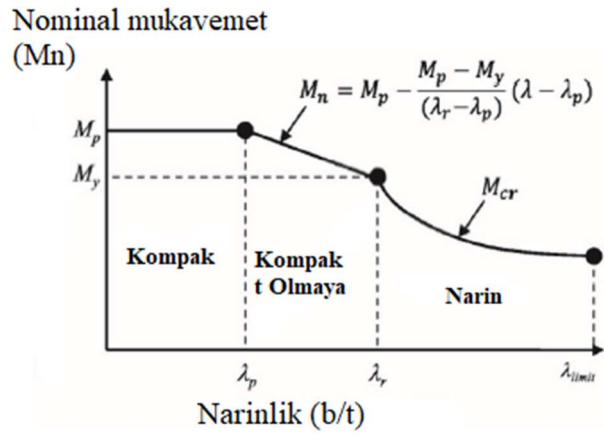
Bu denklemlerde, t çelik tüp et kalınlığını, h_n kesit merkezinden kesitin basınç bölgesine olan uzaklığı, W_{pa} , W_{pc} , W_{ps} sırasıyla çelik tüpün, betonun ve içinde varsa boyuna donatının plastik mukavemet momentlerini göstermektedir. W_{pan} , W_{pcn} , W_{psn} ise çelik tüpün, betonun ve boyuna çelik donatının kesit merkezinde $2h_n$ bölgesi içinde kalan plastik kesit modüllerini, r çelik tüpün atalet yarıçapını, f_{ck} , f_y ve f_{sk} sırasıyla betonun basınç dayanımını, çelik tüpün akma dayanımını ve BDKE kiriş içine konulan boyuna donatının akma dayanımını göstermektedir. A_c ve A_{sn} beton ve donatı alanını; H , B , D ise sırasıyla kesit yüksekliği, kesit genişliği ve kesit çapını temsil etmektedir.

3.2.1.3. Amerikan Şartnamesi (ANSI/AISC 360-16)

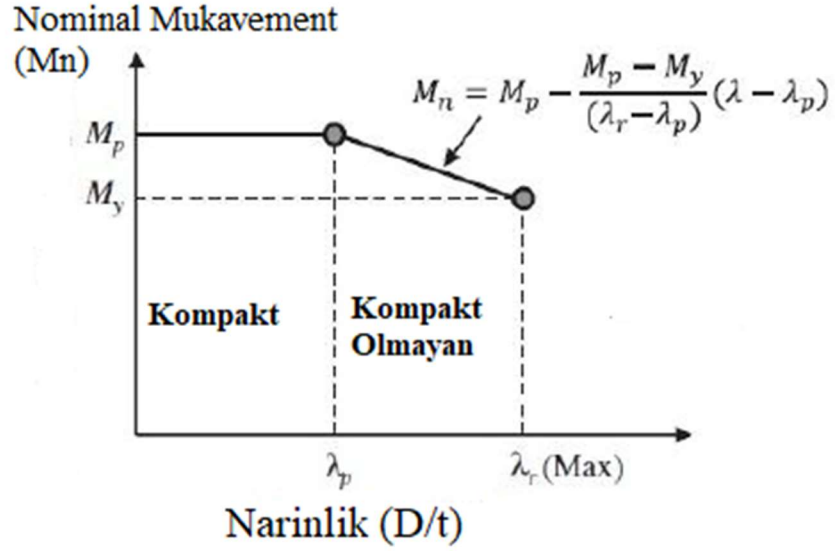
ANSI / AISC 360-16 şartnamesi (ANSI / AISC 360-16, 2016), Amerika Birleşik Devletleri'nde yapısal çelik tasarımı için kullanılan bir şartnamedir. Bu şartname, BDKE kirişlerinin tasarımı da dahil olmak üzere kompozit elemanların tasarımı ile ilgili bir bölüm içermektedir. Bu şartnamede plastik gerilme dağıtım yöntemi (PSDM) önerilmektedir.

Bu yöntem, en yaygın koşulların tasarım hesaplamaları için basit ve uygun bir yaklaşım sunmaktadır (ANSI / AISC 360-16, 2016). PSDM, kesitteki çelik kısmın basınç ve çekmede akma dayanımına (f_y) ulaşmasını ve beton çekirdeğinin dikdörtgen ve dairesel BDKE kiriş kesitleri için sırasıyla $0,85 f'_c$ ve $0,90 f'_c$ basınç dayanımına ulaşmasını önermektedir. Basınç dayanımındaki bu farkın, betonun sargılama etkisini temsil ettiği ileri sürülmektedir. Öte yandan, beton çekirdeğın çekme dayanımı, çekme bölgesinde betonun erken çatlaması nedeniyle ihmal edilmektedir (ANSI / AISC 360-16, 2016).

ANSI / AISC 360-16 yönetmeliği, BDKE kirişlerin eğilme kapasitesinin hesaplanabilmesi için kirişlerin narinlik oranlarına göre kompakt, kompakt olmayan ve narin olarak üçe gruba ayırır. Kompakt bir kiriş kesiti tam plastik moment kapasitesi sağlayabilir; bu nedenle nominal mukavemet (M_n) plastik moment kapasitesi (M_p) olarak hesaplanır. Kompakt olmayan bir bölüm akma momentine (M_y) ulaşabilir, ancak erken yerel burkulma nedeniyle plastik moment direncinin tamamını gerçekleştirmez. Şekil 21'da narinlik ile öngörülen eğilme kapasitesi ve Tablo 8'de dikdörtgen ve dairesel kesitler için narinlik sınırlamaları verilmektedir.



Şekil 21. Dikdörtgen kesitli BDKE kiriş



Şekil 22. Dairesel kesitli BDKE kiriş

(Kaynak: ANSI/AISC 360-16 (2016))

Tablo 8. BDKE kesitleri için narinlik sınırları

BDKE kesit	Narinlik Oranı λ	Narinlik Sınır Değerleri					
		λ_p	Kompakt	λ_r Kompakt olmayan	λ_{limit} Narin		
Dikdörtgen Kesit	B/t	2,26	$\sqrt{E_s/f_y}$	3,00	$\sqrt{E_s/f_y}$	5,00	$\sqrt{E_s/f_y}$
	H/t	3,00	$\sqrt{E_s/f_y}$	5,70	$\sqrt{E_s/f_y}$	5,70	$\sqrt{E_s/f_y}$
Dairesel kesit	D/t		$0,09E_s/f_y$		$0,31E_s/f_y$		$0,31E_s/f_y$

(Kaynak: ANSI/AISC 360-16 (2016))

Tablo 1’de geçen E_s ve f_y sırasıyla çeliğin elastik modülünü ve akma gerilmesini ifade eder. ANSI / AISC 360-16 yönetmeliğince kompakt kesitler için eğilme moment kapasitesi aşağıdaki denklemler ile bulunabilmektedir.

$$M_n = M_p \quad (28)$$

$$M_p = f_y b t_f (H - t_f) + f_y t_w (H - a_p)^2 + f_y t_w a_p^2 + 0,425 f'_c b (a_p - t_f)^2 \quad (29)$$

$$a_p = (2f_y H t_w + 0,35 f'_c b t_f) / (4f_y t_w + 0,85 f'_c b) \quad (30)$$

Bu denklemlerde a_p basınç bloğunun tarafsız eksene mesafesi, f'_c ve f_y sırasıyla betonun basınç dayanımını ve çelik tüpün akma dayanımını; H, B, t_f ve t_w sırasıyla kesit yüksekliği, genişliği, flanş kalınlığı ve gövde kalınlığıdır. Kompakt olmayan BDKE kesitlerinde eğilme momenti kapasitesi aşağıdaki denklemler ile bulunabilir.

$$M_n = M_p - ((M_p - M_y)(\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p)) \quad (31)$$

$$M_y = f_y b t_f (H - t_f) + \left(\frac{4}{3}\right) f_y t_w a_y + f_y t_w (H)^2 - 2a_y H + \frac{0,7}{3} f'_c b (a_y - t_f)^2 \quad (32)$$

$$a_y = (2f_y H t_w + 0,35 f'_c b t_f) / (4t_w f_y + 0,35 f'_c b) \quad (33)$$

Narin Kesitler için;

$$M_n = M_{cr} \quad (34)$$

$$M_{cr} = f_y b t_f (H - a_{cr} - 0,5t_f) + f_{cr} b t_f (a_{cr} - 0,5t_f) + \left(\frac{2}{3}\right) f_y t_w (H - a_{cr})^2 + \left(\frac{2}{3}\right) f_{cr} t_w a_{cr}^2 + \left(\frac{0,7}{3}\right) f'_c b (a_{cr} - t_f)^2 \quad (35)$$

$$a_{cr} = (f_y H t_w + (0,35 f'_c + f_y - f_{cr}) b t_f) / (t_w (f_y + f_{cr}) + 0,35 f'_c b) \quad (36)$$

$$f_{cr} = \frac{0,72 f_y}{\left(\frac{D}{t}\right) \frac{f_y}{E_s}^{0,2}} ; \text{dikdörtgen kesitler için} \quad (37)$$

$$f_{cr} = \frac{9E_s}{(b/t)^{0,2}} ; \text{dairesel kesitler için} \quad (38)$$

Burada a_{cr} basınç bloğunun kritik tarafsız eksene mesafesini, f_{cr} çeliğin kritik burkulma gerilmesini ve E_s çeliğin elastisite modülünü temsil etmektedir. ANSI / AISC 360-16 yönetmeliğine göre eğilme kapasitesinin hesabı için tarafsız eksenin konumu önemlidir.

Bir BDKE kirişi için etkin eğilme rijitliği (EI_{eff}), ANSI / AISC 360-16 yönetmeliğine göre tekil elemanların (çelik, beton ve donatı) eğilme rijitliklerinin aşağıdaki gibi toplanmasıyla elde edilebilir.

$$EI_{eff} = E_s I_s + C_3 E_c I_c + E_{sr} I_{sr} \quad (39)$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9 \quad (40)$$

$$E_c = 0.043 \sqrt{f'_c} \rho^{1.5} \quad (41)$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2 \quad (42)$$

$$A_g = A_s + A_c + A_{sr} \quad (43)$$

Denklemlerde I_s , I_c ve I_{sr} sırası ile çelik, çatlamamış beton ve donatının atalet momentini, E_s , E_c , ve E_{sr} çelik beton ve donatının elastisite modülünü, A_g , A_c , A_s ve A_{sr} çelik, beton ve donatının kesit alanlarını temsil etmektedir.

3.2.1.4. Çin Yönetmeliği (DBJ/T13-51-2010)

Çin'de BDKE yapı elemanlarının tasarımı ve inşası için birçok endüstriyel ve yerel standartlar bulunmaktadır. DBJ/T13-51-2010 adlı standart Fujian Eyaletindeki inşa edilen yapıların BDKE elemanları için kullanılan bir standarttır. Bu standart BDKE yapı elemanlarının eğilme momenti kapasitelerinin hesaplanmasına ilişkin kurallarda Han (Han, 2004) tarafından geliştirilen tasarım modelini temel almıştır. DBJ/T13-51-2010

DBJ / T13-51-2010'da BDKE kirişinin nihai moment kapasitesi (M_u) şu şekilde hesaplanabilir:

$$M_u = \gamma_m W_{sc} f_{sc} \quad (44)$$

Dikdörtgen kesitler için;

$$\gamma_m = 1,04 + 0,48 \ln (\xi + 0,1) \quad (45)$$

$$f_{sc} = (1,18 + 0,85 \xi) f_{cu,k} \quad (46)$$

$$W_{sc} = (BD^2)/6 \quad (47)$$

$$\xi = (A_s f_y)/(A_c f_{cu,k}) \quad (48)$$

Dairesel kesitler için;

$$Y_m = 1,10 + 0,48 \ln (\xi + 0,1) \quad (49)$$

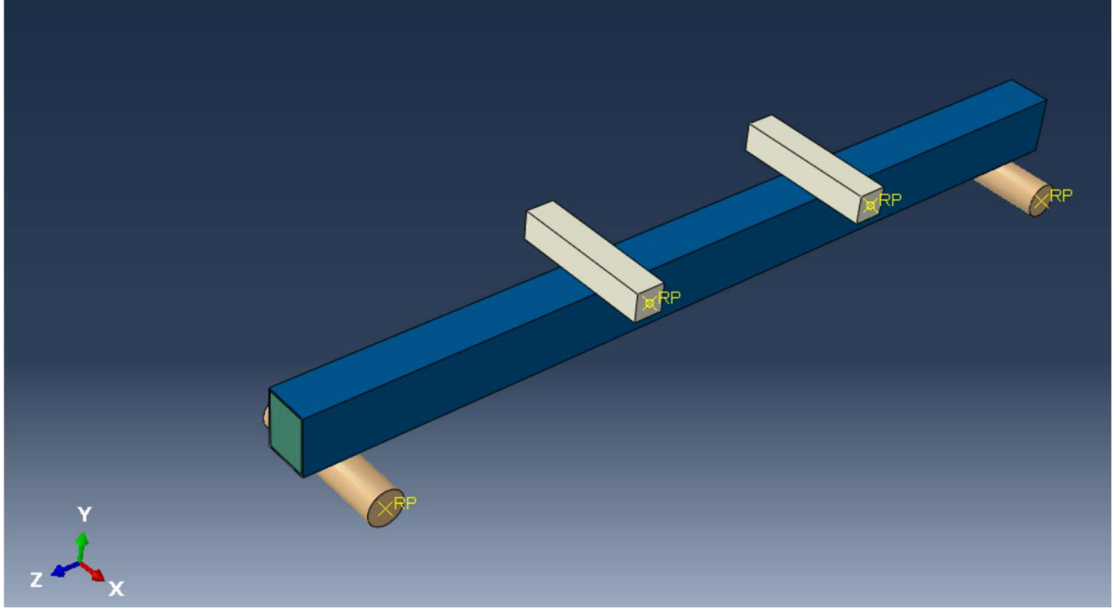
$$f_{sc} = (1,14 + 1,02 \xi) f_{cu,k} \quad (50)$$

$$W_{sc} = (\pi D^3)/32 \quad (51)$$

Bu denklemlerde Y_m eğilme kapasitesi indeksi; f_{sc} kompozit kesitin akma dayanımı; W_{sc} kompozit kesitin kesit modülü; ξ sargılama faktörü; $f_{cu,k}$ standart küp beton numunenin basınç dayanımı; f_y çelik tüpün standart akma dayanımı; A_s ve A_c sırasıyla çelik tüpün ve betonun en kesit alanı; B ve D ise kesit genişliği ve kompozit kesitin çapı olarak tanımlanır.

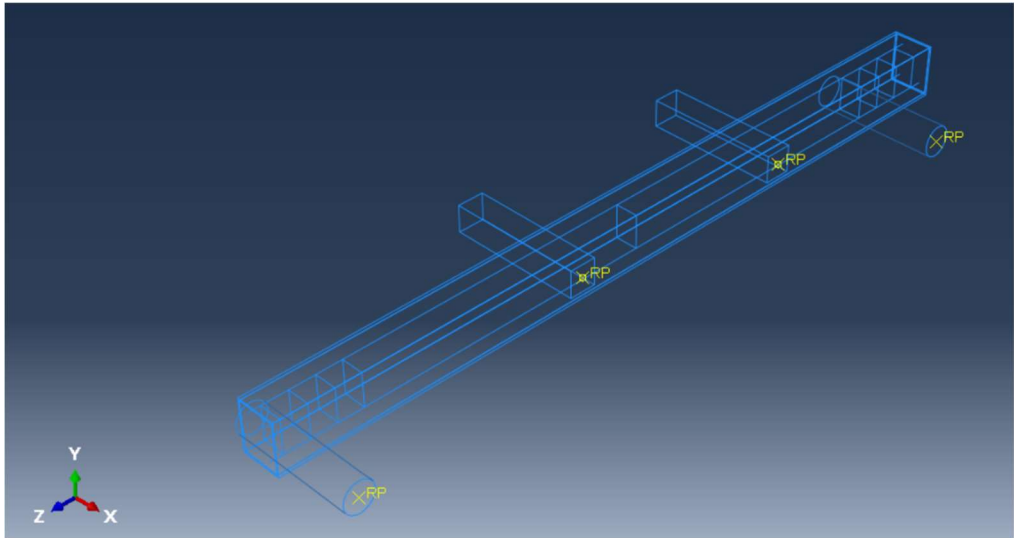
3.2.2. Sonlu Elemanlar Yazılımı ile Numerik Çalışma

Karmaşık mühendislik problemlerinin çözümlenmesi uzun zaman aldığından kısa zamanda çözmek amacıyla bu problemlere eşdeğer fakat daha basit hale getirilmiş çözüm metotlarının temelinde sonlu elemanlar analizleri bulunmaktadır. Tez çalışmasının bu başlığında farklı etriye aralıklarına sahip stent ilaveli BDKE kirişleri eğilme dayanımlarının sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yer almaktadır. Bu tez için en uygun yazılım ABAQUS sonlu elemanlar paket programı olarak belirlenmiştir.



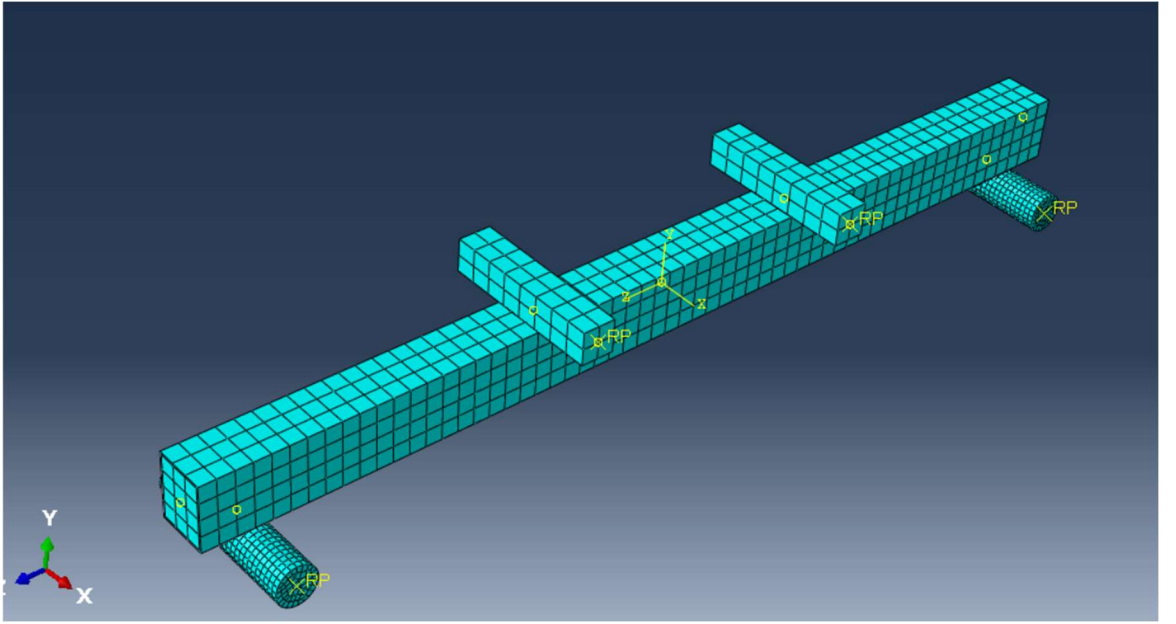
Şekil 23. Geometrik modelleme izometrik görünüş

BDKE kirişlerinin modellenmesi için beton, çelik tüp, donatı ve stentler ayrı ayrı modellenmiştir. Modelleme yapılırken beton ve çelik tüp elemanları 3 boyutlu (solid) elemanı olarak modellenirken stent elemanları wire olarak, deneysel çalışmada kullanılan özelliklere göre yük ve mesnet noktaları rigid element olarak modellenmiştir. Yapı elemanları oluşturulduktan sonra ise önceki bölümlerde verilen BDKE kirişleri modellenmiştir (Şekil 23 ve 24).



Şekil 24. BDKE kirişlerinin modellenmesi

Modeller oluşturulurken mesnet ve yükleme noktalarına rigid body tanımlaması yapılmıştır. Donatılar ve stentler beton içerisine gömülü olduğundan modellemede bu elemanlar embedded region olarak seçilmiştir. Çelik tüpün iç yüzeyi ile beton elemanın dış yüzeyi arasında oluşan etkileşimi programa tanıtmak için (surface-to-surface) etkileşimi oluşturulmuştur. Yükleme ve sınır koşulları belirlendikten sonra oluşturulan kirişler meshlenerek analizi yapılmıştır (Şekil 25). Elde edilen bulgular deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler ile kıyaslanmıştır.



Şekil 25. BDKE kirişlerinin modellenmesi

3.2.3. Deneysel Çalışma

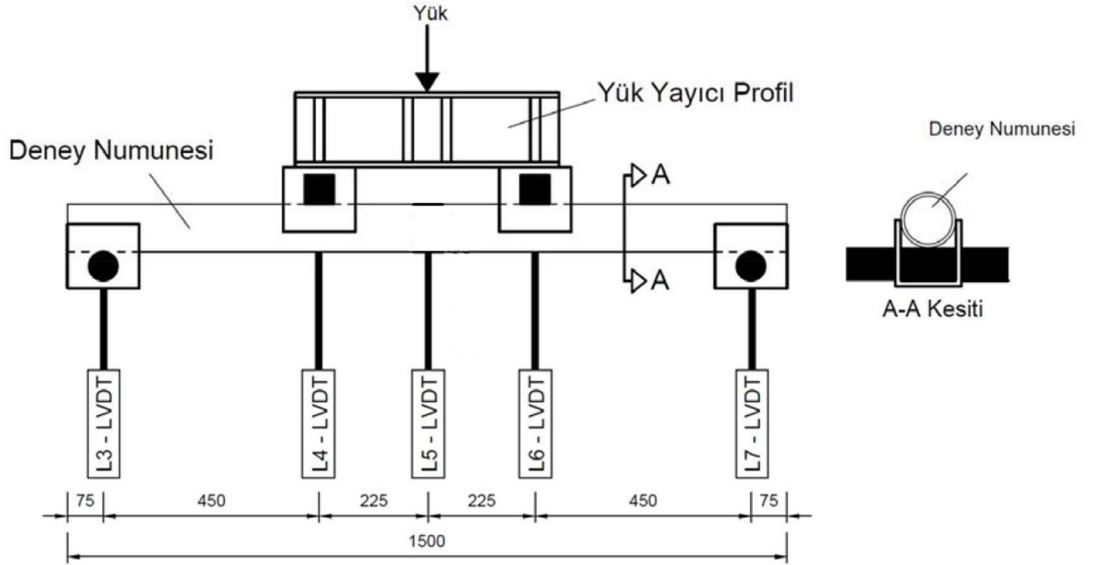
Bu tez çalışmasında farklı etriye aralıklarına sahip stent ilaveli BDKE kirişleri eğilme dayanımlarının tespitinde yaygın olarak kullanılan 4 nokta eğilme deneyine tabii tutulmuştur. KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı laboratuvarında eğilme deneyleri yapılmıştır. Deney numunesi olarak tasarlanan kirişler 1500 mm toplam uzunluğa sahip olup mesnetler arası serbest açıklığı 1350 mm'dir. Uygulanan iki yük arası saf moment açılığı 450 mm seçilmiştir. Deneyde oluşması planlanan düşey deformasyonlar, kiriş serbest açıklığının, L, ortasında, L/2, ve yük uygulanan noktaların altında, L/3 ve 2L/3, ölçülmüştür. Mesnet noktalarında

deformasyon gerçekleşmesi ihtimaline karşın mesnet noktalarının alt kısımlarına da LVDT'ler yerleştirilerek kontroller sağlanmıştır.

Deney sırasında oluşacak yanal kuvvetler doğrultusunda kiriş numunelerinin kaymaması ve deneyin doğruluğunu değiştirmemesi için yükleme noktaları kare kesitli ve mesnet noktaları dairesel kesitli olarak konumlandırılmıştır (Sancıoğlu S., 2020).



Şekil 26. Mesnet noktaları (a) Yük, (b) Mesnet



Şekil 27. Deney düzeneği şematik gösterimi (Tüm ölçüler mm cinsindedir.)

Bu tez çalışması kapsamında aynı çelik kesit alanına sahip kare, dikdörtgen ve dairesel kesitli çelik profiller kullanılmıştır. Her bir kesit tipi için 4 farklı etriye aralığına sahip gruplar oluşturulmuş ve toplamda 23 adet kiriş numunesi 4 nokta eğilme testine tabii tutulmuştur.

Profiller içerisine doldurulan betonun dayanımı C25/30 ve kullanılan yapısal çelik sınıfı S235 olarak seçilmiştir. Kirişlerde kullanılan stent elemanının akma gerilmesi (f_y) 420 MPa olarak seçilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Standartlarla ve Geliştirilen Yöntemlerle Yapılan Analitik Çalışma Sonuçları

Sonuç kısmının bu bölümünde beton dolgulu kompozit elemanların eğilme dayanımları Bölüm 3.2.1’de verilen uluslararası standartlar ve yönetmeliklere göre hesaplanmıştır.

4.1.1. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2018 – ÇYTHYE

ÇYTHYE Bölüm 12 ‘de belirtilen kompozit elemanlar için geliştirilen karşılıklı etki diyagramları kullanılarak beton dolgulu kompozit elemanların bileşik eğilme etkisindeki dayanım denklemleri oluşturulmuştur. Elde edilen diyagramlardan aksel kuvvetin 0 kabul edildiği durumdaki formüller kesitin karakteristik eğilme momentini temsil etmektedir. Stent ile güçlendirilen kesitler için spesifik bir formül bulunmadığından karşılıklı etkileşim diyagramı kullanılmıştır. ÇYTHYE ile elde edilen analitik sonuçlar incelendiğinde dairesel enkesitli BDKE kirişlerin karakteristik eğilme momenti dayanımlarının, dikdörtgen enkesitli BDKE kirişlerin karakteristik eğilme momenti dayanımları neredeyse aynı olduğu gözlemlenmiştir. Dairesel enkesitli BDKE kirişlerin karakteristik eğilme momenti dayanımlarının, kare enkesitli BDKE kirişlerin karakteristik eğilme momenti dayanımları kıyaslandığında yaklaşık %2 azalma hesaplanmıştır (Tablo 9).

Elde edilen araştırma sonuçları Sancioğlu (2020) tarafından yazılan tez çalışmasında içerisi boş kesitli kirişler (İBÇE) ile kıyaslanmıştır. İçerisine stent eklenen beton dolgulu dairesel kesitli kirişler İBÇE kirişlerinden %21 daha fazla eğilme dayanımına sahiptir. İçerisine stent eklenen beton dolgulu dikdörtgen kesitli kirişler boş kesitlerden %49 daha fazla eğilme dayanımına sahiptir. Kare kesitli kirişler incelendiğinde ise stent eklenmiş beton dolgulu kirişler İBÇE den %41 daha fazla eğilme kapasitesine sahiptir.

Tablo 9. Stentli BDKE kirişlerin ÇYTHYE’ye göre karakteristik eğilme momenti dayanımları

Profil Kesiti	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
Daire	11,08
Dikdörtgen	11,06
Kare	11,36

4.1.2. Çelik ve Beton ile Oluşturulan Kompozit Yapıların Tasarımı – EUROCODE4

EUROCODE4 ‘e göre yapılan çözümlerden elde edilen stentli beton dolgulu kompozit elemanların akma noktasındaki karakteristik eğilme momenti dayanımları Tablo 10’da verilmiştir. Elde edilen araştırma sonuçları Sancioğlu (2020) tarafından yazılan tez çalışmasında İBÇE kirişler ile karşılaştırılmıştır. İçerisine stent eklenen beton dolgulu dairesel kesitli kirişler İBÇE kirişlerinden %46 daha fazla eğilme dayanımına sahip olduğu, içerisine stent eklenen beton dolgulu dikdörtgen kesitli kirişler İBÇE kirişlerinden %61 ve kare kesitli kirişler incelendiğinde ise stent eklenmiş beton dolgulu kirişler İBÇE kirişlerden %46 daha fazla eğilme kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir.

Tablo 10. Stentli BDKE kirişlerin EC4’e göre karakteristik eğilme momenti dayanımları

Profil Kesiti	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
Daire	13,36
Dikdörtgen	11,93
Kare	11,72

4.1.3. Amerikan Şartnamesi (ANSI/AISC 360-16)

AISC 360-16 'da verilen formüllere göre yapılan çözümlerden elde edilen stentli beton dolgulu kompozit elemanların akma noktasındaki karakteristik eğilme momenti dayanımları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Stentli BDKE kirişlerin AISC 360-16'ya göre karakteristik eğilme momenti dayanımları

Profil Kesiti	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
Daire	12,73
Dikdörtgen	10,56
Kare	11,35

4.1.4. Çin Yönetmeliği (DBJ/T13-51-2010)

Çin yönetmeliğinde verilen formüllere göre yapılan çözümlerden elde edilen stentli beton dolgulu kompozit elemanların akma noktasındaki karakteristik eğilme momenti dayanımları Tablo 12'de verilmiştir. Elde edilen araştırma sonuçları Sancioğlu (2020) tarafından yazılan tez çalışmasında İBÇE kirişleri ile karşılaştırılmıştır. İçerisine stent eklenen beton dolgulu dairesel kesitli kirişler İBÇE kirişlerinden %45 daha fazla eğilme dayanımına sahip olduğu, içerisine stent eklenen beton dolgulu dikdörtgen kesitli kirişler İBÇE kirişlerinden %47 ve kare kesitli kirişler incelendiğinde ise stent eklenmiş beton dolgulu kirişler İBÇE kirişlerden %45 daha fazla eğilme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 12. Stentli BDKE kirişlerin DBJ/T13-51-2010'a göre karakteristik eğilme momenti dayanımları

Profil Kesiti	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
Daire	13,30
Dikdörtgen	10,85
Kare	11,64

4.2. Analitik Bulgularının Karşılaştırılması

Yukarıda verilen yönetmeliklere göre analitik olarak hesaplanan stentli beton dolgulu kompozit kirişler karakteristik eğilme moment dayanımları bakımından karşılaştırılmıştır. Stentli BDKE kirişleri incelendiğinde dairesel kesitlerde akma noktasındaki maksimum eğilme kapasitesi EC4 yönetmeliğinden elde edilmiştir. Dairesel kesitli stentli BDKE kirişinin eğilme kapasitesi EC4 ile ÇYTHYE, AISC 360/16 yönetmelikleri ile kıyaslandığında sırasıyla %20, %40 artış göstermektedir. Stentli dikdörtgen kesitli BDKE kirişleri incelendiğinde akma noktasındaki maksimum eğilme kapasitesi EC4 yönetmeliğinden elde edilmiştir. Dikdörtgen kesitli stentli BDKE kirişinin eğilme kapasitesi EC4 ile ÇYTHYE, AISC 360/16 ve Çin yönetmelikleri ile kıyaslandığında sırasıyla %7, %13 ve %10 artış göstermektedir. Stentli kare kesitli BDKE kirişleri incelendiğinde akma noktasındaki maksimum eğilme kapasitesi EC4 yönetmeliğinden elde edilmiştir. Kare kesitli stentli BDKE kirişinin eğilme kapasitesi EC4 ile ÇYTHYE, AISC 360/16 yönetmelikleri ile kıyaslandığında sırasıyla %3, %28 artış göstermektedir.

Tablo 13. Stentli BDKE kirişlerinin analitik karşılaştırılması

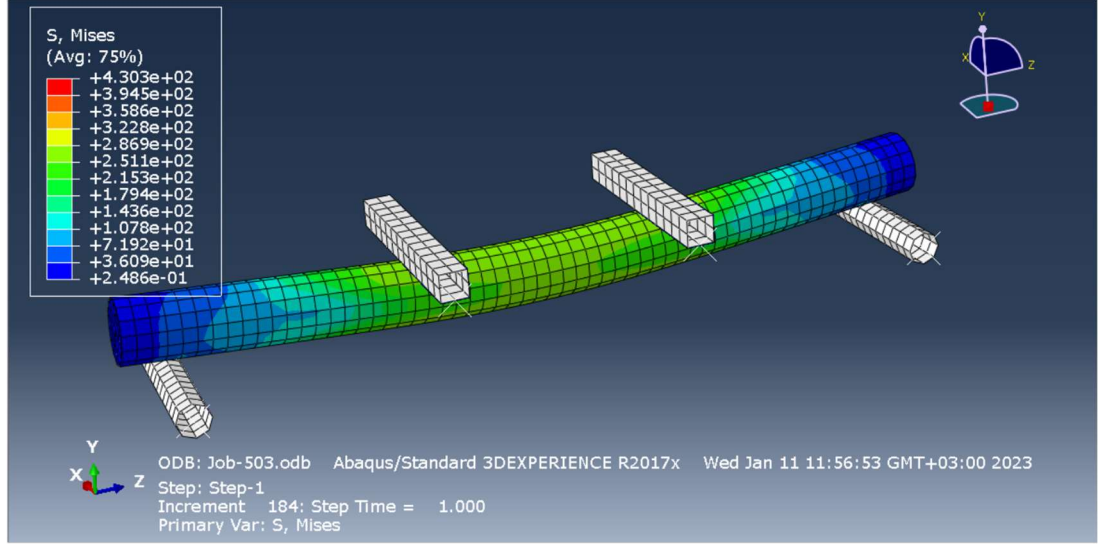
Profil Kesiti	ÇYTHYE (kN.m)	EC4 (kN.m)	AISC 360/16 (kN.m)	Çin (kN.m)
Daire	11,08	13,36	12,73	13,30
Dikdörtgen	11,06	11,93	10,56	10,85
Kare	11,36	11,72	11,35	11,64

4.3. Numerik Analiz Bulguları

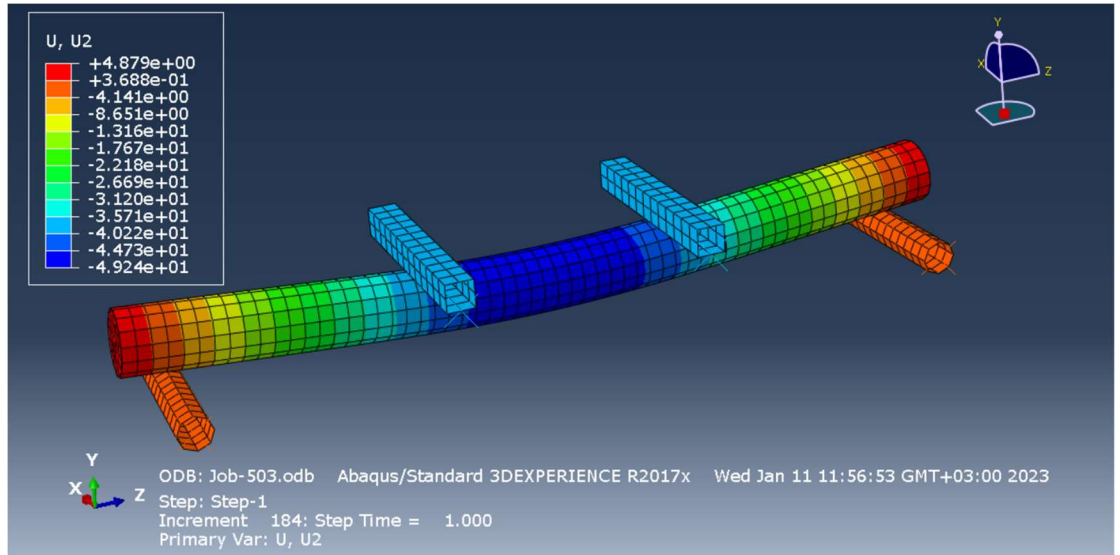
Deneysel çalışmada kullanılan beton basınç değerleri ve çelik çekme deneylerinden elde edilen malzemelerin mekanik özelliklerinin tanımlanmasıyla ABAQUS sonlu elemanlar yazılımında oluşturulan stentli BDKE kirişlerinin analiz sonucunda elde edilen karakteristik akma momenti dayanımları ve akma noktasındaki orta nokta deplasman değerleri bu bölümde sunulmaktadır.

4.3.1. Dairesel kesitli kirişler

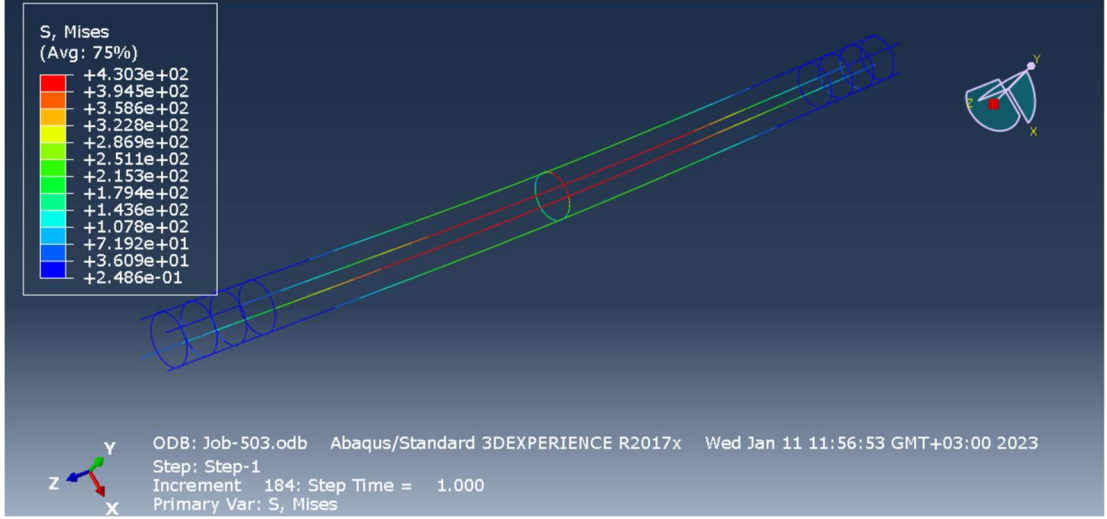
Stentli dairesel kesitli BDKE kirişlerde akma gerilmesi, kirişlerin alt kısımlarına yerleştirilen stentlerde olduğu gözlemlenmiştir. Kiriş ortasının alt ve üst konumlarındaki gerilmelerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Uygulanan yükler altında dairesel kirişlerde oluşan gerilmeleri gösteren analiz sonuçları aşağıda gösterilmiştir.



(a)

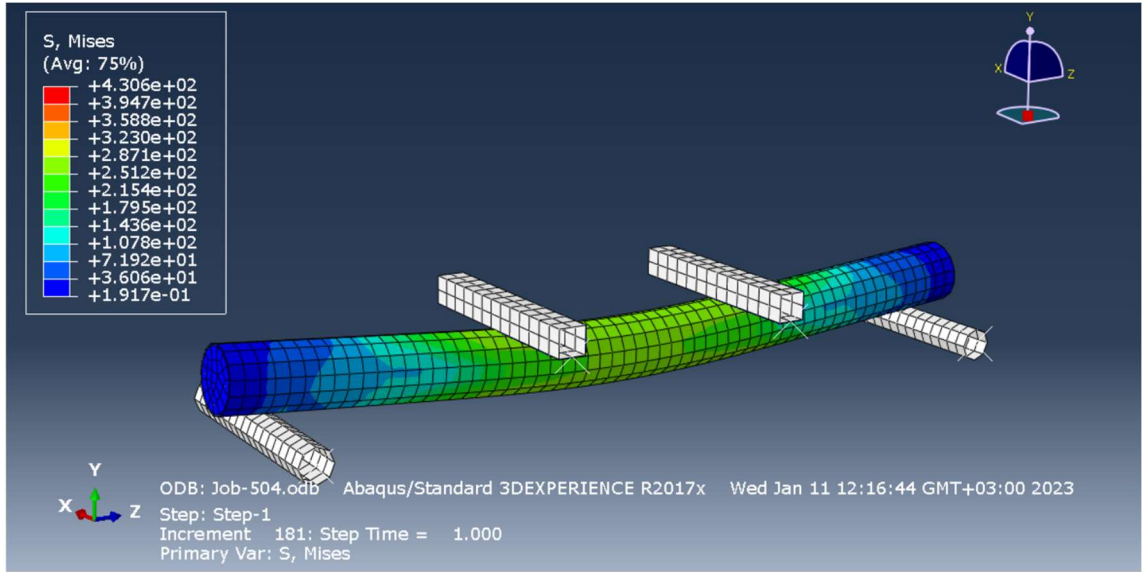


(b)

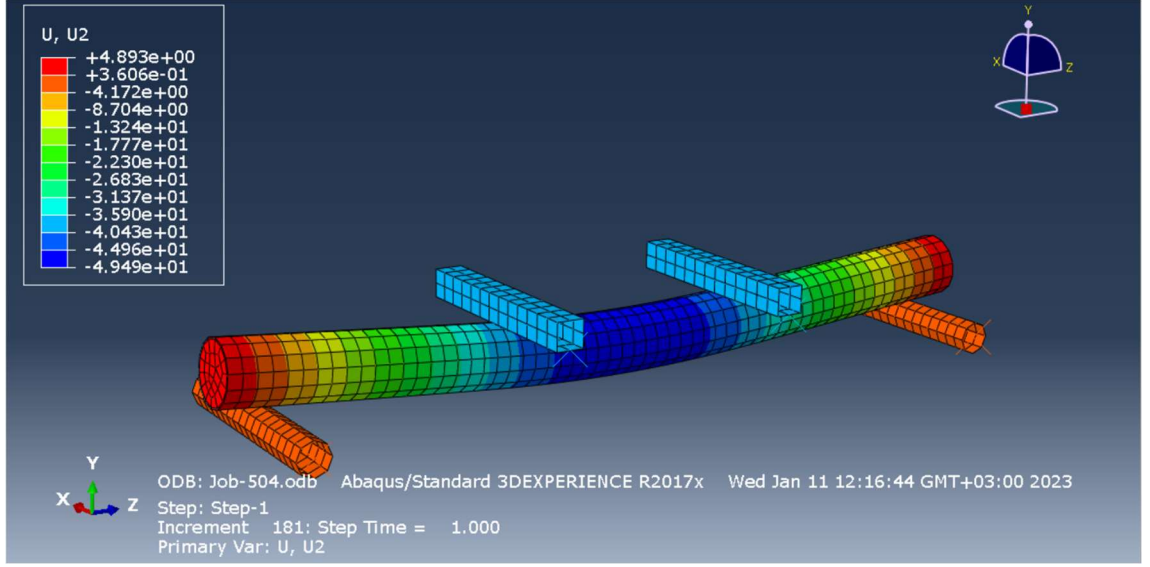


(c)

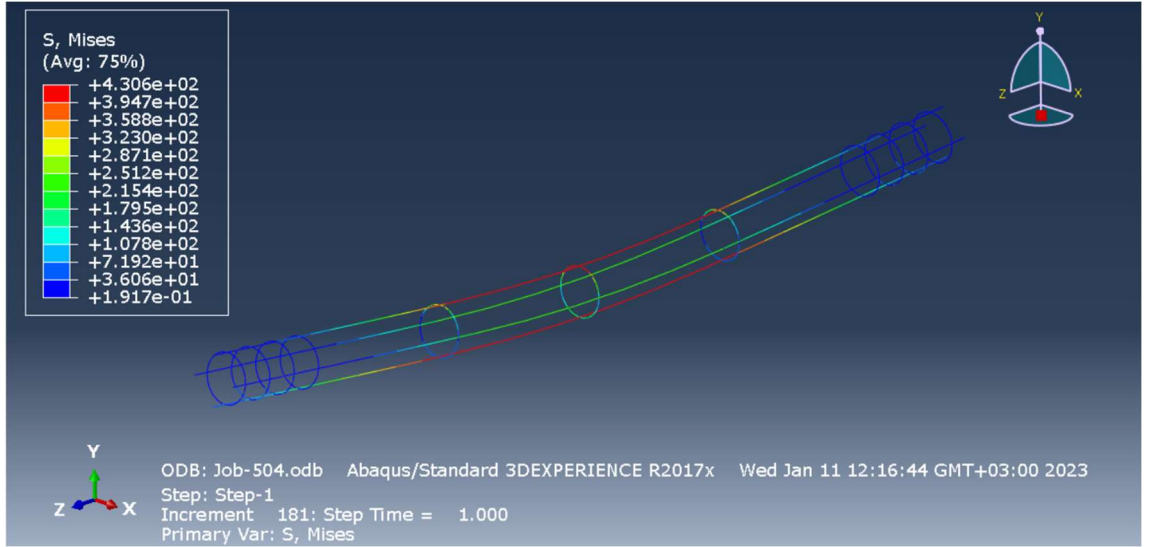
Şekil 28. GR1-DR1/DR2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler



(a)

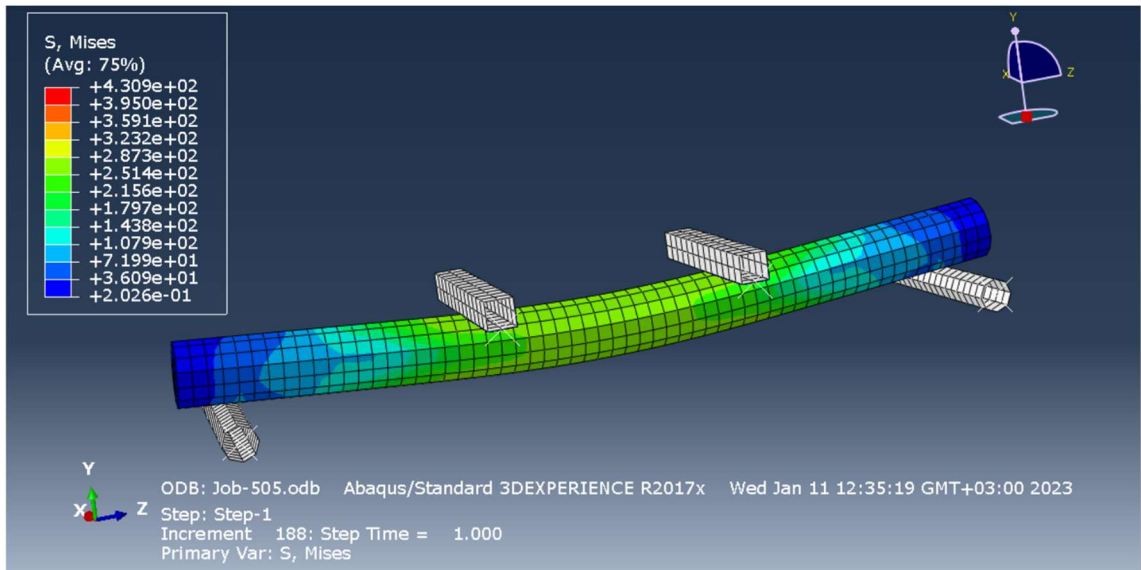


(b)

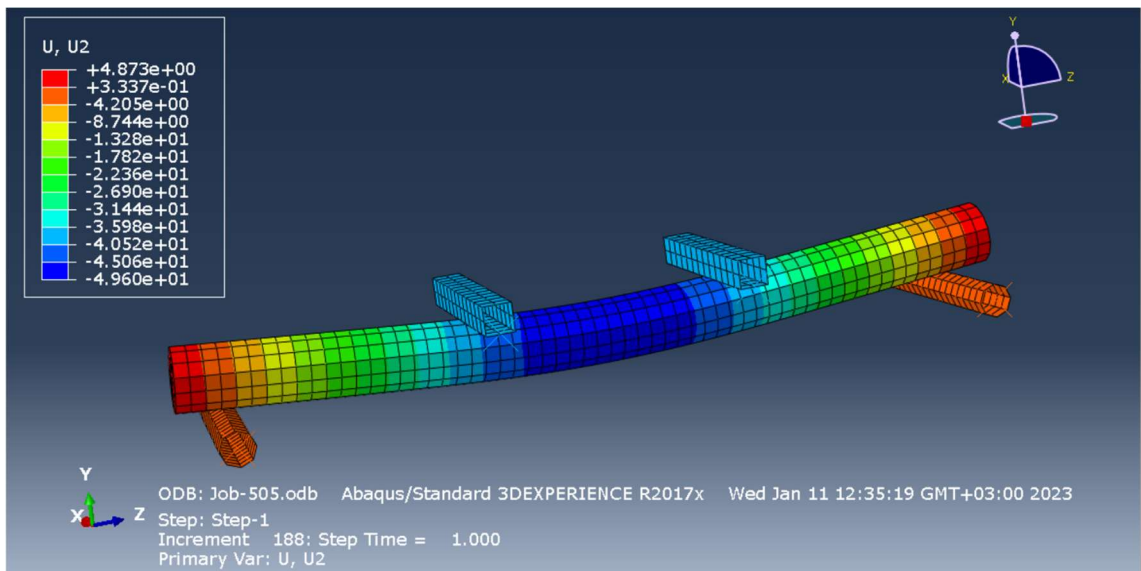


(c)

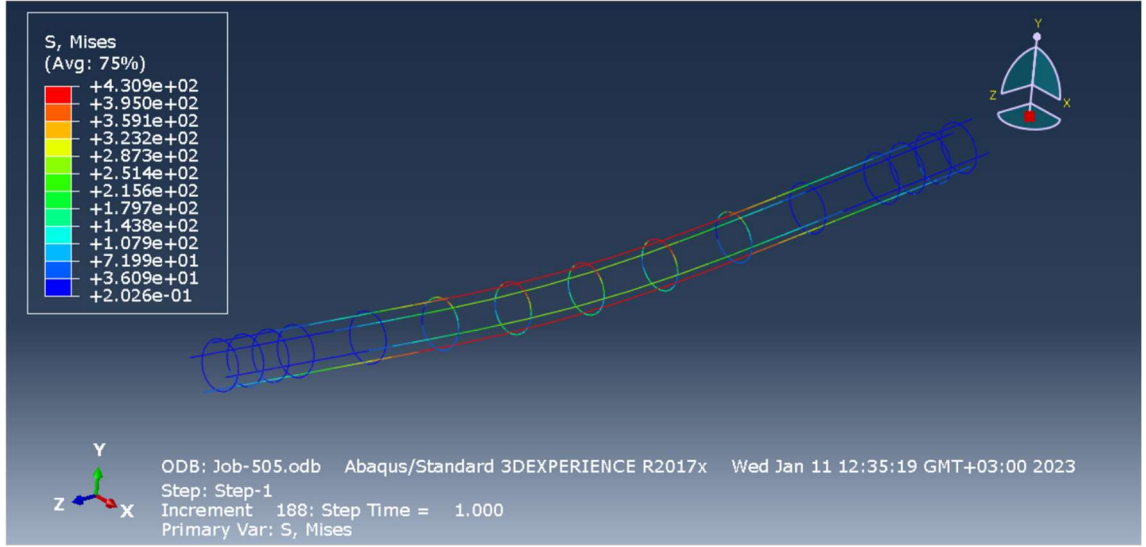
Şekil 29. GR2-DR1/DR2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler



(a)

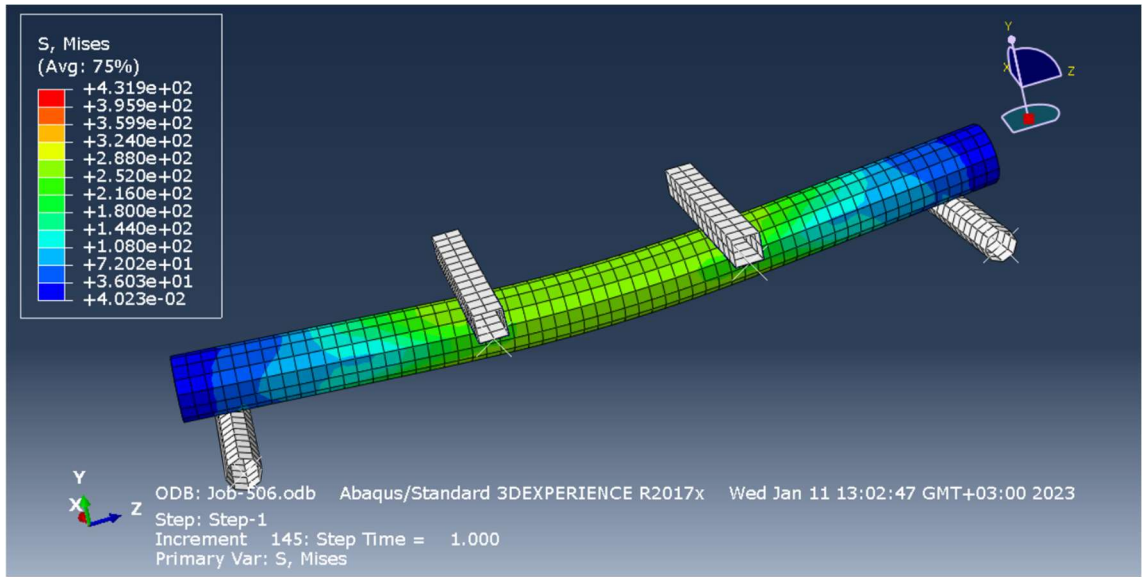


(b)

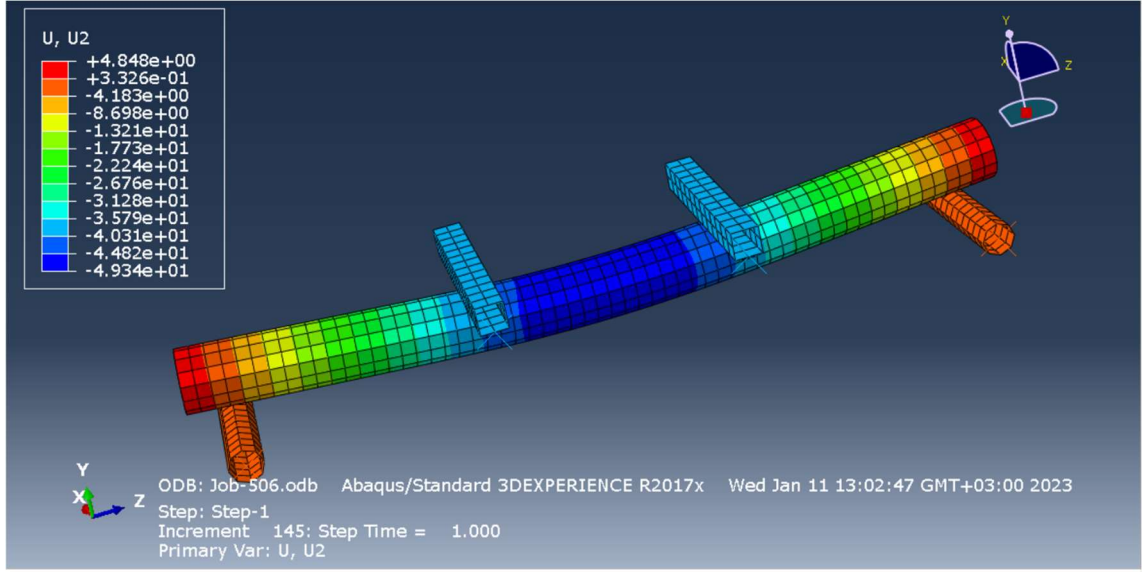


(c)

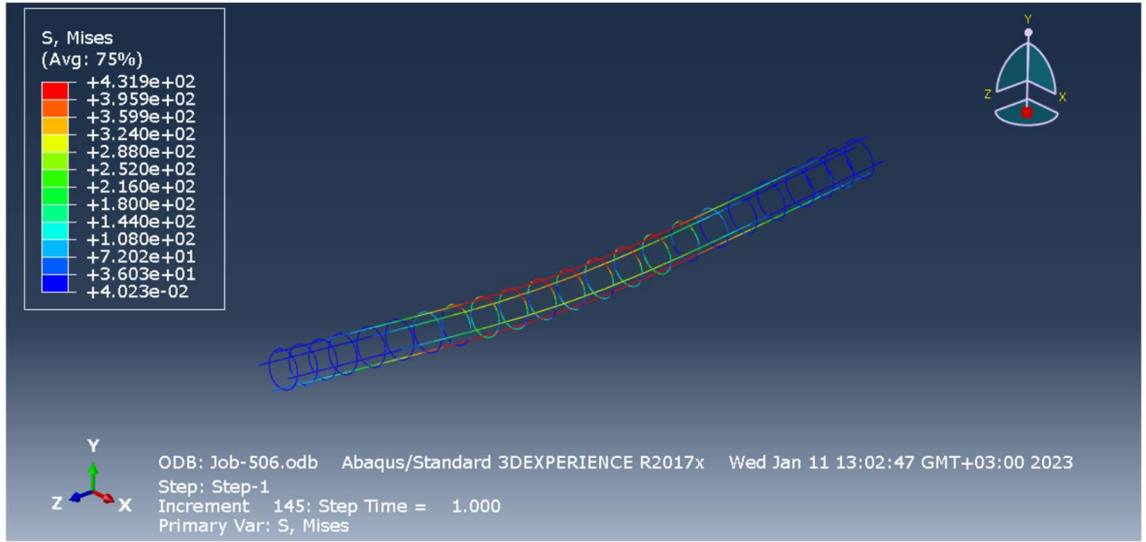
Şekil 30. GR3-DR1/DR2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler



(a)



(b)

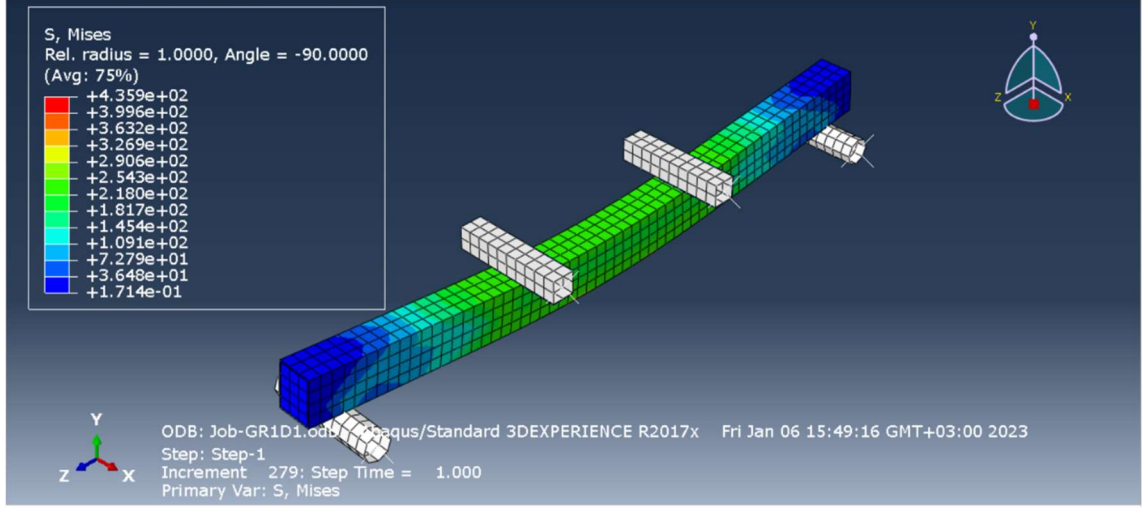


(c)

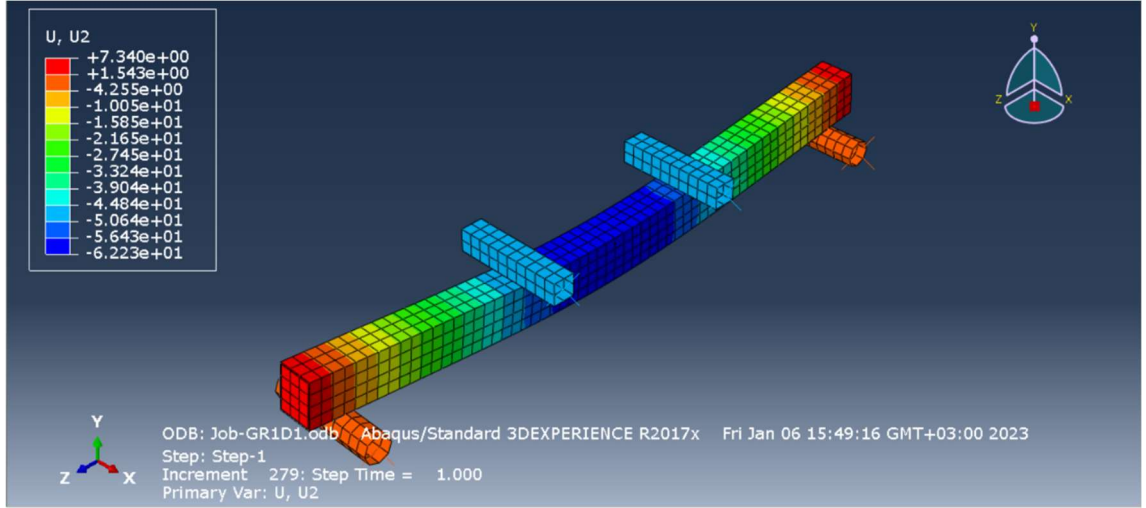
Şekil 31. GR4-DR1 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler

4.3.2. Dikdörtgen kesitli kirişler

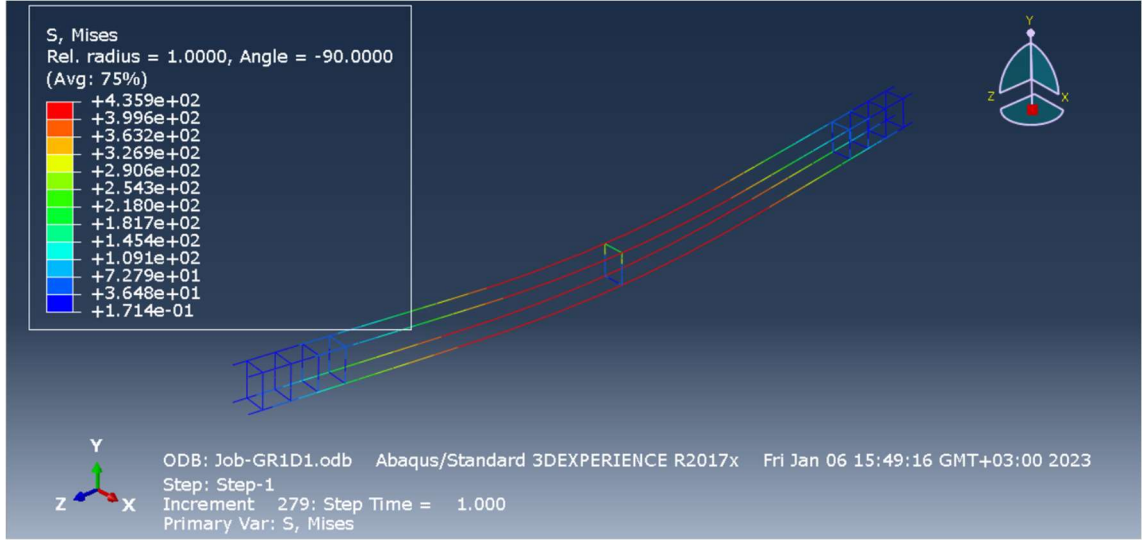
Stentli dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerde akma gerilmesi, kirişlerin alt kısımlarına yerleştirilen stentlerde olduğu gözlemlenmiştir. Kiriş ortasının alt ve üst konumlarındaki gerilmelerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Uygulanan yükler altında dikdörtgen kirişlerde oluşan gerilmeleri gösteren analiz sonuçları aşağıda gösterilmiştir.



(a)

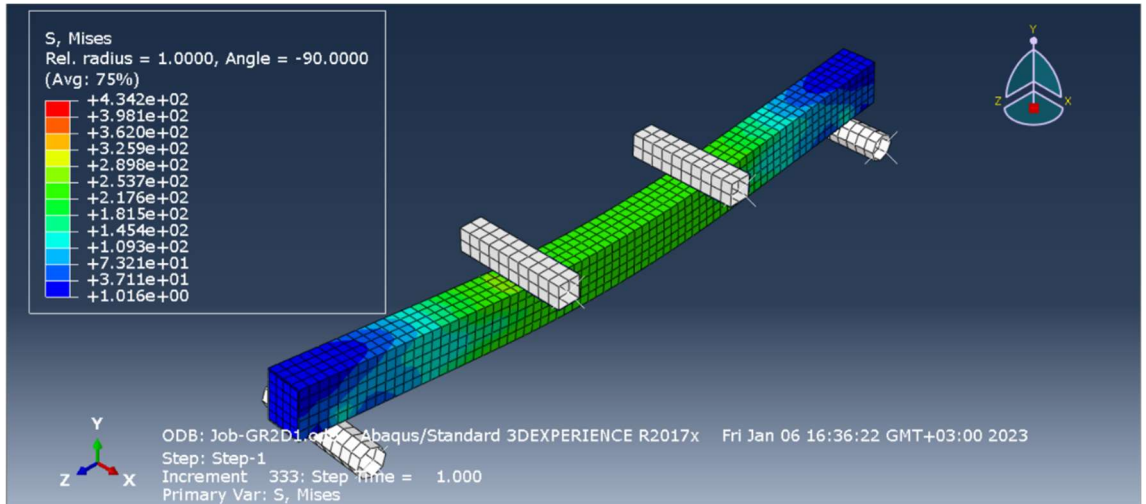


(b)

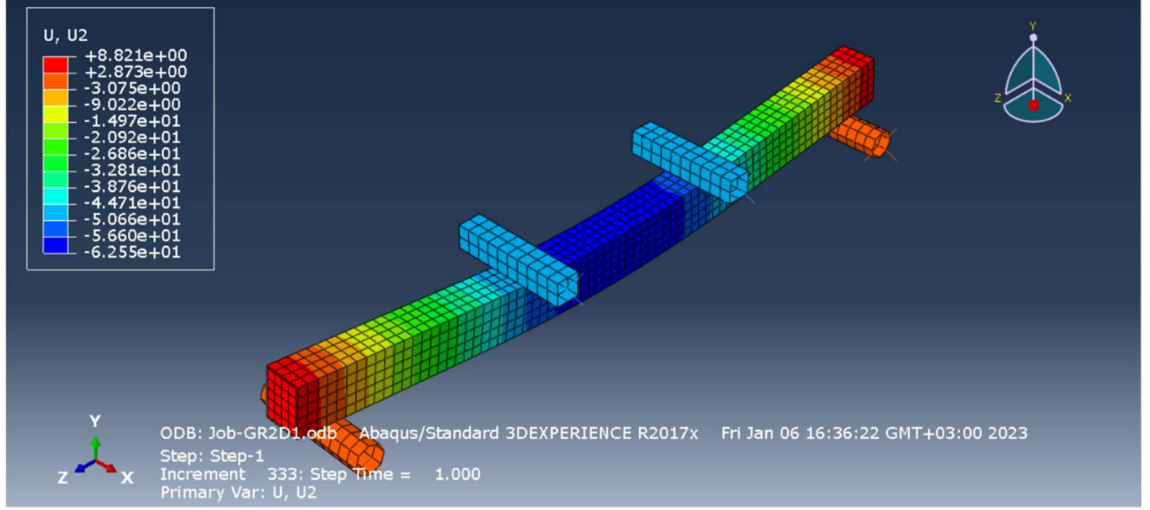


(c)

Şekil 32. GR1-D1/D2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler



(a)

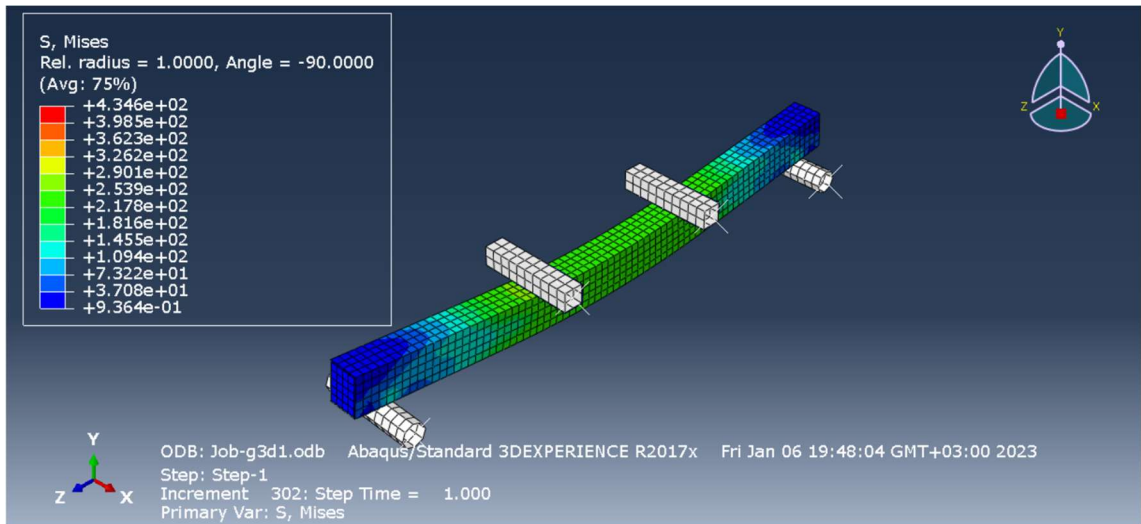


(b)

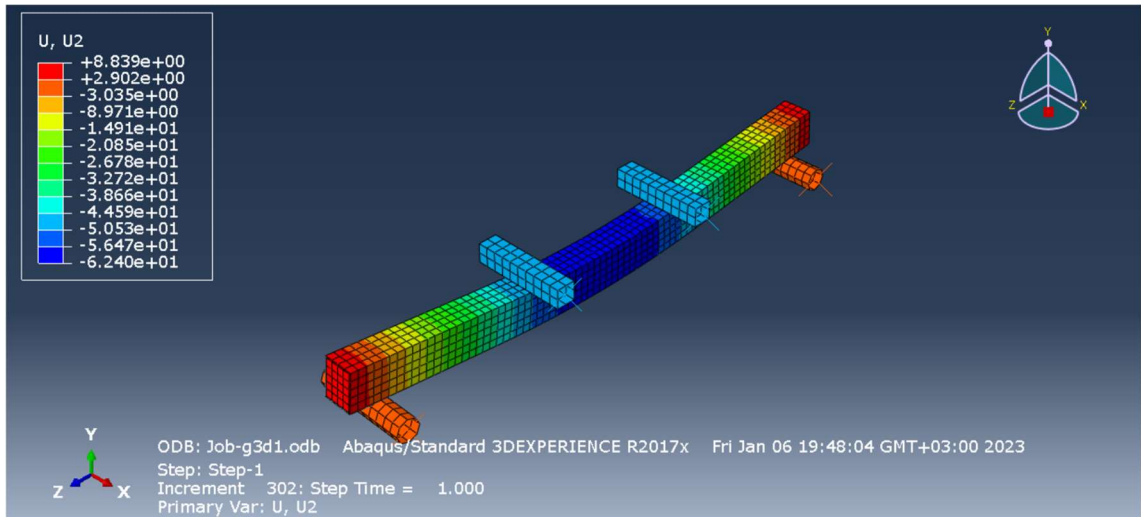


(c)

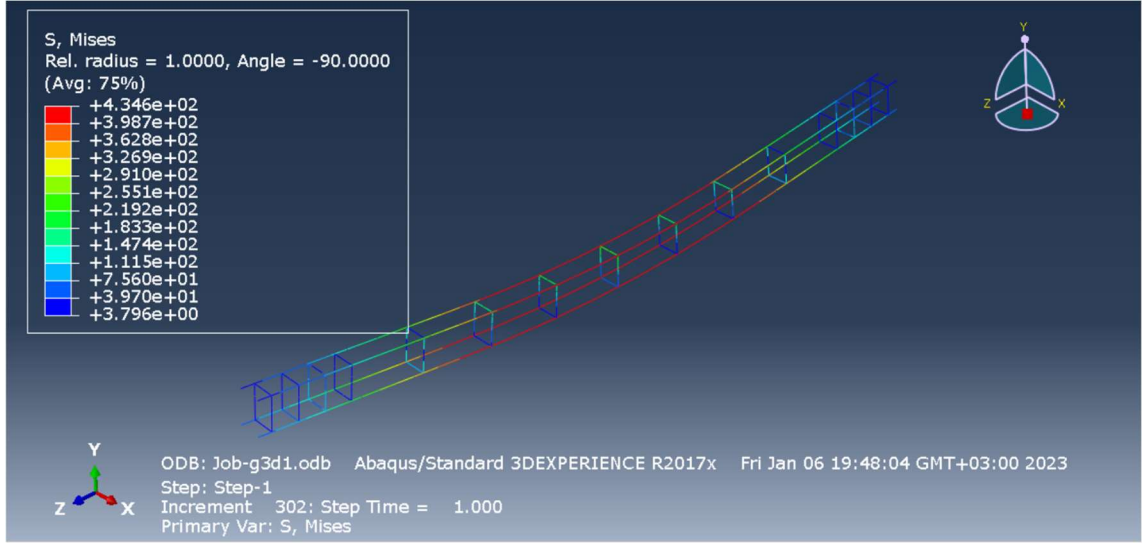
Şekil 33. GR2-D1/D2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler



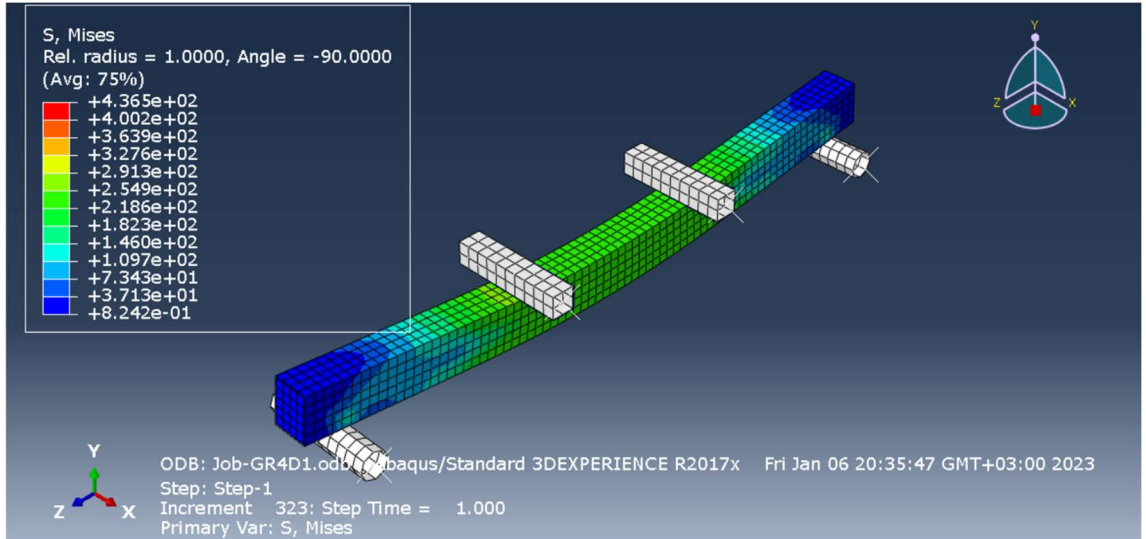
(a)



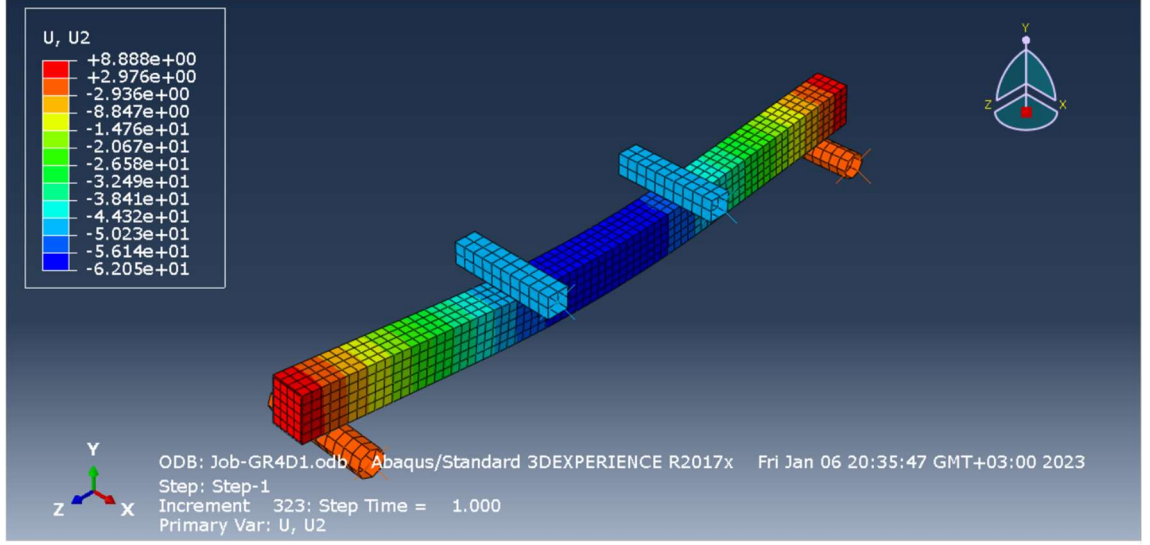
(b)



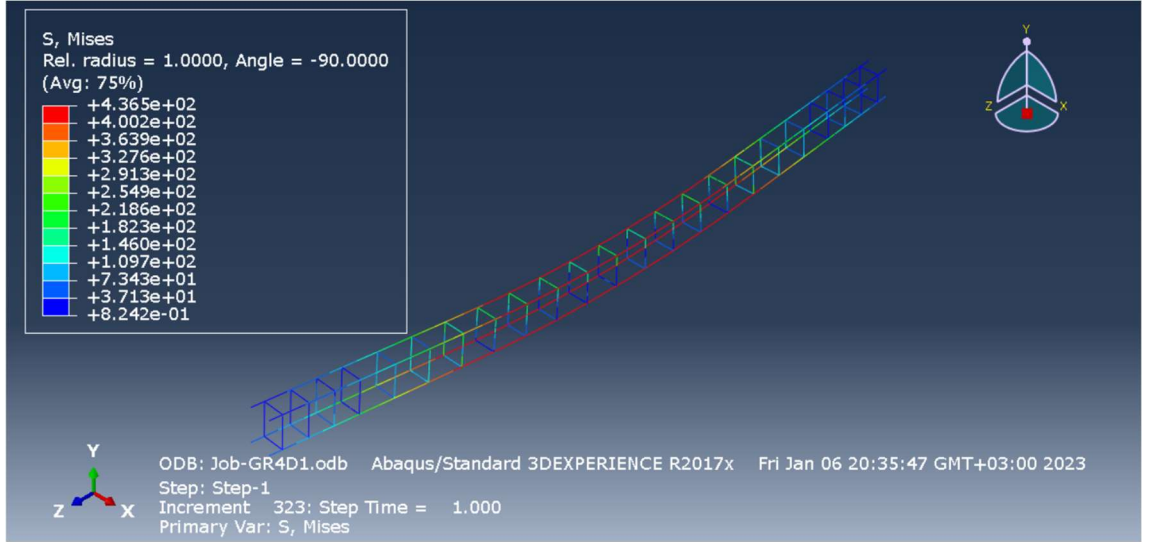
Şekil 34. GR3-D1/D2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler



(a)



(b)

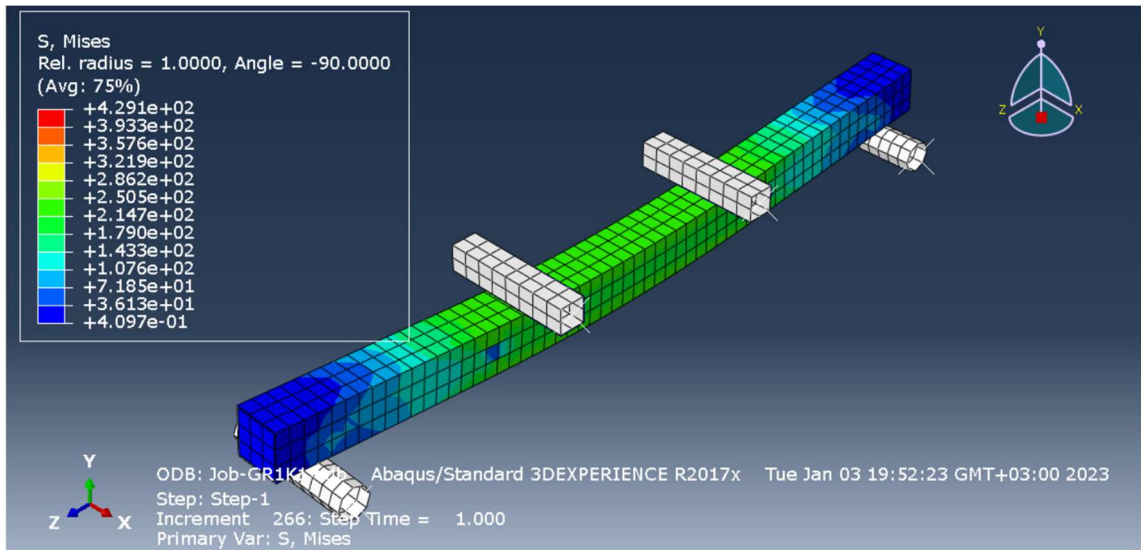


(c)

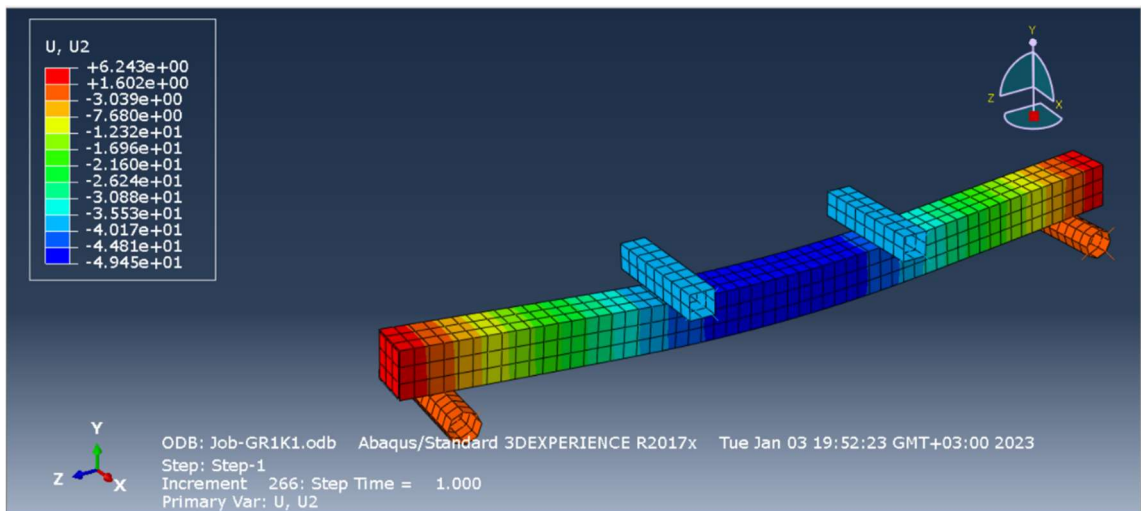
Şekil 35. GR4-D1/D2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler

4.3.3. Kare kesitli kirişler

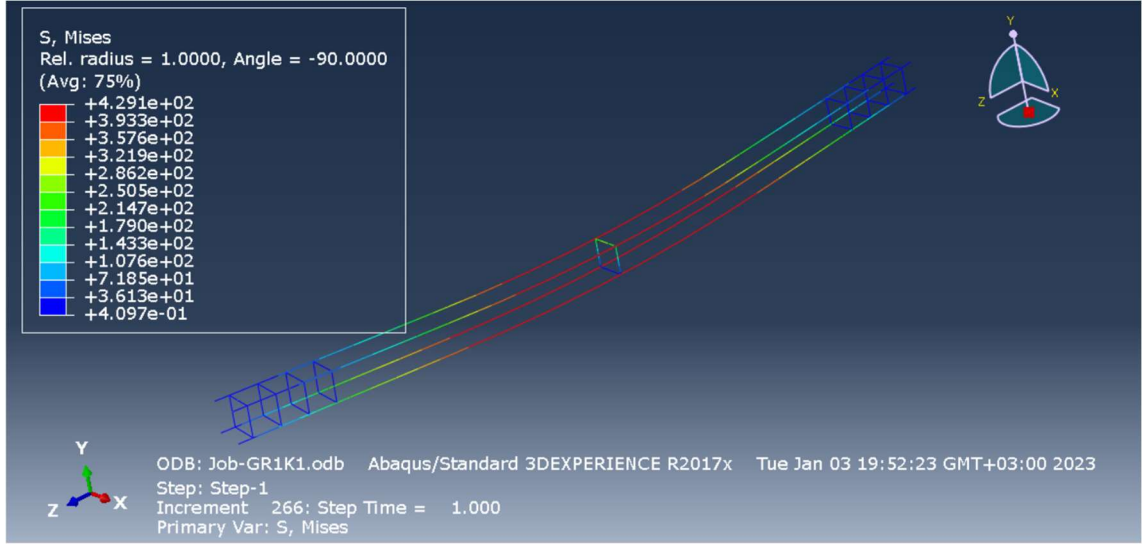
Stentli kare kesitli BDKE kirişlerde akma gerilmesi, kirişlerin alt kısımlarına yerleştirilen stentlerde olduğu gözlemlenmiştir. Kiriş ortasının alt ve üst konumlarındaki gerilmelerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Uygulanan yükler altında kare kirişlerde oluşan gerilmeleri gösteren analiz sonuçları aşağıda gösterilmiştir.



(a)

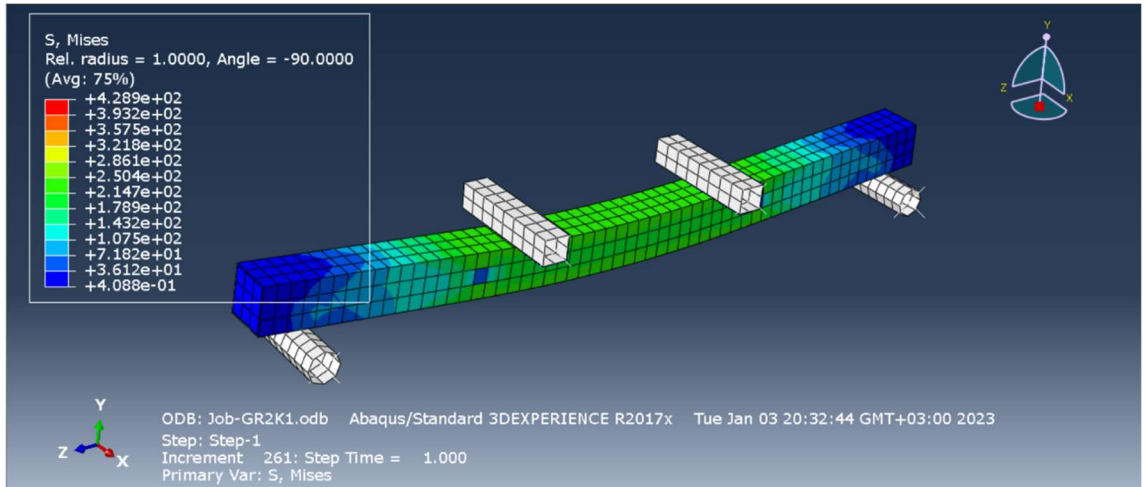


(b)

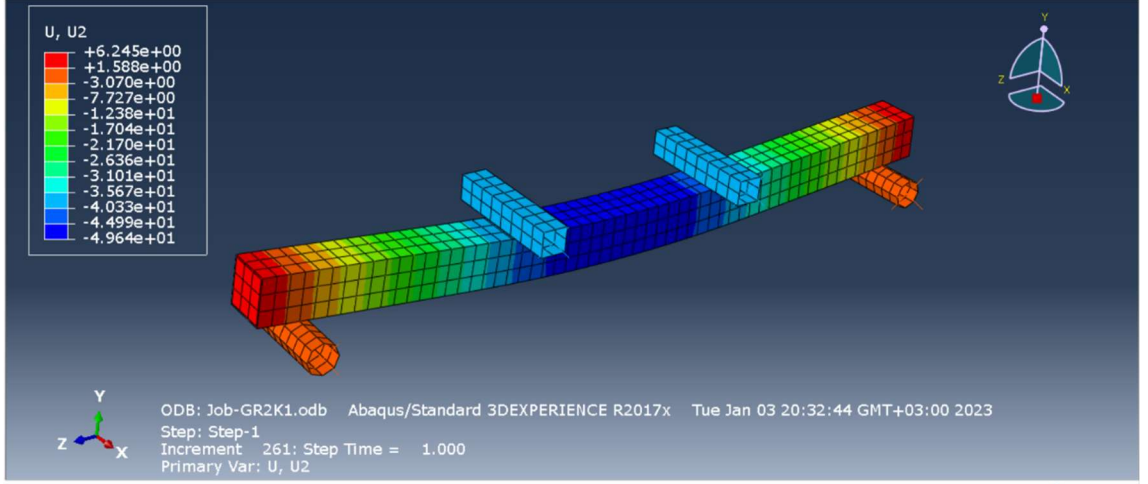


(c)

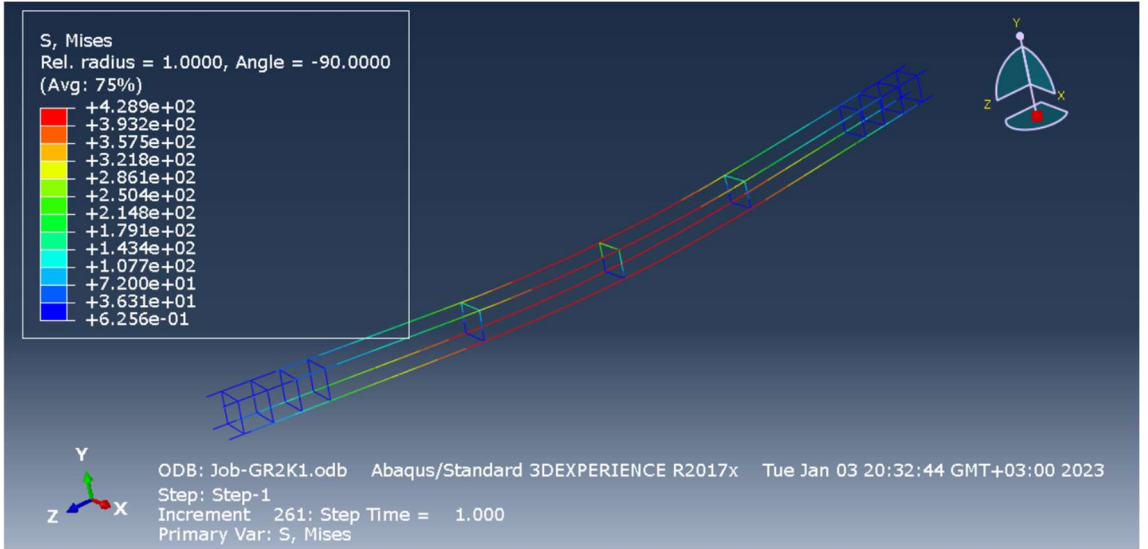
Şekil 36. GR1-K1/K2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler



(a)

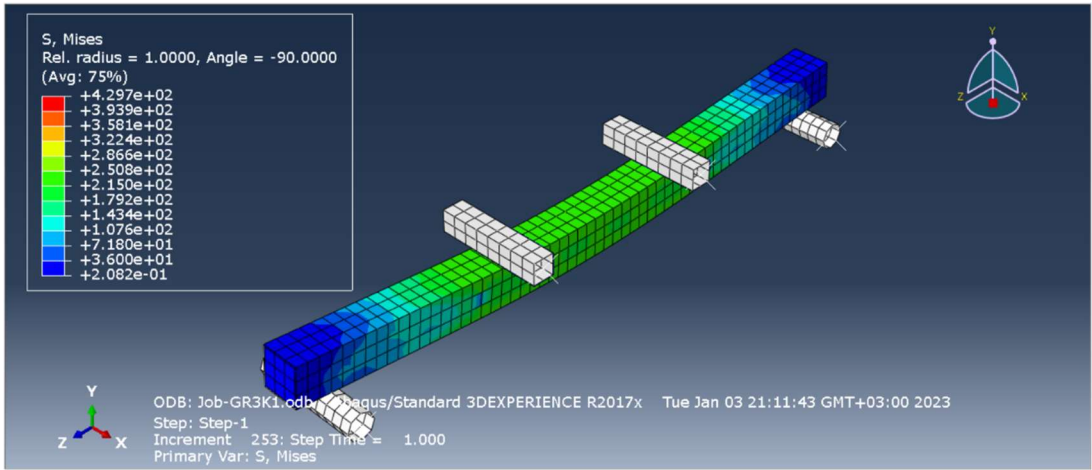


(b)

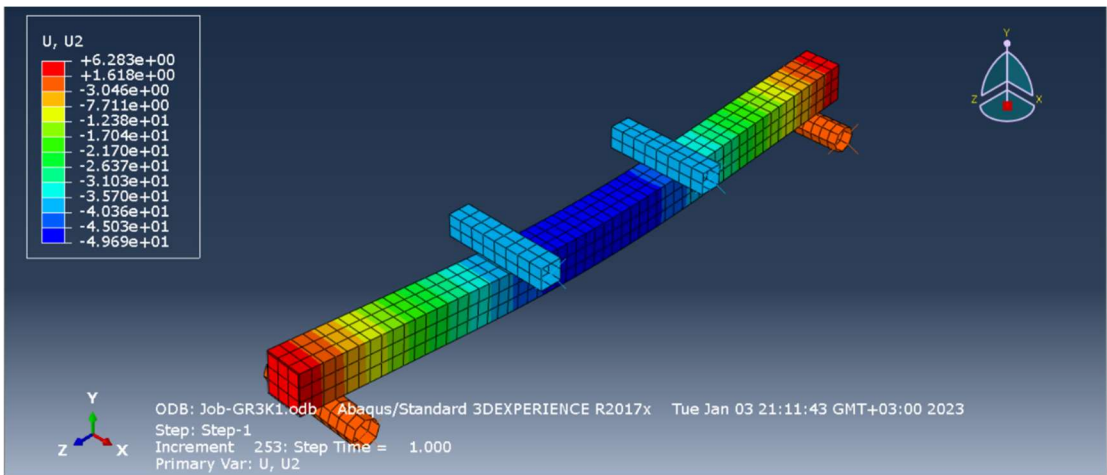


(c)

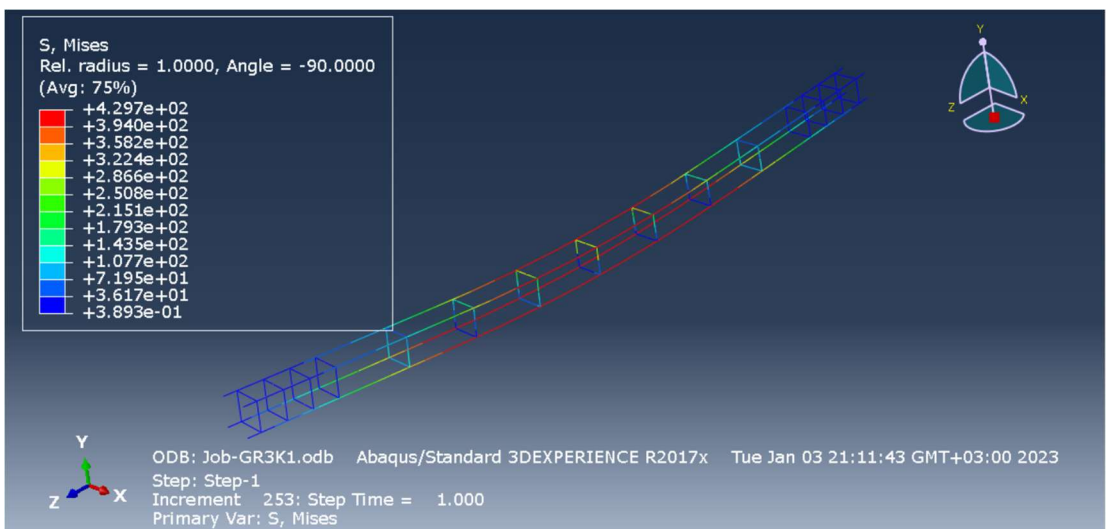
Şekil 37. GR2-K1/K2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman (c) akma noktasındaki stentler



(a)

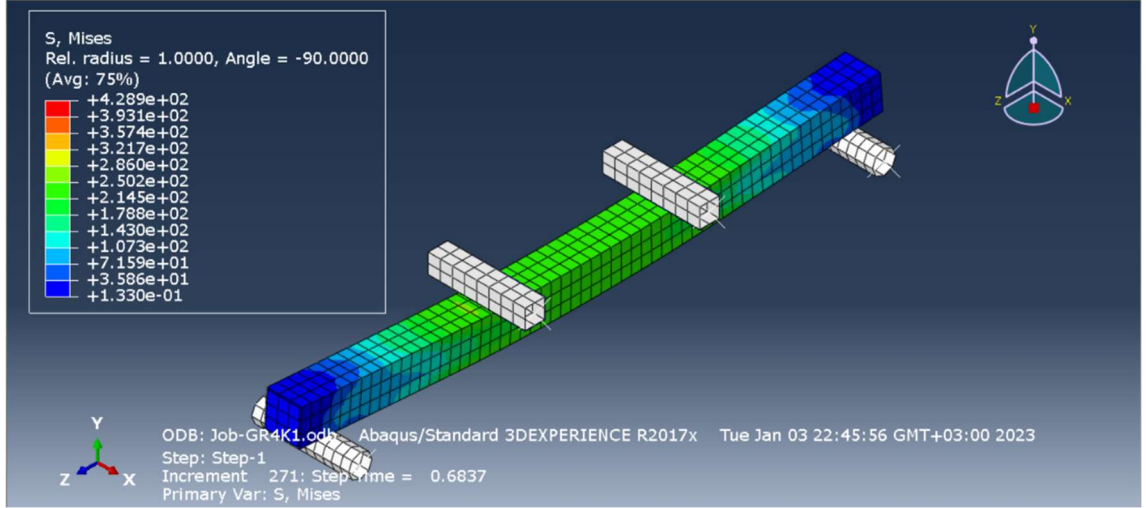


(b)

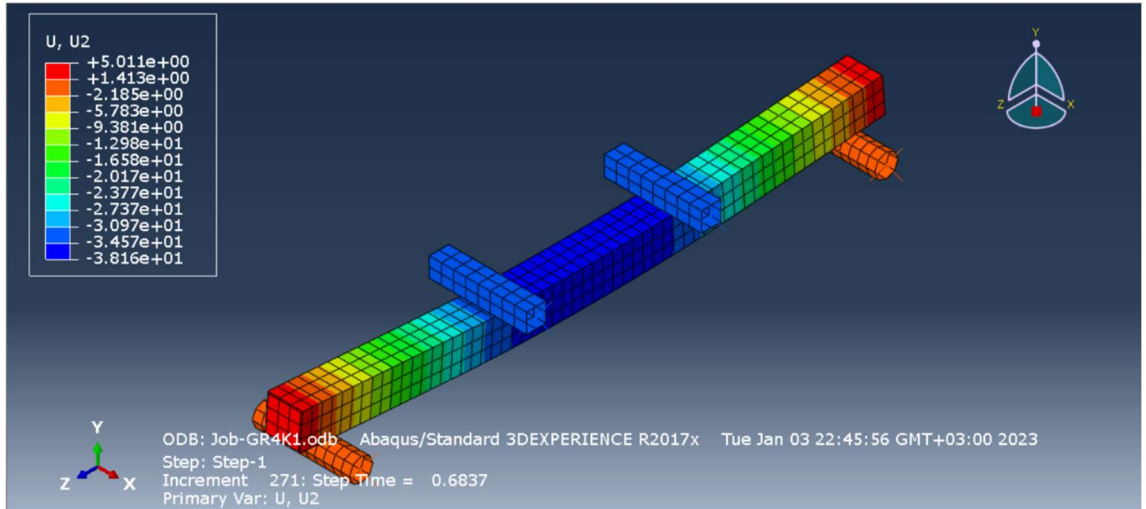


(c)

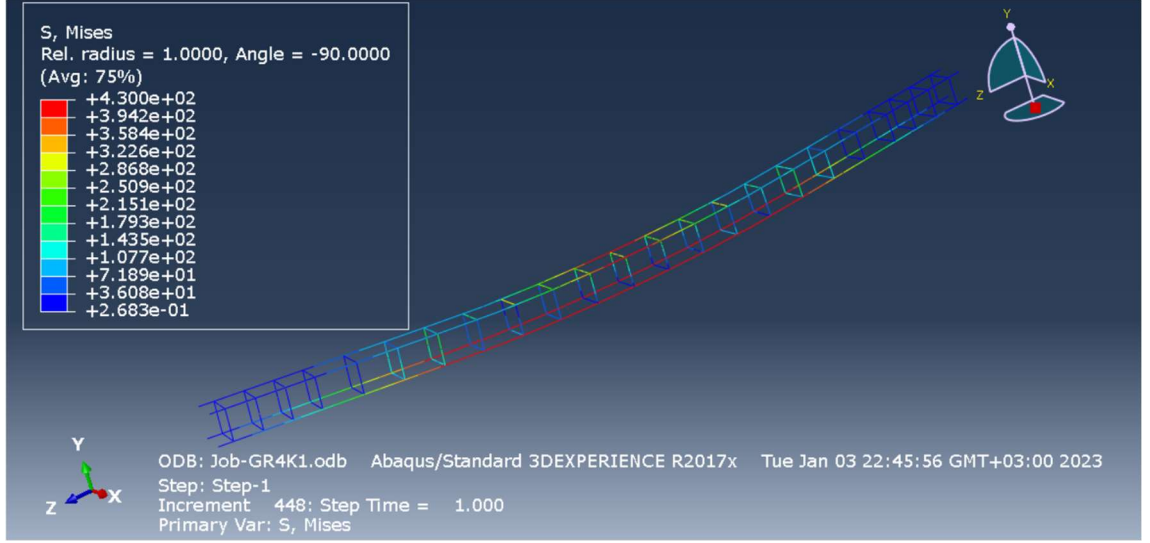
Şekil 38. GR3-K1/K2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman (c) akma noktasındaki stentler



(a)



(b)



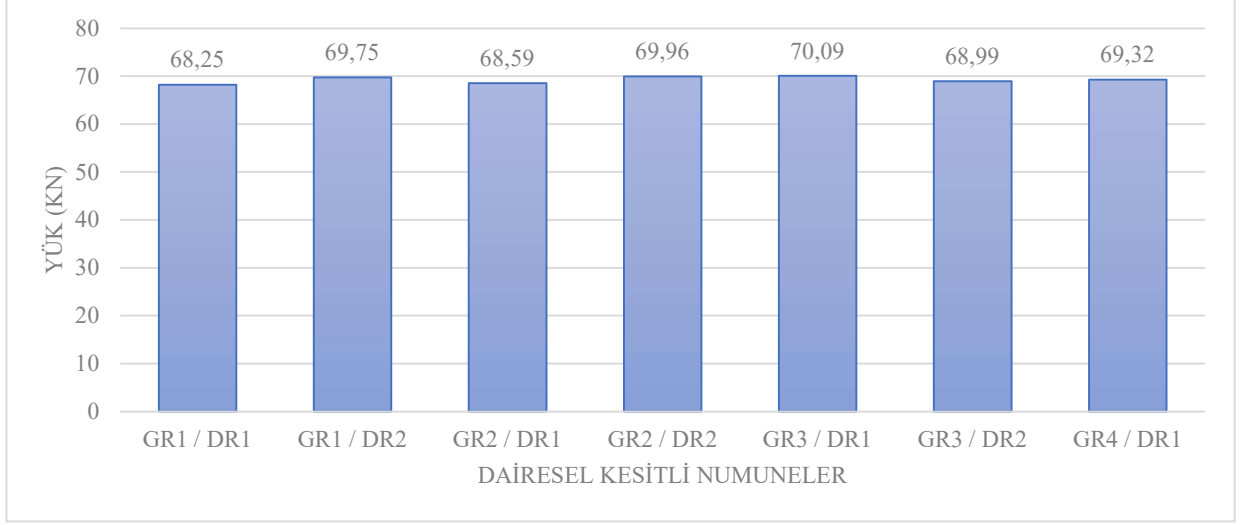
Şekil 39. GR4-K1/K2 numunesine ait (a) akma noktasındaki gerilme, (b) akma noktasındaki deplasman, (c) akma noktasındaki stentler

4.4. Deneysel Çalışma Bulguları

Bu çalışmada aynı çelik alanına sahip ancak farklı kesit tiplerine ve etriye aralıklarına sahip BDKE kirişlerinin 4 noktadan eğilme etkisi altındaki karakteristik eğilme momenti dayanımları elde edilmiştir. Tüm kiriş numunelerinin deney süresince yaptığı deplasmanlar yük noktaları altına yerleştirilen LVDT'ler sayesinde kayıt altına alınmıştır. Deney boyunca mesnetlerde herhangi bir deplasman ölçülmemiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler ile moment- deplasman, yük- deplasman eğrileri oluşturulmuştur.

4.4.1. Dairesel kesitli kirişler

Dairesel kesitli kirişlere ait akma noktasındaki yük değerleri Şekil 40 de verilmektedir.

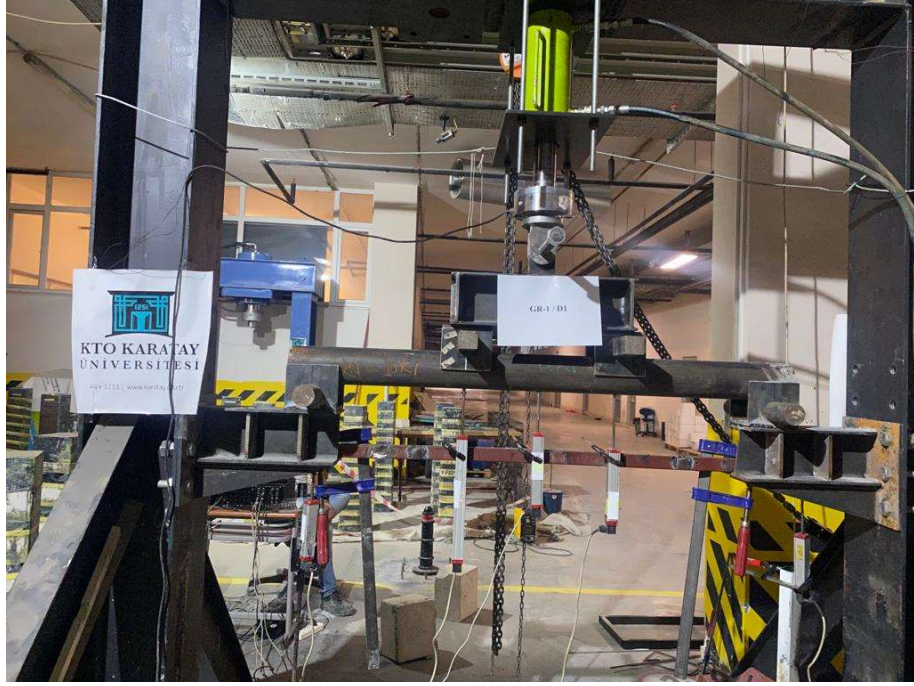


Şekil 40. Dairesel kesitli kirişlere ait akma noktasındaki yük grafiği

Tablo 14. Dairesel kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları

Eleman Kesiti	Eleman Adı	Yük (kN)	Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)
Dairesel Kesitli	GR1 / DR1	68,25	15,36	15,36
	GR1 / DR2	69,75	15,69	13,072
	GR2 / DR1	68,59	15,43	13,94
	GR2 / DR2	69,96	15,74	15,55
	GR3 / DR1	70,09	15,77	17,92
	GR3 / DR2	68,99	15,52	16,29
	GR4 / DR1	69,32	15,60	16,86

Dairesel kesitli kirişlere ait yükleme öncesi ve yükleme sonrasına ait resimler Şekil 41-47 arasında verilmektedir.

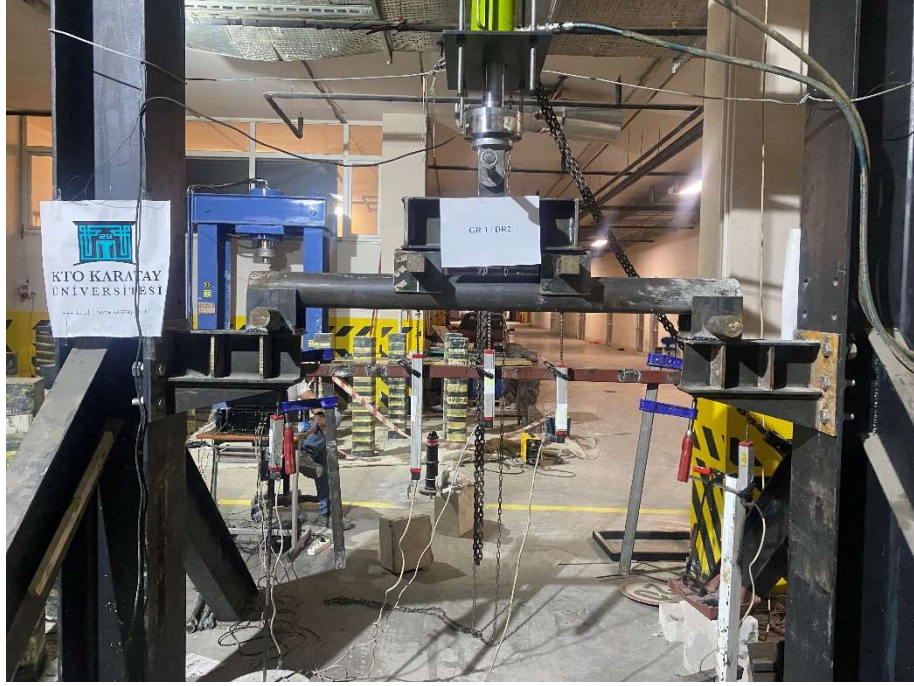


(a)



(b)

Şekil 41. (a) GR-1/DR1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/DR1 numunesinin yükleme sonrası durumu

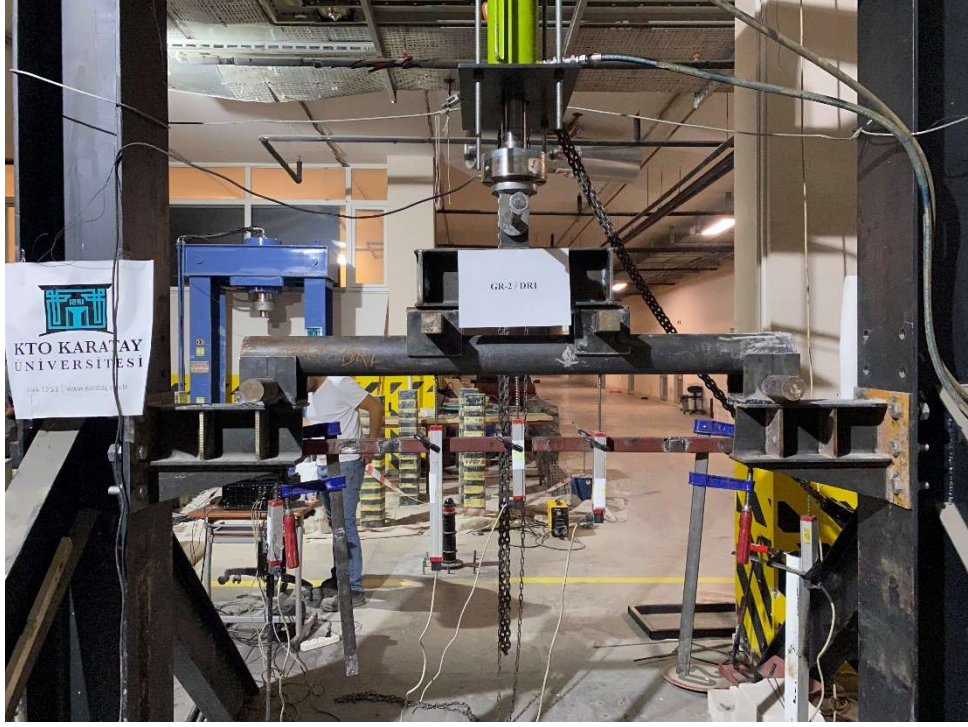


(a)

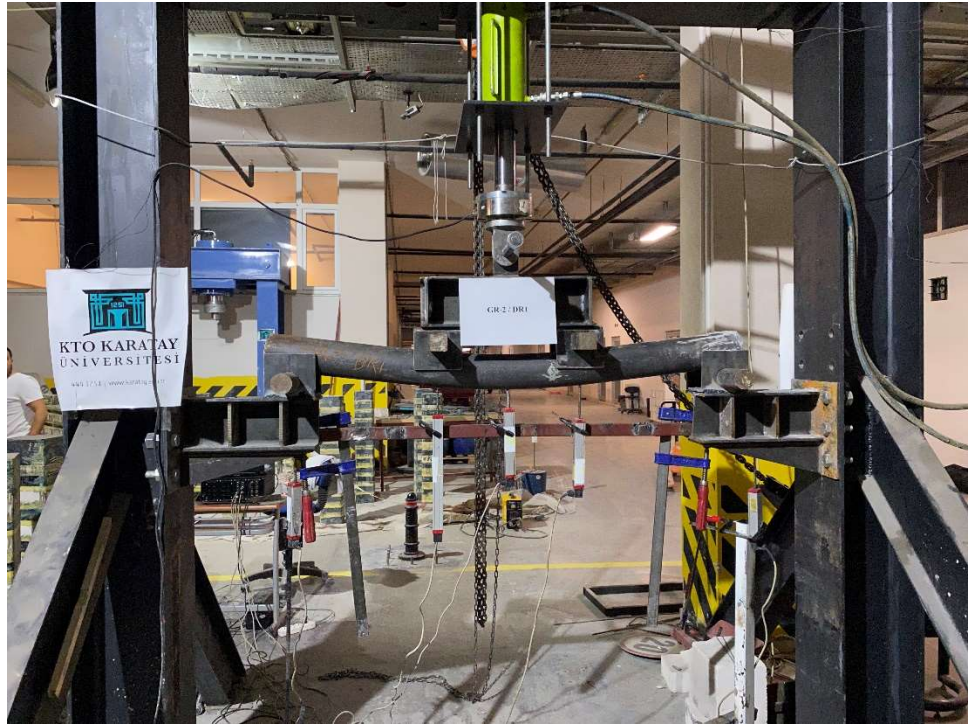


(b)

Şekil 42. (a) GR-1/DR2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/DR2 numunesinin yükleme sonrası durumu

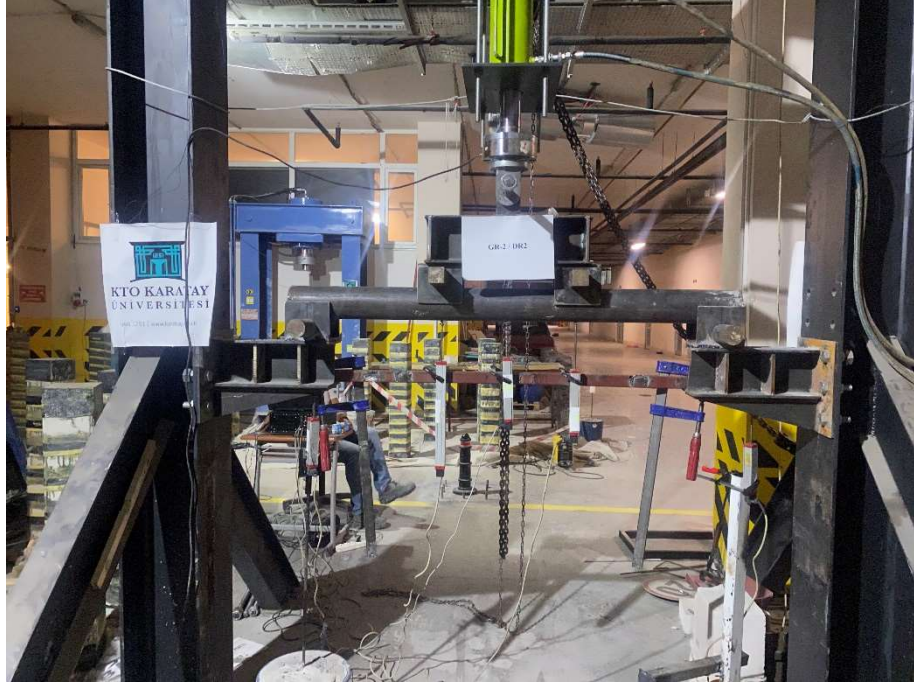


(a)



(b)

Şekil 43. (a) GR-2/DR1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/DR1 numunesinin yükleme sonrası durumu



(a)



(b)

Şekil 44. GR-2/DR2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/DR2 numunesinin yükleme sonrası durumu



(a)



(b)

Şekil 45. (a) GR-3/DR1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-3/DR1 numunesinin yükleme sonrası durumu

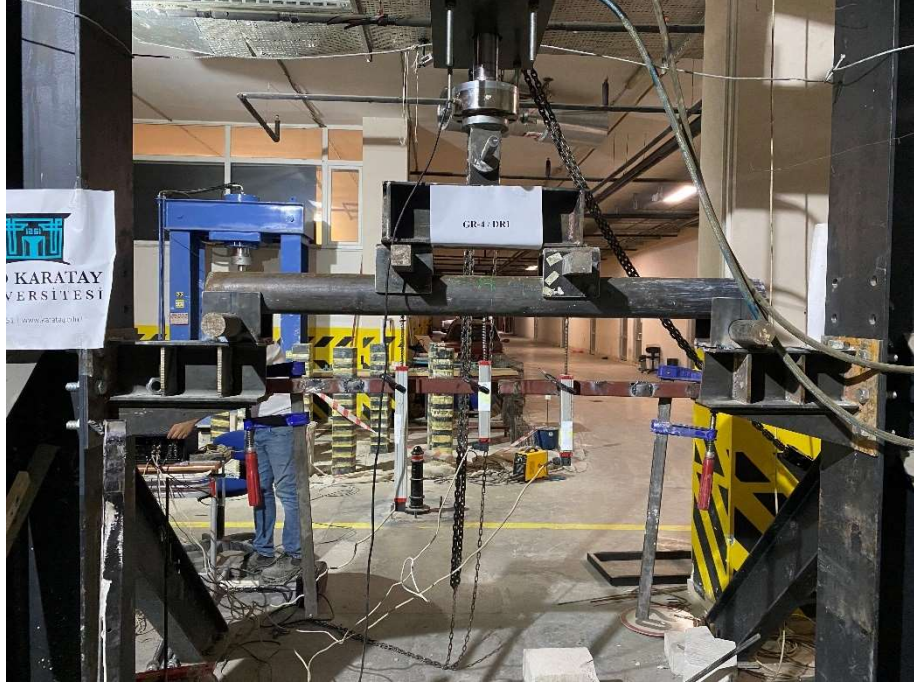


(a)



(b)

Şekil 46. GR-3/DR2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-3/DR2 numunesinin yükleme sonrası durumu



(a)

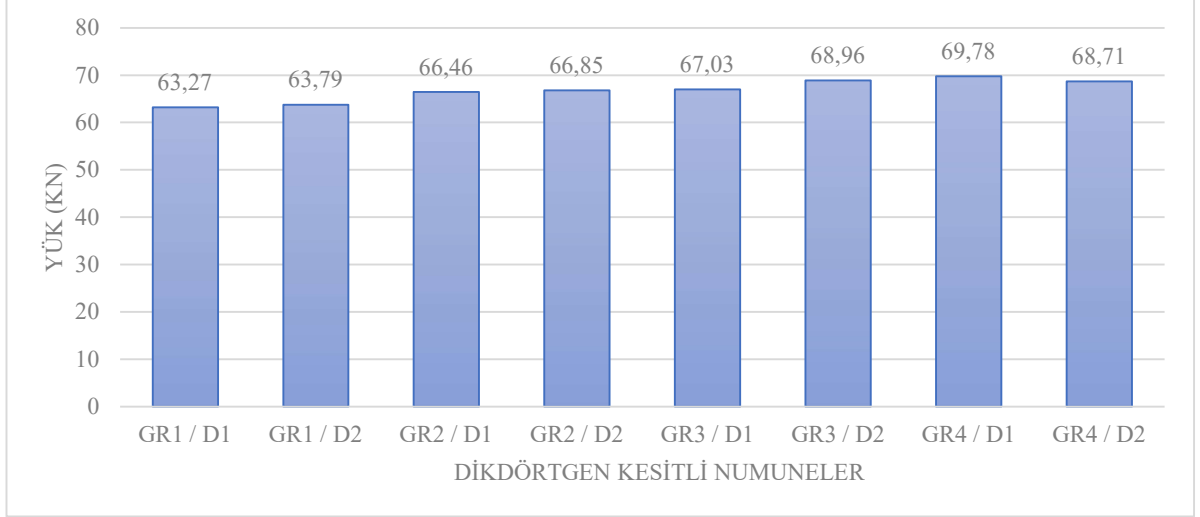


(b)

Şekil 47. GR-4/DR1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-4/DR1 numunesinin yükleme sonrası durumu

4.4.2. Dikdörtgen kesitli kirişler

Dikdörtgen kesitli kirişlere ait akma noktasında yük taşıma kapasiteleri Şekil 48 de verilmektedir.

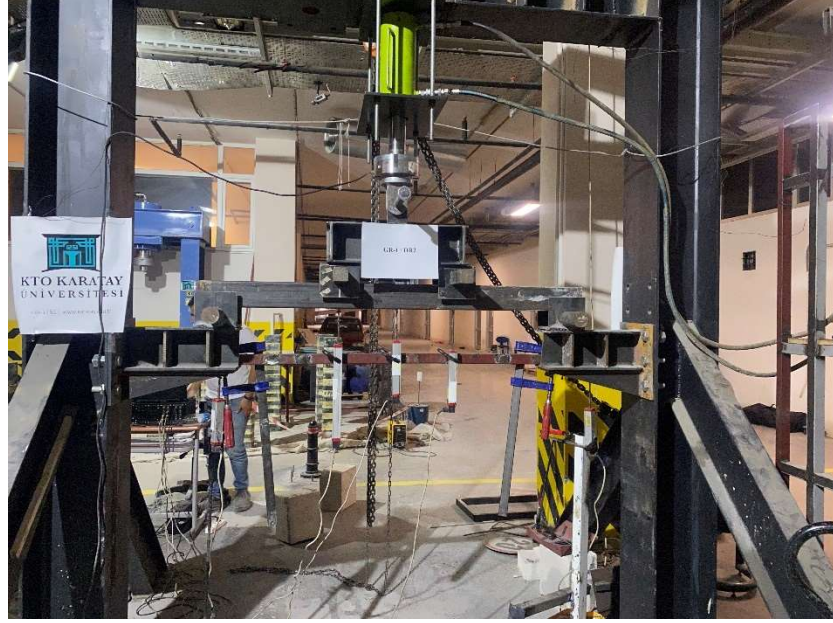


Şekil 48. Dikdörtgen kesitli kirişlere ait akma noktasındaki yük grafiği

Tablo 15. Dikdörtgen kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları

Eleman Kesiti	Eleman Adı	Yük (kN)	Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)
Dikdörtgen Kesitli	GR1 / D1	63,27	14,23	10,35
	GR1 / D2	63,79	14,35	14,17
	GR2 / D1	66,46	14,95	12,39
	GR2 / D2	66,85	15,04	14,28
	GR3 / D1	67,03	15,08	13,35
	GR3 / D2	68,96	15,51	15,26
	GR4 / D1	69,78	15,7	14,13
	GR4 / D2	68,71	15,46	13,86

Dikdörtgen kesitli kirişlere ait yükleme öncesi ve yükleme sonrasına ait resimler Şekil 49-56 arasında verilmektedir.

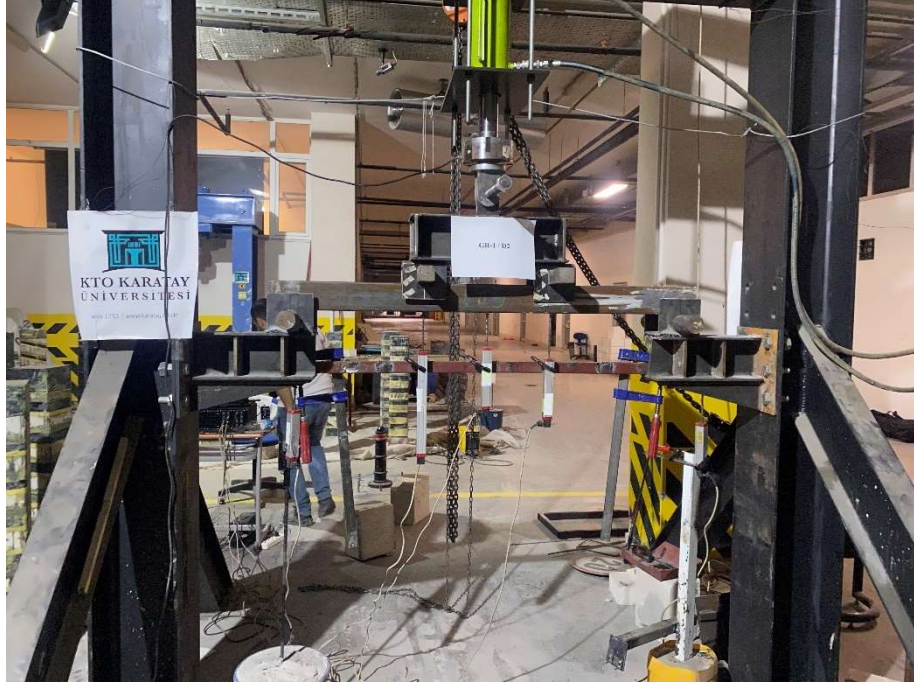


(a)



(b)

Şekil 49. (a) GR-1/D1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/D1 numunesinin yükleme sonrası durumu

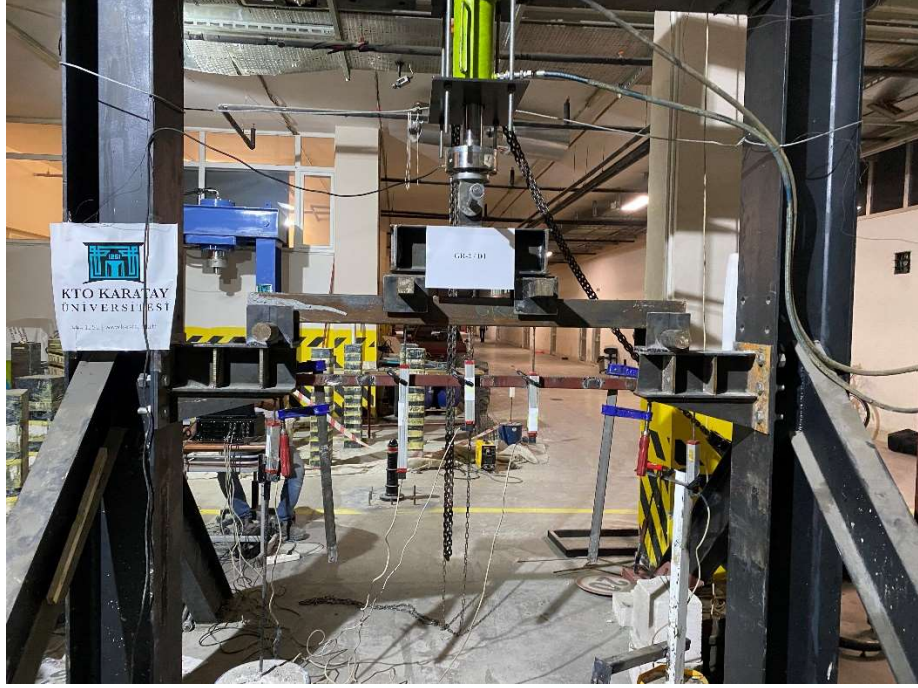


(a)



(b)

Şekil 50. (a) GR-1/D2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/D2 numunesinin yükleme sonrası durumu

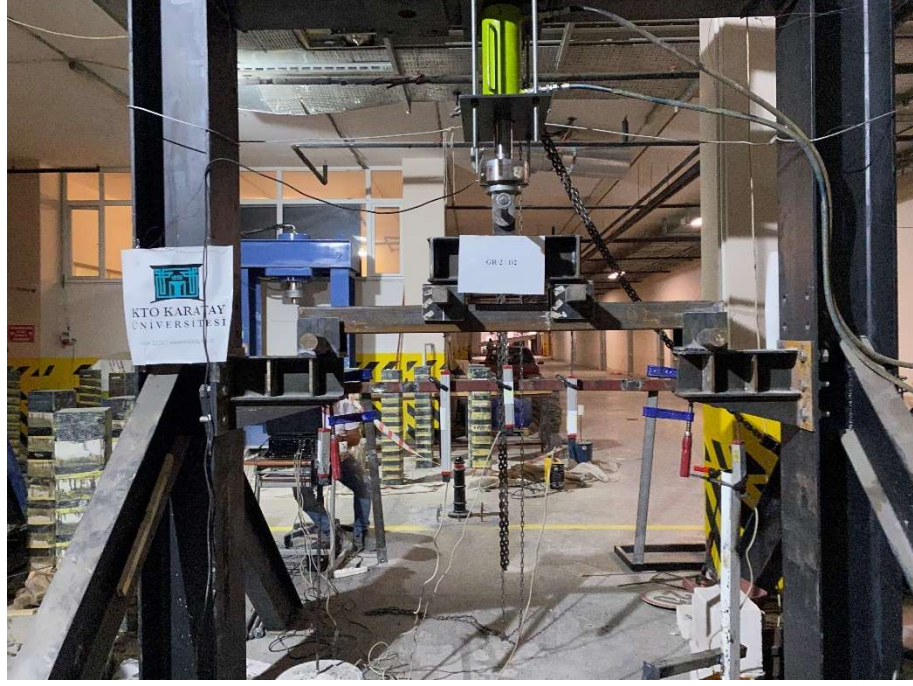


(a)



(b)

Şekil 51. (a) GR-2/D1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/D1 numunesinin yükleme sonrası durumu

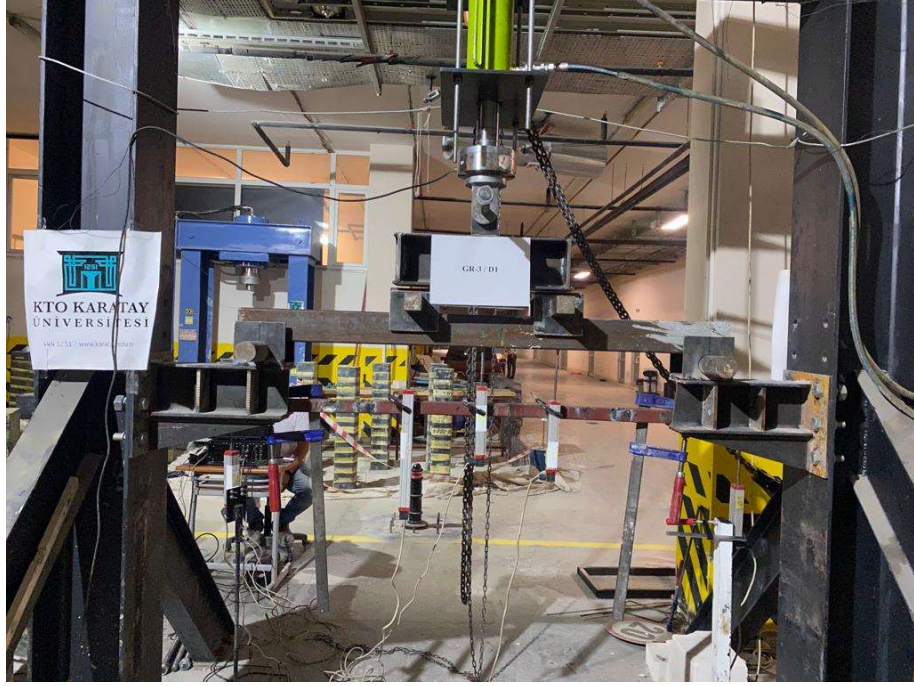


(a)

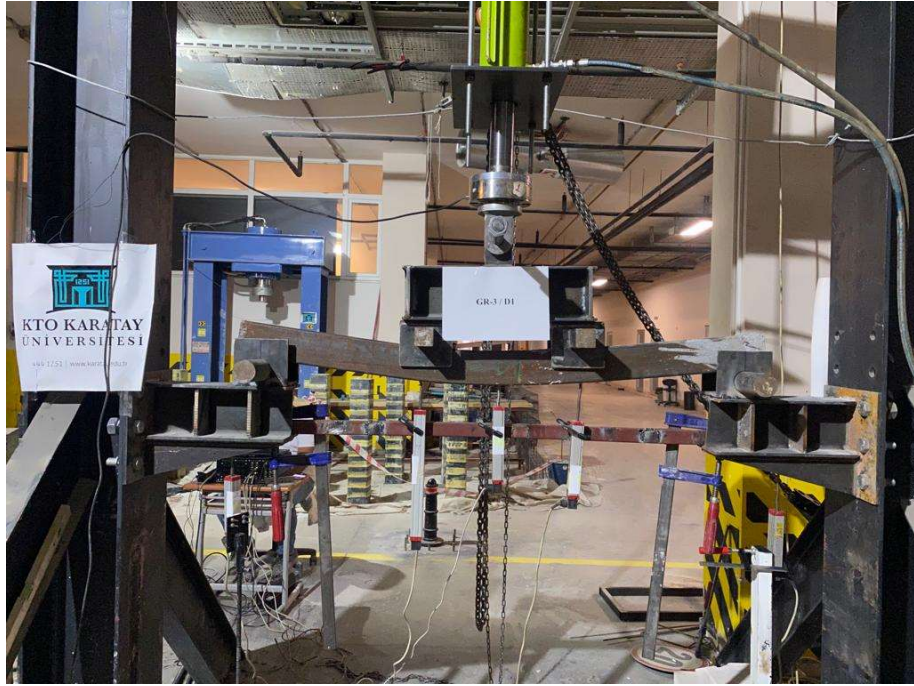


(b)

Şekil 52. (a) GR-2/D2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/D2 numunesinin yükleme sonrası durumu



(a)



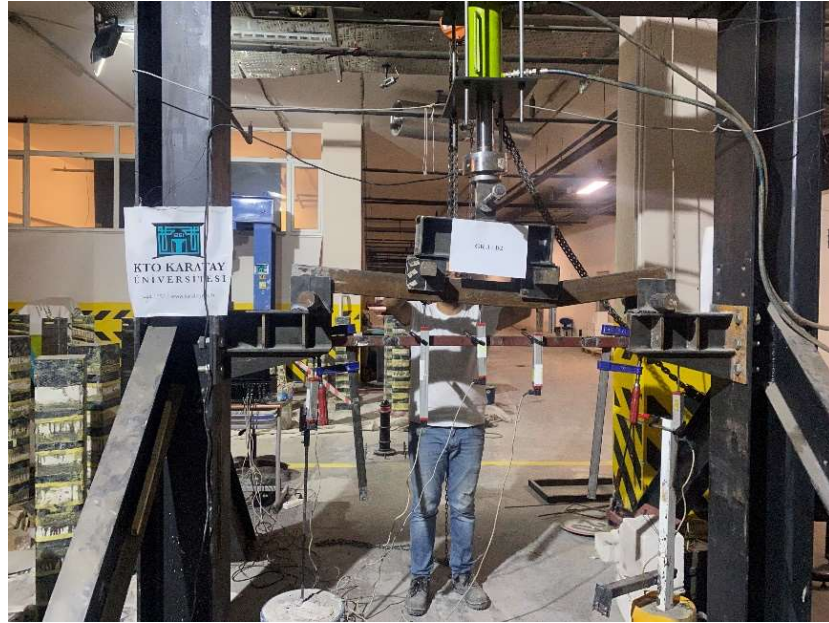
(b)

Şekil 53. (a) GR-3/D1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-3/D1 numunesinin yükleme sonrası durumu

Deney sonuçlarından alınan verilere göre GR3-D2 numunesinde yerel burkulma gözlenmiştir (Şekil 54 (c)). 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.



(a)

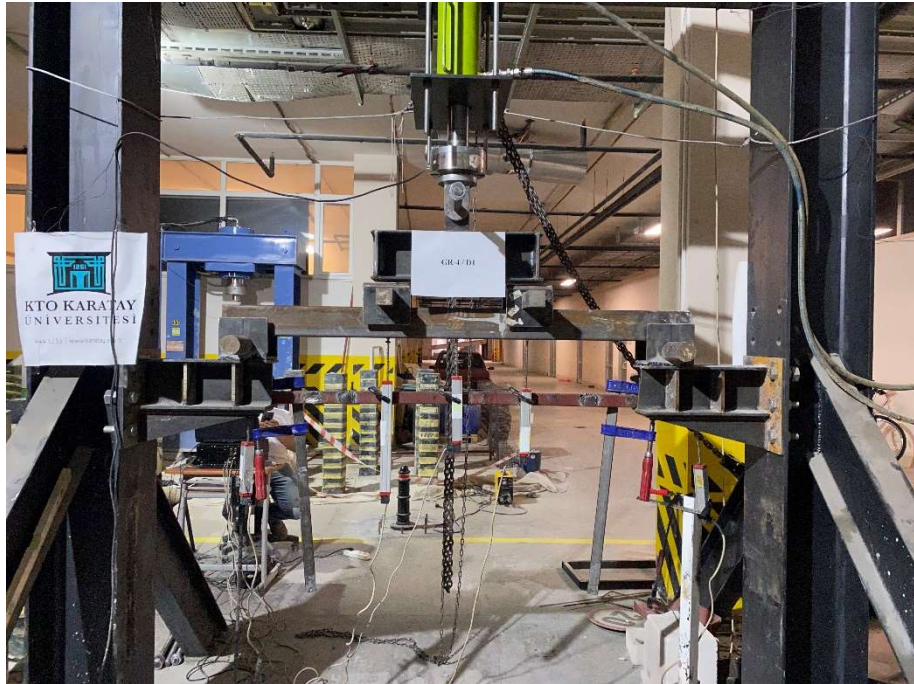


(b)



(c)

Şekil 54. GR-3/D2 numunesinin, (a) yükleme öncesi durumu (b) yükleme sonrası, (c) yerel burkulma



(a)



(b)

Şekil 55. (a) GR-4/D1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-4/D1 numunesinin yükleme sonrası durumu



(a)



(b)

Şekil 56. (a) GR-4/D2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-4/D2 numunesinin yükleme sonrası durumu

4.4.3. Kare kesitli kirişler

Kare kesitli kirişlere ait akma noktasında yük taşıma kapasiteleri Şekil 57’de verilmektedir.

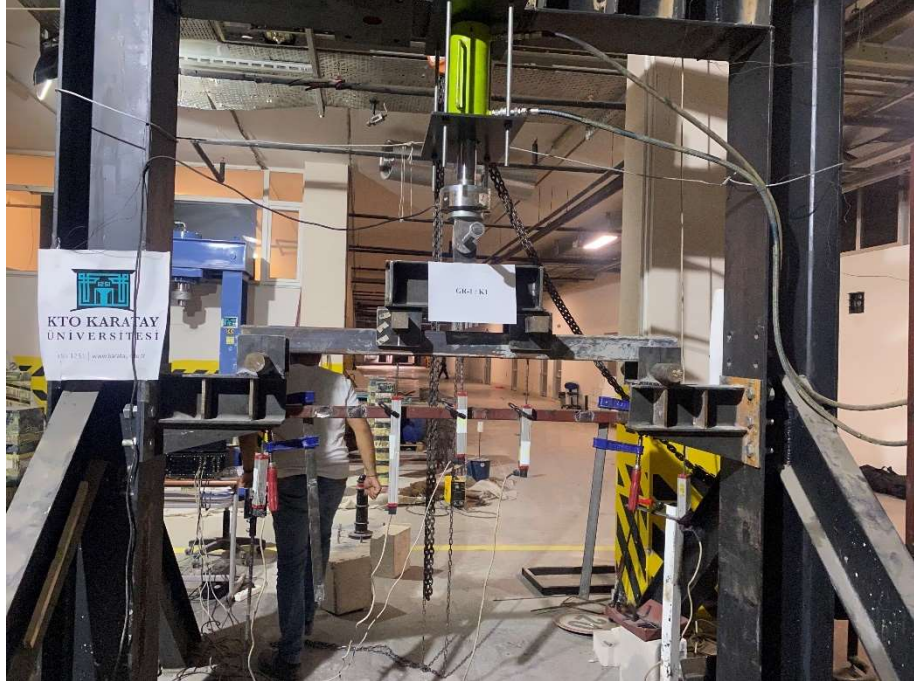


Şekil 57. Kare kesitli kesitli kirişlere ait akma noktasındaki yük grafiği

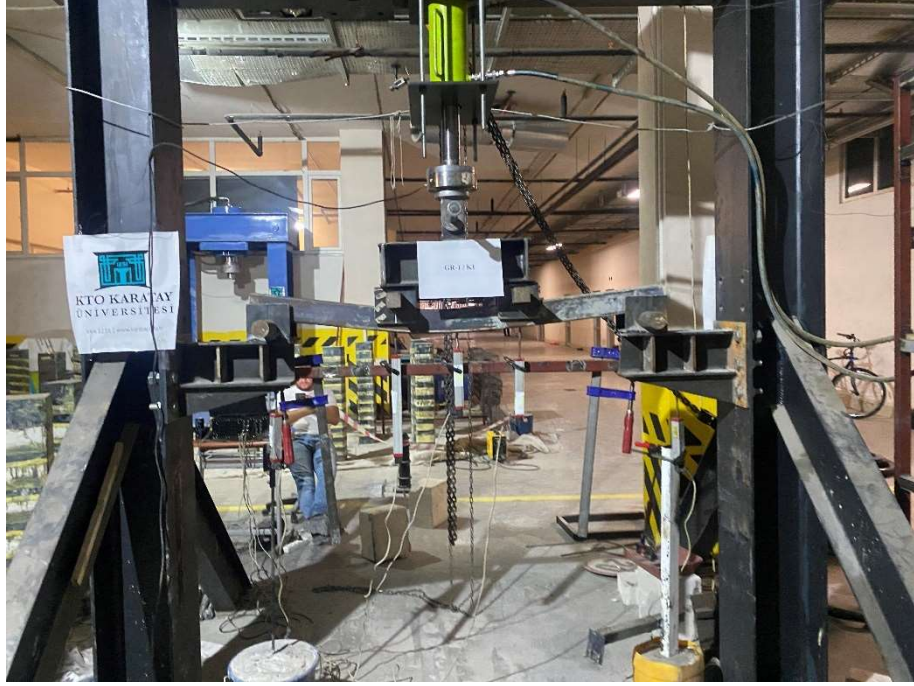
Tablo 16. Kare kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları

Eleman Kesiti	Eleman Adı	Yük (kN)	Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)
Kare Kesitli	GR1 / K1	58,13	13,08	14,69
	GR1 / K2	58,14	13,08	14,17
	GR2 / K1	58,16	13,09	13,84
	GR2 / K2	58,59	13,18	14,83
	GR3 / K1	58,16	13,08	15,66
	GR3 / K2	58,68	13,2	14,29
	GR4 / K1	59,41	13,36	17,67
	GR4 / K2	59,02	13,27	16,88

Dairesel kesitli kirişlere ait yükleme öncesi ve yükleme sonrasında ait resimler Şekil 58-65 arasında verilmektedir.



(a)

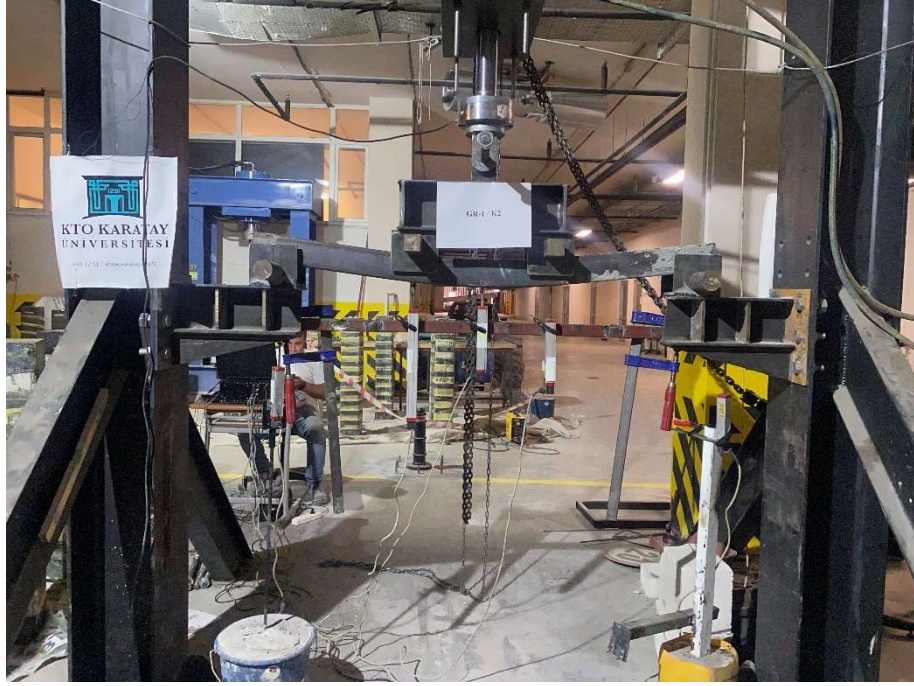


(b)

Şekil 58. (a) GR-1/K1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/K1 numunesinin yükleme sonrası durumu



(a)

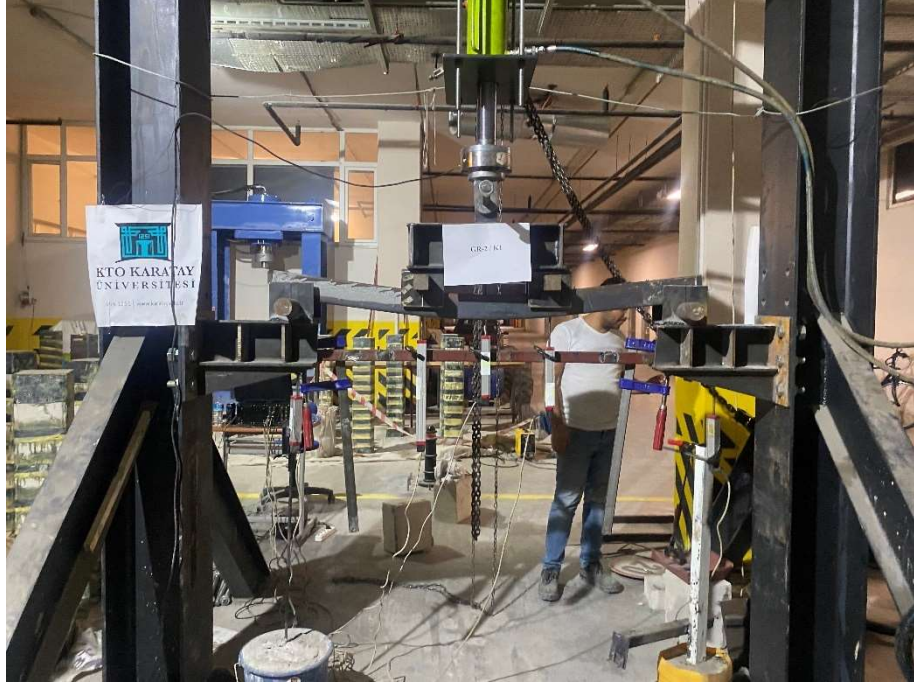


(b)

Şekil 59. (a) GR-1/K2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-1/K2 numunesinin yükleme sonrası durumu

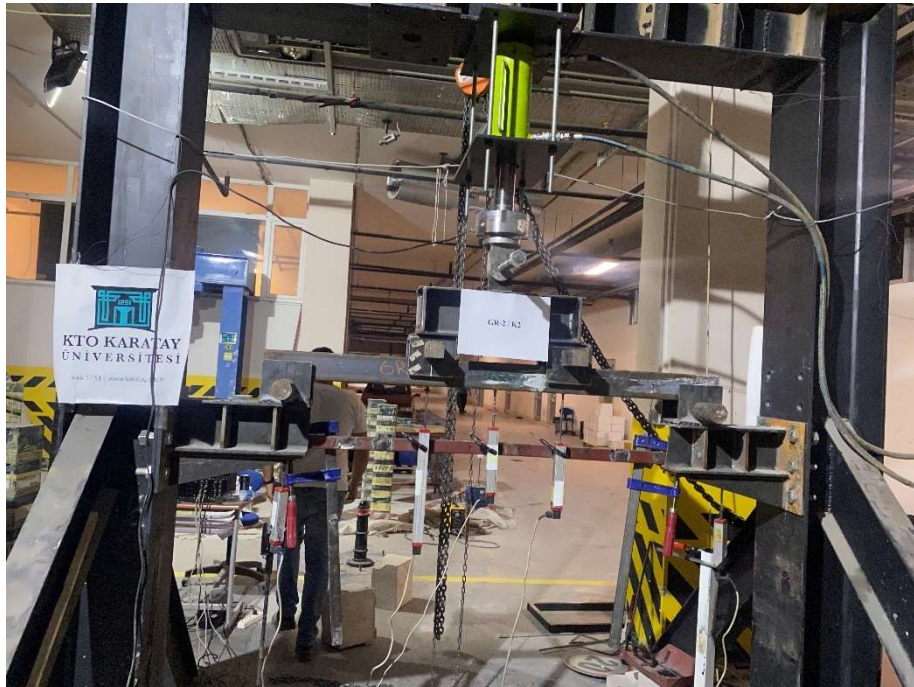


(a)



(b)

Şekil 60. (a) GR-2/K1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/K1 numunesinin yükleme sonrası durumu



(a)

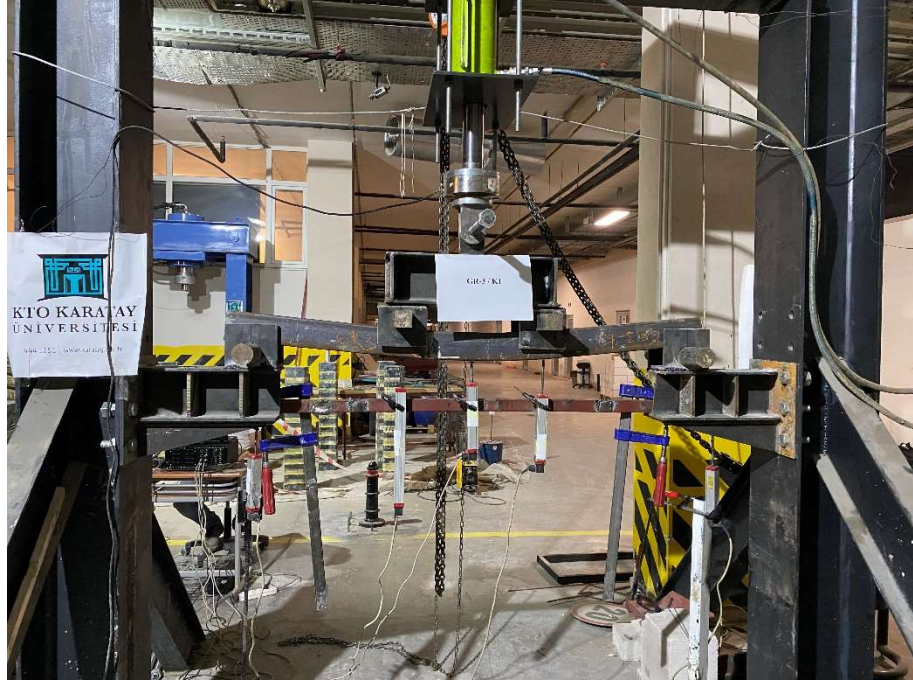


(b)

Şekil 61. (a) GR-2/K2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-2/K2 numunesinin yükleme sonrası durumu



(a)



(b)

Şekil 62. (a) GR-3/K1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-3/K1 numunesinin yükleme sonrası durumu



(a)

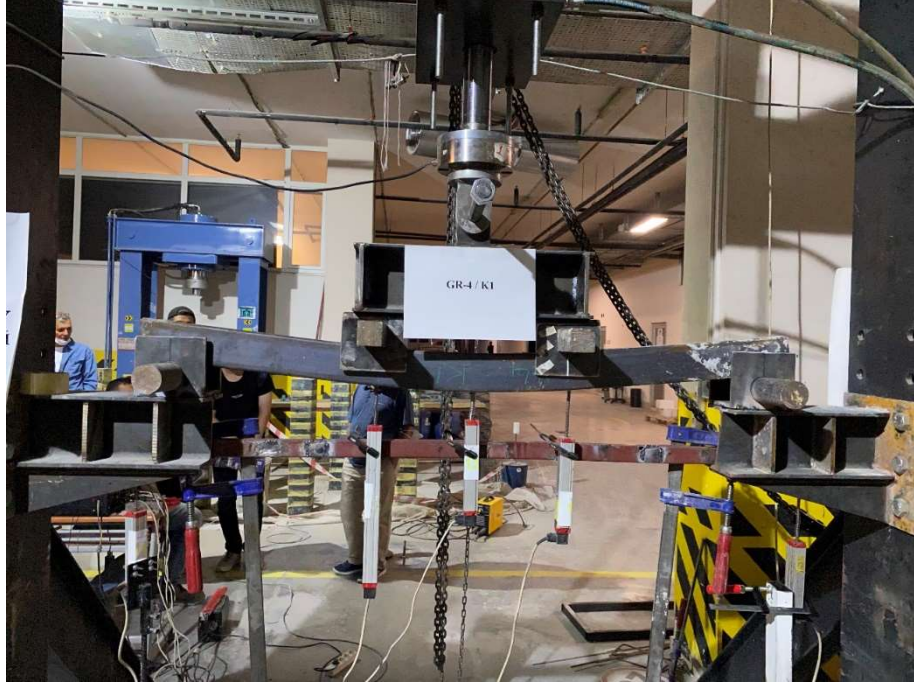


(b)

Şekil 63. (a) GR-3/K2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-3/K2 numunesinin yükleme sonrası durumu

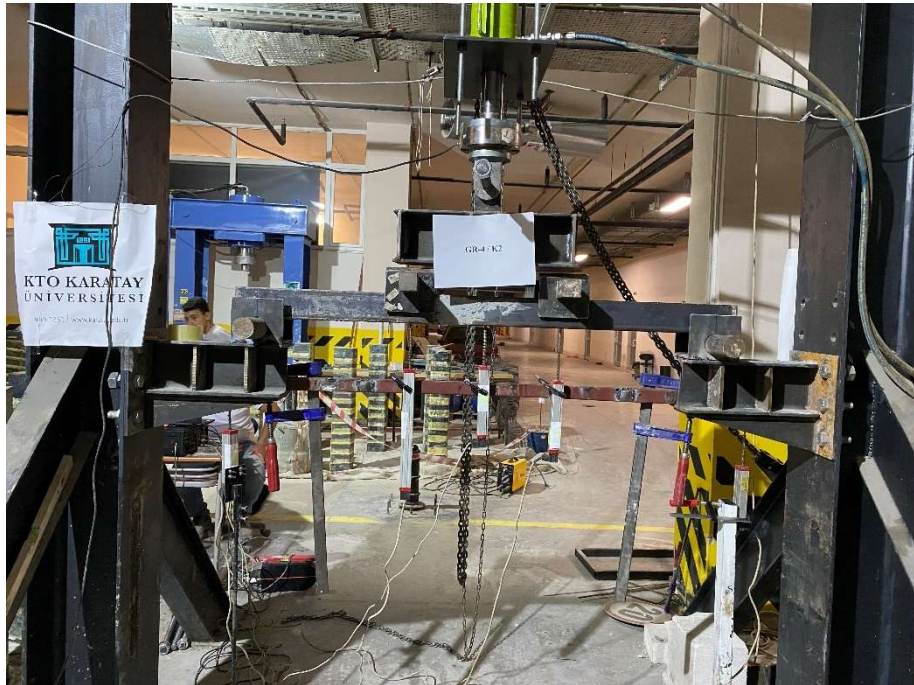


(a)



(b)

Şekil 64. (a) GR-4/K1 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-4/K1 numunesinin yükleme sonrası durumu



(a)

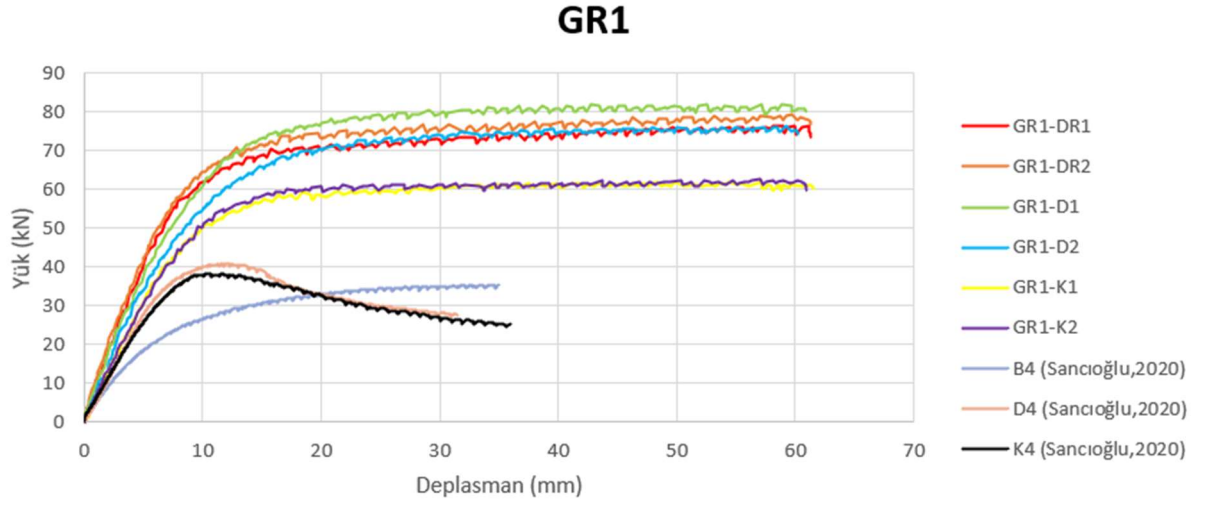


(b)

Şekil 65. (a) GR-4/K2 numunesinin yükleme öncesi durumu, (b) GR-4/K2 numunesinin yükleme sonrası durumu

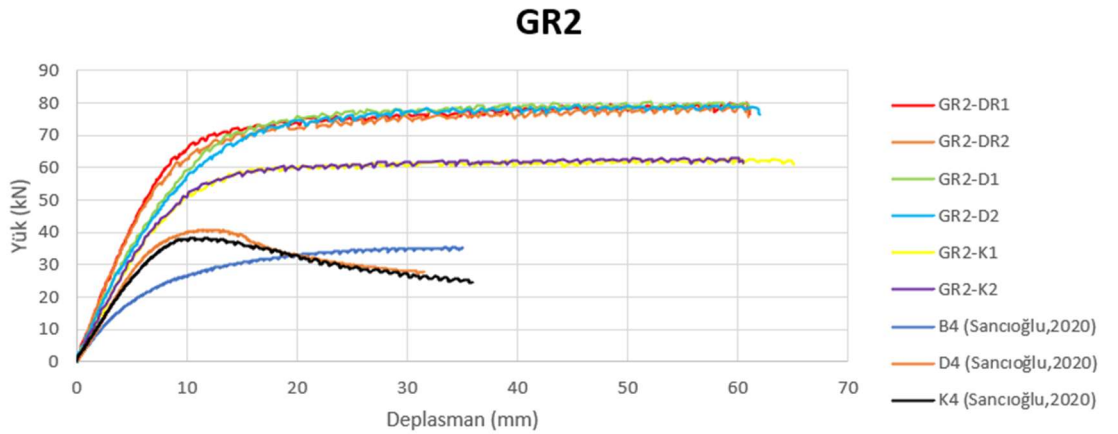
4.5. Deneysel Çalışma Bulgularının Karşılaştırılması

GR1’de ki stentlerin etriye aralığına göre aynı kesite sahip olan numune değerlerin ortalamaları alındığında maksimum yük taşıma kapasitesi dairesel kesite sahip kirişlerde gözlemlenmiştir. Dairesel kesitlerde akma noktasındaki yük taşıma kapasitesi kare kesitlerden kıyaslandığında dayanımlarının %19 oranında artarken, orta noktada %1 daha az deplasman yaptığı görülmüştür. Dairesel kesitler ile dikdörtgen kesitler kıyaslandığında, dairesel kesitlerin yük taşıma kapasitesi %9 oranında arttığı ve orta noktada %16 daha fazla deplasman yaptığı gözlenmiştir. G1’e ait numunelerde yük taşıma kapasitelerinin kesitlere göre ortalamaları alındığında maksimum değeri gösteren dairesel kesitli numuneler ile Sancioğlu (2020) tarafından yapılan çalışmadan alınan içi boş dairesel kesitli numunenin (B4) eğilme yükü altında karakteristik eğilme momenti kıyaslandığında, Stentli kompozit numune %144 daha fazla moment taşıdığı gözlemlenmiştir. Aynı numuneler için orta deplasmanda %20 artış gözlenmiştir.



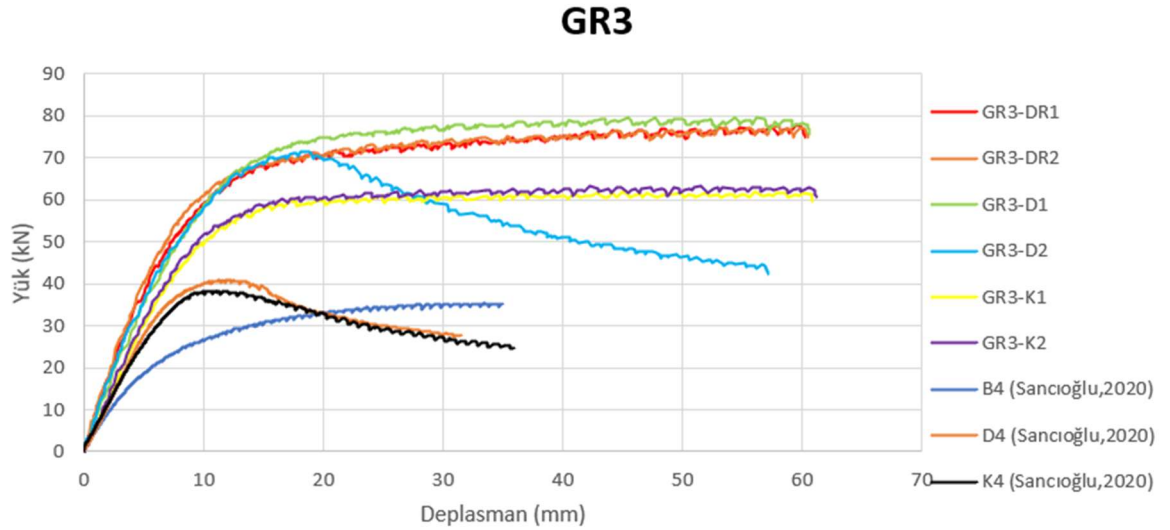
Şekil 66. GR1'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi

GR2' de yer alan numunelerin yük taşıma kapasiteleri kıyaslandığında dairesel kesitlerinin kare kesitlere göre dayanımları %15 oranında artarken, orta noktada %7 daha fazla deplasman yaptığı görülmüştür. Dikdörtgen kesitler ile dairesel kesitler kıyaslandığında, dairesel kesitlerin yük taşıma kapasitesi %4 oranında arttığı ve orta noktada %11 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 (B4) eğilme yükü altında karakteristik eğilme momenti karşılaştırıldığında, Stentli kompozit numune %144 daha fazla moment taşıdığı gözlemlenmiştir. Aynı numuneler için orta deplasmanda %25 artış gözlenmiştir.



Şekil 67. GR2'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi

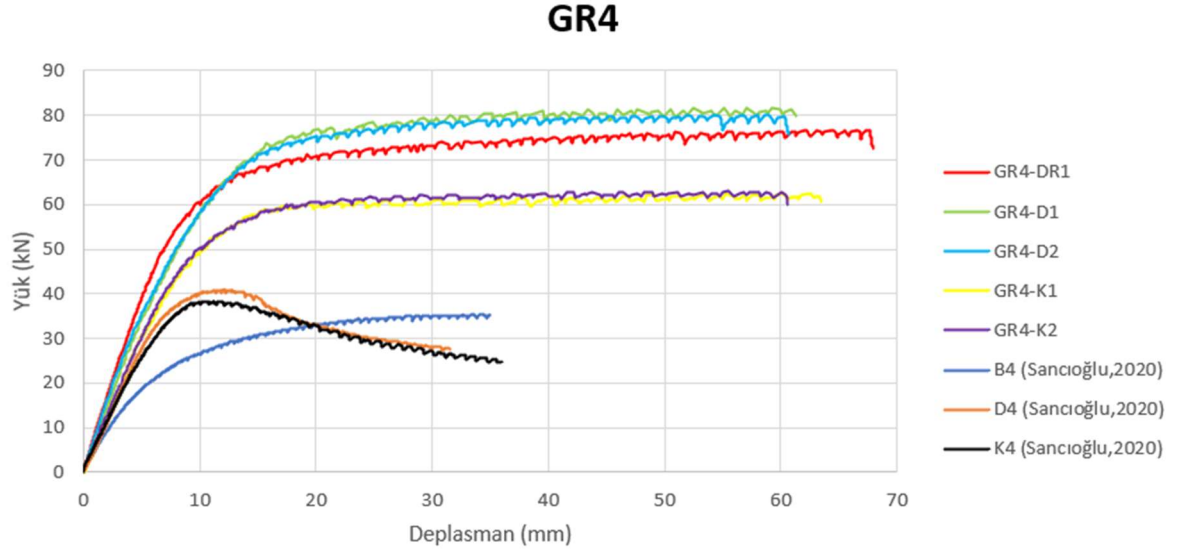
GR3' de yer alan numunelerin yük taşıma kapasiteleri kıyaslandığında maksimum kapasite dairesel kesitlerde gözlenmiştir. Dairesel kesitlerin kare kesitlere göre dayanımları %19 oranında artarken, orta noktada %15 daha az deplasman yaptığı görülmüştür. Dairesel kesitler ile dikdörtgen kesitler kıyaslandığında, dikdörtgen kesitlerin yük taşıma kapasitesi %2 oranında arttığı ve orta noktada %20 daha fazla deplasman yaptığı gözlenmiştir. G3'e ait numunelerde yük taşıma kapasitelerinin kesitlere göre ortalamaları alındığında maksimum değeri gösteren dairesel kesitli numuneler ile Sancioğlu (2020) tarafından yapılan çalışmadan alınan içi boş dairesel kesitli numunenin (B4) eğilme yükü altında karakteristik eğilme momenti kıyaslandığında, Stentli kompozit numune %145 daha fazla moment taşıdığı gözlemlenmiştir. Aynı numuneler için orta deplasmanda %45 artış gözlenmiştir.



Şekil 68. GR3'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi

GR4' de yer alan numunelerin yük taşıma kapasiteleri kıyaslandığında maksimum kapasite dikdörtgen kesitlerde gözlenmiştir. Dikdörtgen kesitlerinin kare kesitlere göre dayanımları %17 oranında artarken, orta noktada %20 daha az deplasman yaptığı görülmüştür. Dikdörtgen kesitler ile dairesel kesitler kıyaslandığında, dairesel kesitlerin yük taşıma kapasitesi neredeyse aynı olduğu ancak orta noktada %15 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 %107 daha fazla moment taşıdığı gözlemlenmiştir. Aynı numuneler için orta deplasmanda %117 artış gözlenmiştir.

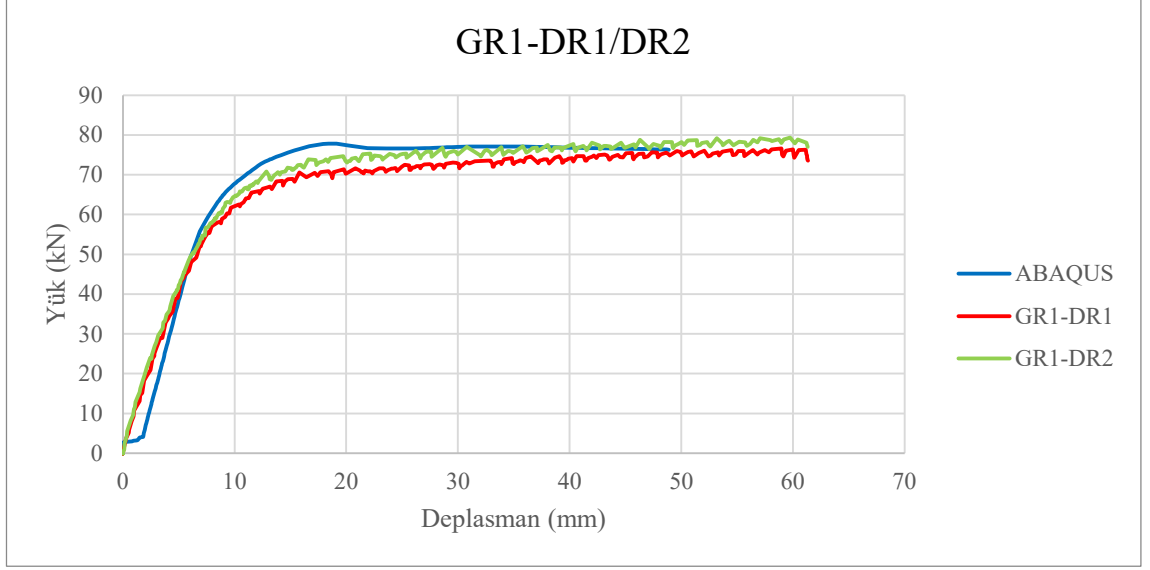


Şekil 69. GR4'e ait numunelerin yük-deplasman eğrisi

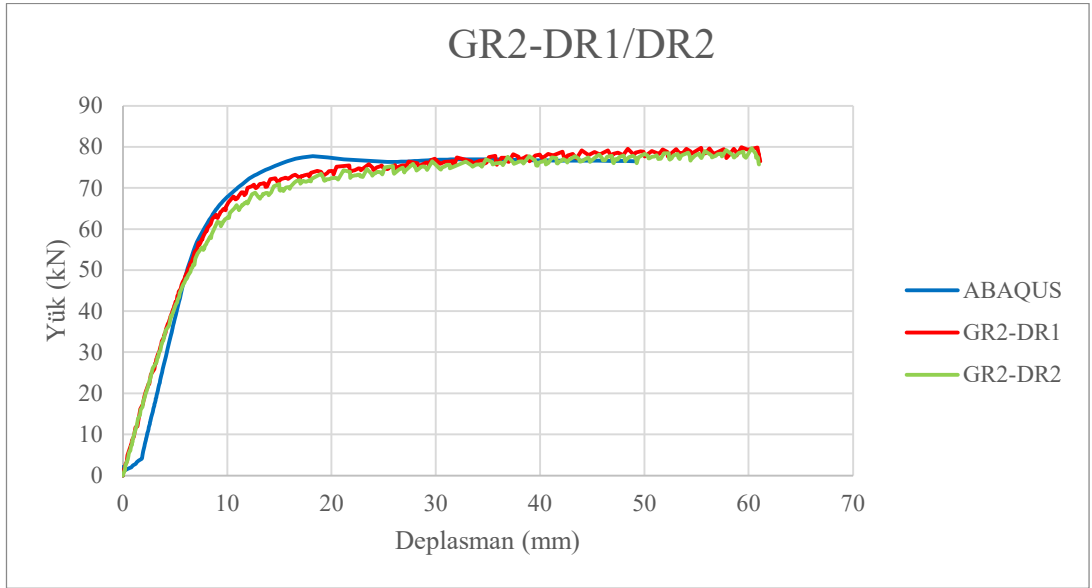
4.6. Deneysel Çalışma Bulguları ile Numerik Çalışma Bulgularının Karşılaştırılması

4.6.1. Dairesel kesitli kirişler

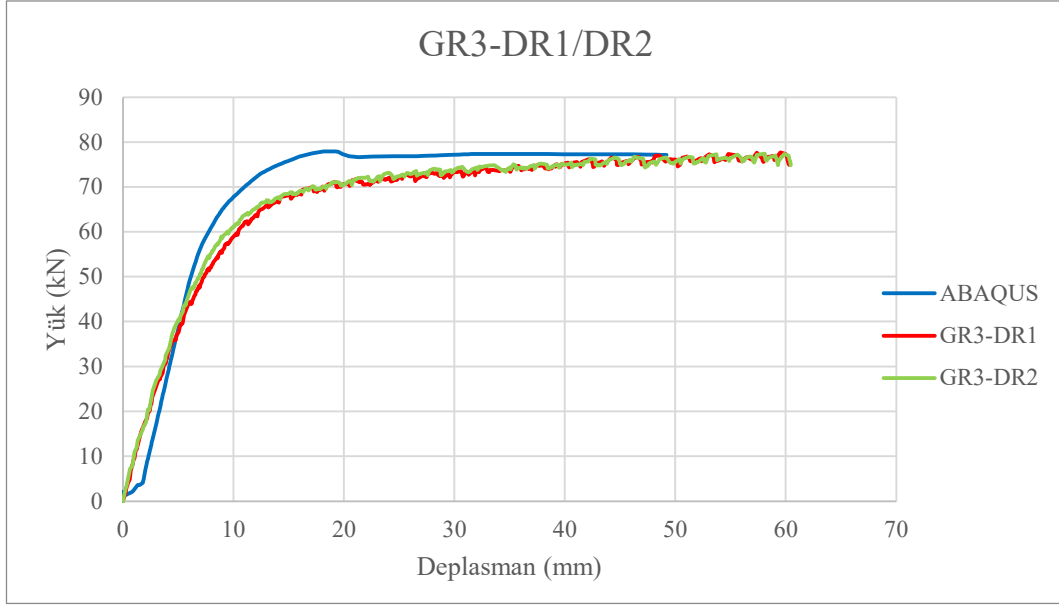
Deneysel çalışma sonucunda stentli dairesel kesitli BDKE kirişlerinin akma noktasındaki yük-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler numerik analiz sonucunda oluşturulan eğriler ile kıyaslanmıştır.



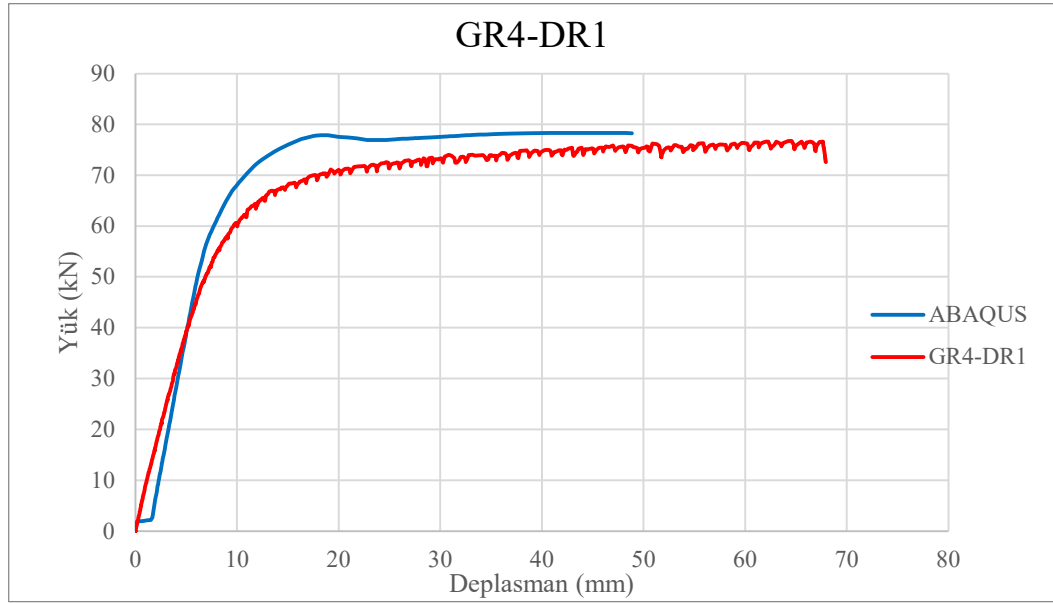
Şekil 70. GR1-DR1/DR2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi



Şekil 71. GR2-DR1/DR2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi



Şekil 72. GR3-DR1/DR2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi



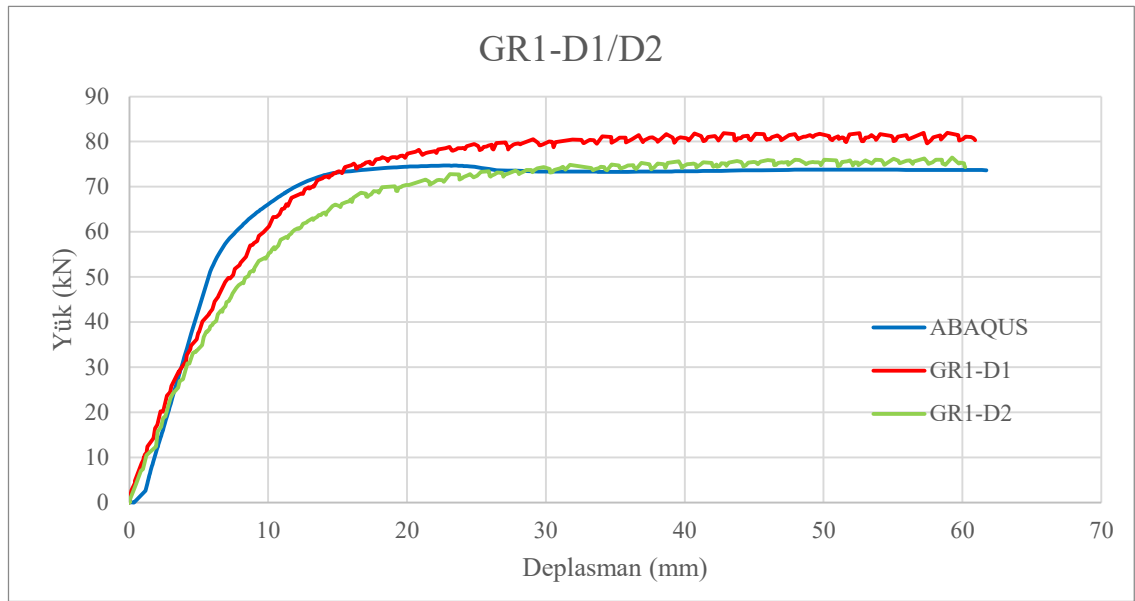
Şekil 73. GR4-DR1'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi

Tablo 17. Dairesel kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel çalışma ve ABAQUS eğilme momenti dayanımları ve orta deplasmanlar

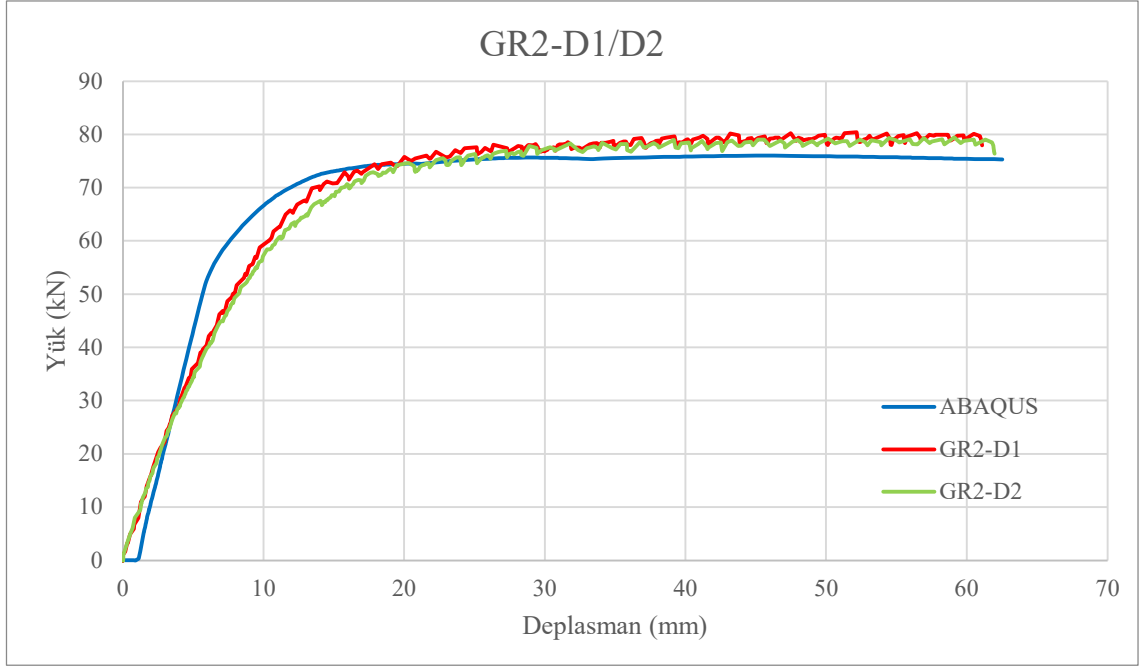
Profil Kesiti	Eleman Adı	Deneysel Çalışma		ABAQUS	
		Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)	Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)
Dairesel Kesitli	GR1 - DR1/DR2	13,66	9,47	17,05	15,01
	GR2 - DR1/DR2	13,92	9,2	17,1	15,47
	GR3 - DR1/DR2	12,95	9,01	17,27	16,03
	GR4 - DR1	13,51	10	17,31	16,07

4.6.2. Dikdörtgen kesitli kirişler

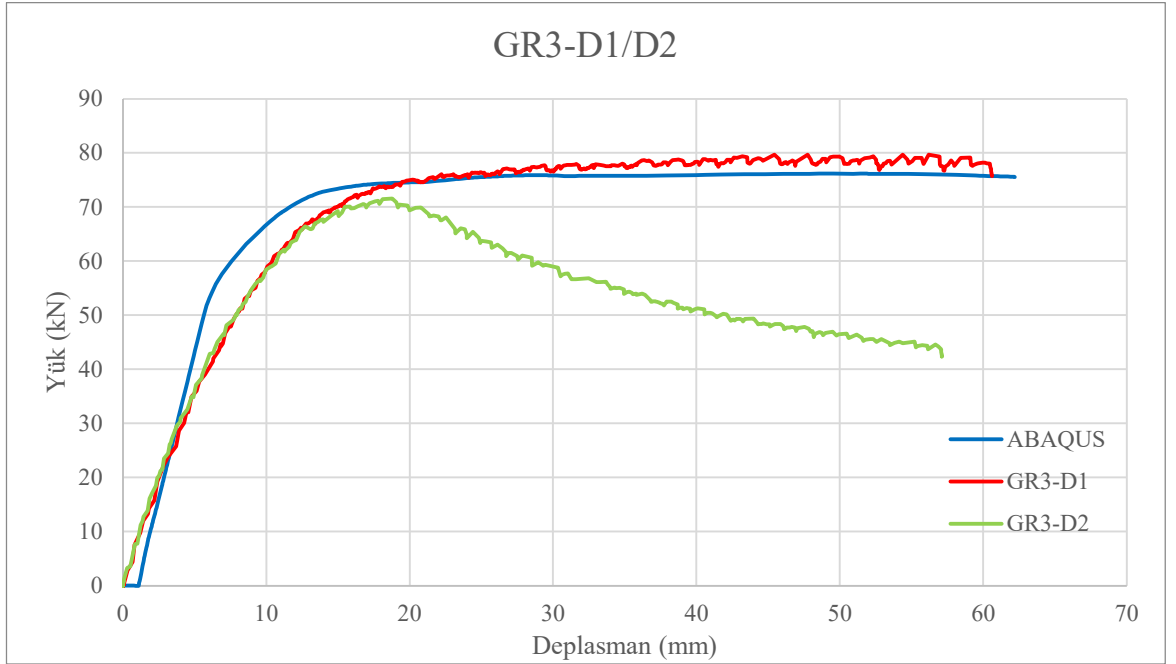
Deneysel çalışma sonucunda stentli dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerinin akma noktasındaki yük-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler numerik analiz sonucunda oluşturulan eğriler ile kıyaslanmıştır.



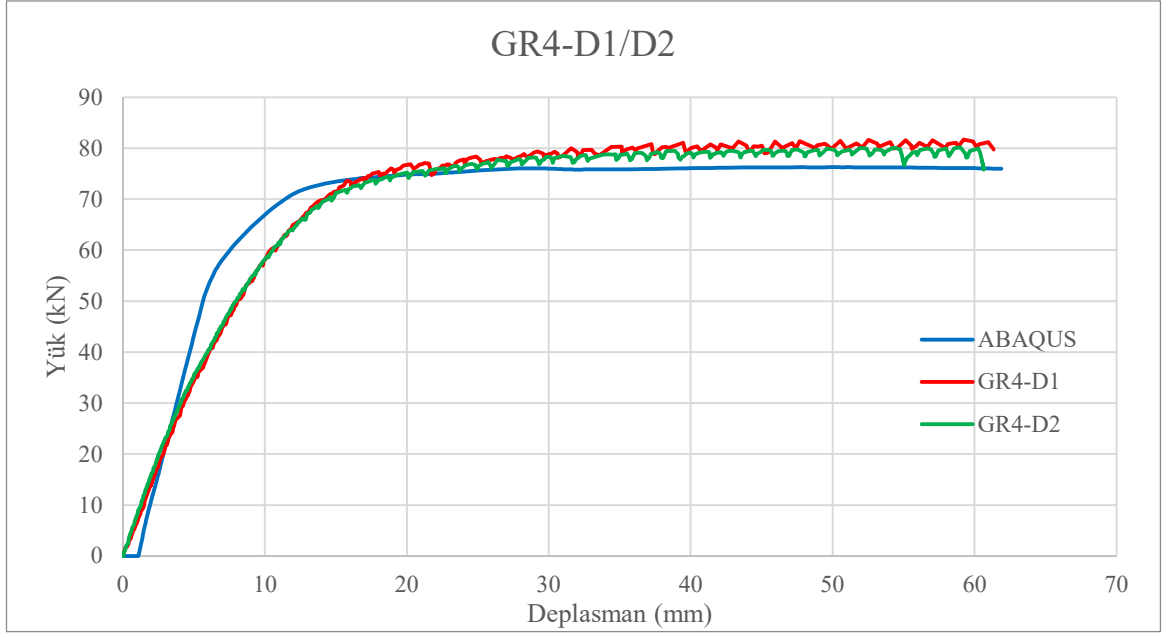
Şekil 74. GR1-D1/D2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi



Şekil 75. GR2-D1/D2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi



Şekil 76. GR3-D1/D2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi



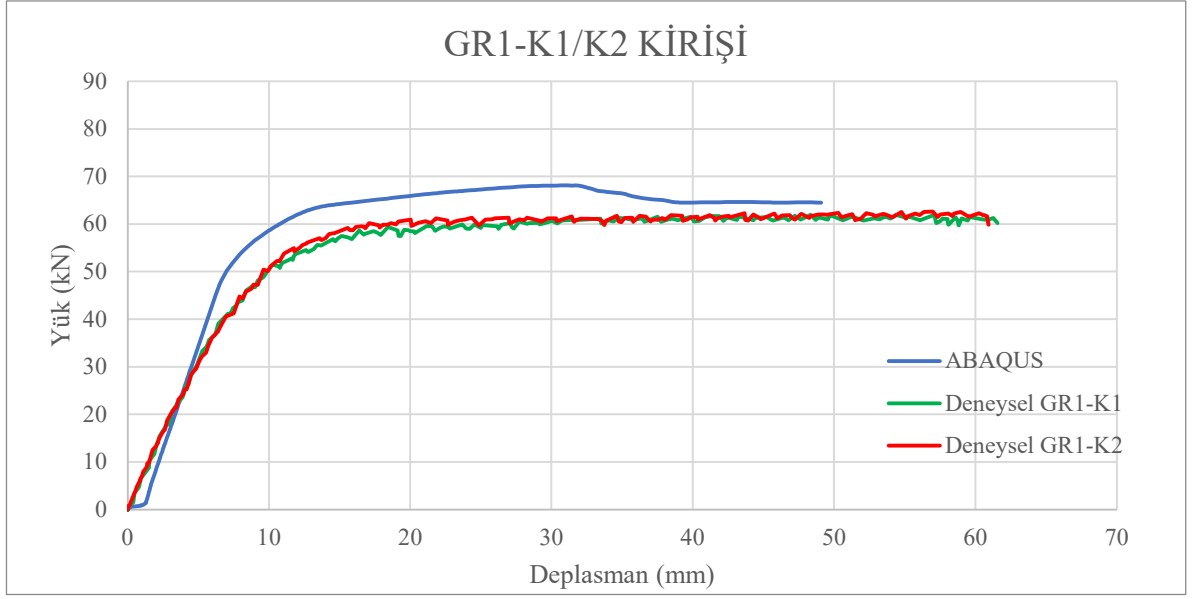
Şekil 77. GR4-D1/D2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi

Tablo 18. Dikdörtgen kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel çalışma ve ABAQUS eğilme momenti dayanımları ve orta deplasmanlar

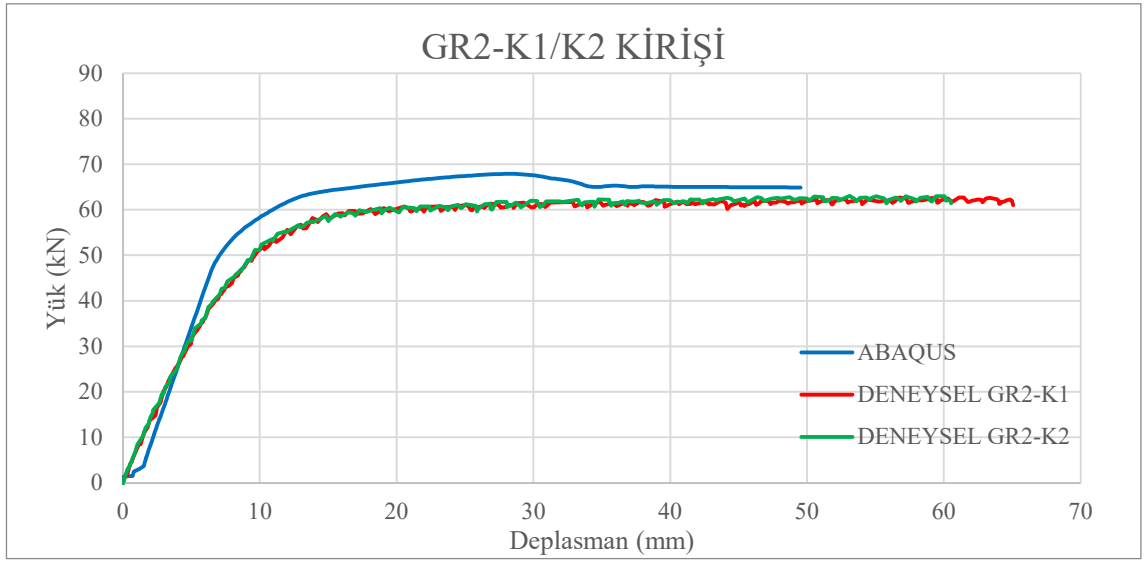
Profil Kesiti	Eleman Adı	Deneysel Çalışma		ABAQUS	
		Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)	Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)
Dikdörtgen Kesitli	GR1 - D1/D2	14,29	10,4	15,34	10,99
	GR2 - D1/D2	14,99	11,59	15,51	11,19
	GR3 - D1/D2	15,29	7,78	15,53	11,11
	GR4 - D1/D2	15,58	11,71	15,95	11,95

4.6.3. Kare kesitli kirişler

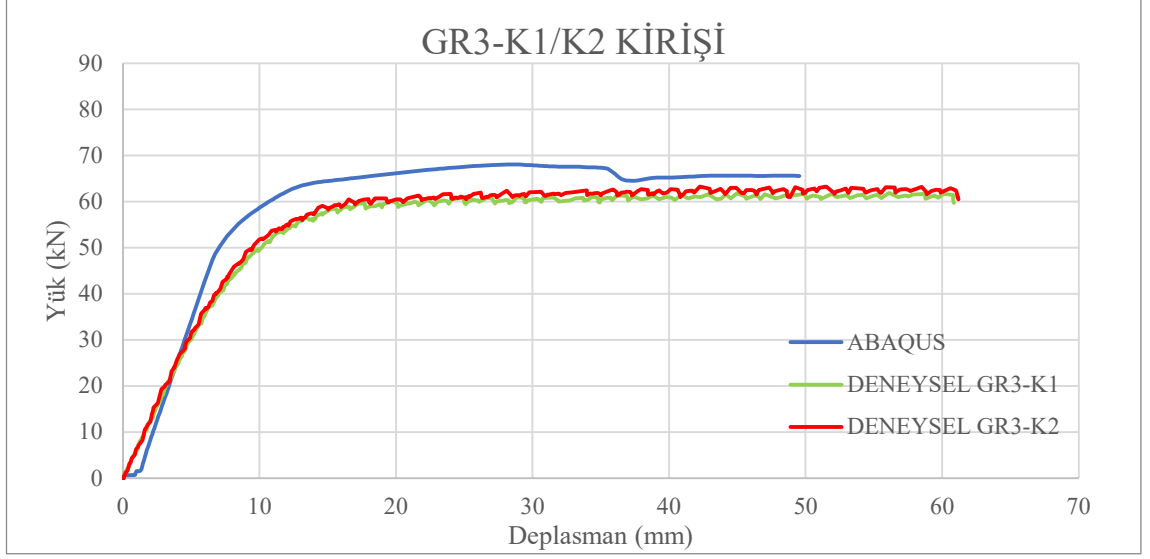
Deneysel çalışma sonucunda stentli kare kesitli BDKE kirişlerinin akma noktasındaki yük-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler numerik analiz sonucunda oluşturulan eğriler ile kıyaslanmıştır.



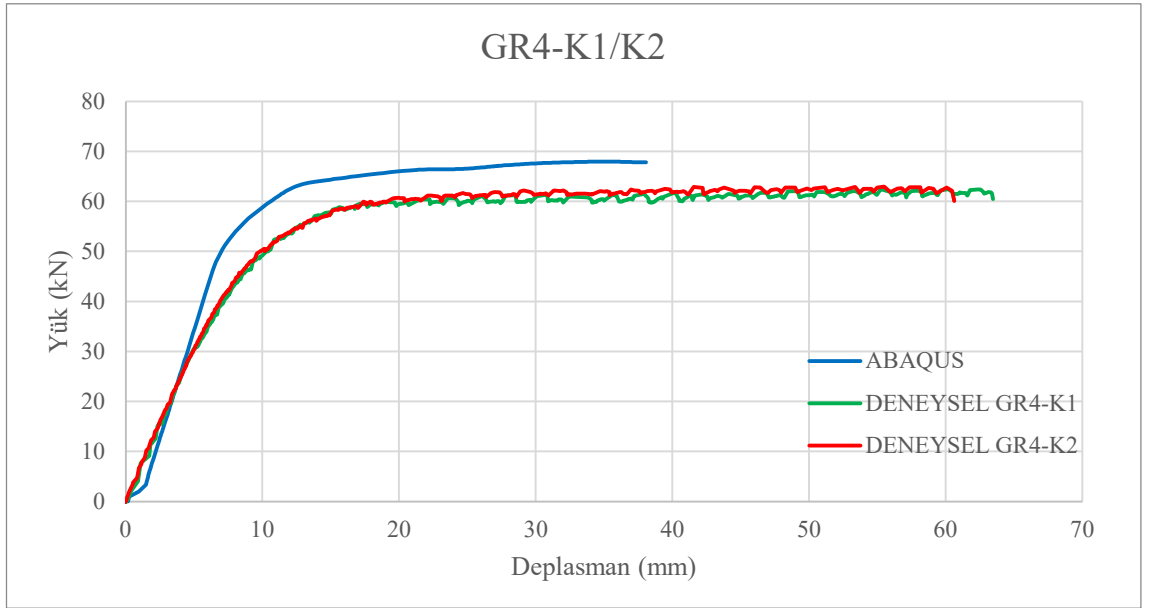
Şekil 78. GR1-K1/K2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi



Şekil 79. GR2-K1/K2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi



Şekil 80. GR3-K1/K2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi



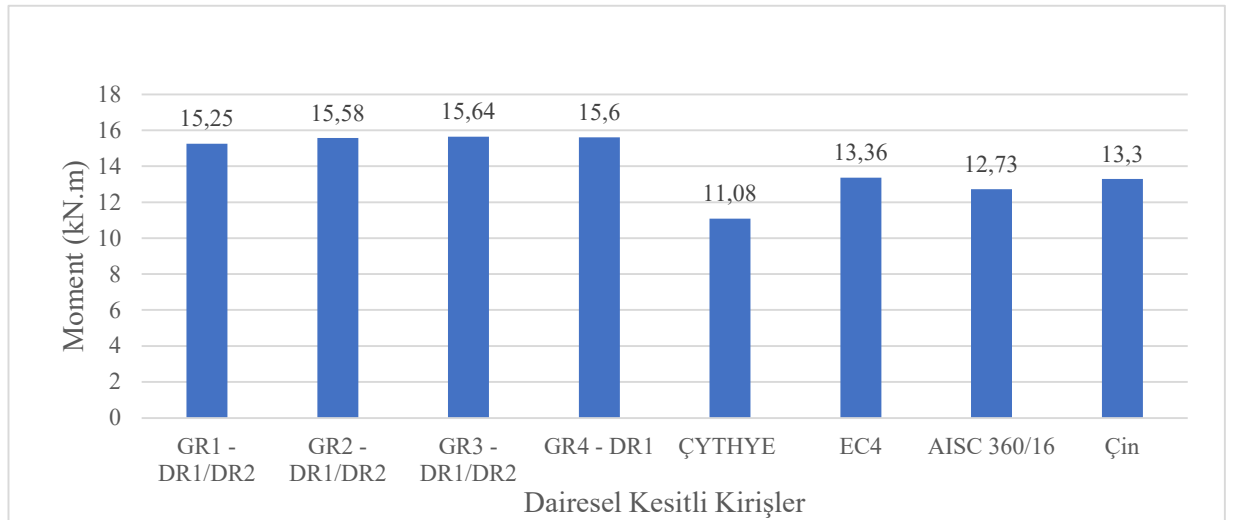
Şekil 81. GR4-K1/K2'e ait numunelerin numerik ve deneysel yük-deplasman eğrisi

Tablo 19. Kare kesitli Stentli BDKE kirişlerin deneysel çalışma ve ABAQUS eğilme momenti dayanımları ve orta deplasmanlar

Profil Kesiti	Eleman Adı	Deneysel Çalışma		ABAQUS	
		Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)	Moment (kN.m)	Orta Deplasman (mm)
Kare Kesitli	GR1 - K1/K2	11,12	9,435	13,63	11,12
	GR2 - K1/K2	12,23	9,69	14,37	14,4
	GR3 - K1/K2	11,28	9,87	14,48	14,73
	GR4 - K1/K2	11,3	10,42	14,6	16,54

4.7. Deneysel Çalışma Bulguları ile Analitik Çalışma Bulgularının Karşılaştırılması

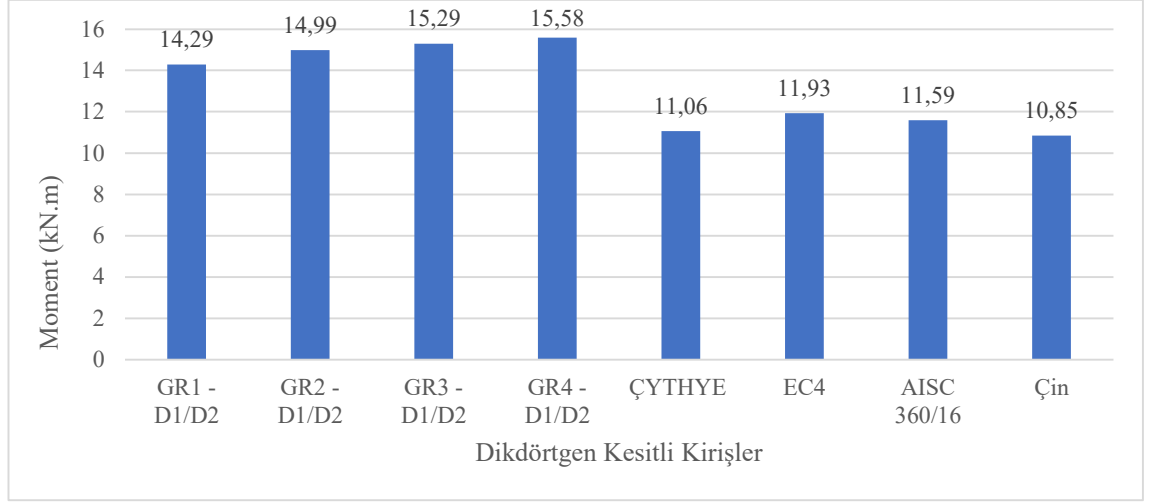
Deneysel çalışma ve analitik çalışma sonucu elde edilen dairesel kirişlere ait akma noktasındaki moment değerleri Şekil 82 da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde stent ilaveli kirişlerin yönetmeliklerce önerilen yöntemlerden elde edilen moment değerlerinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlara en yakın moment taşıma kapasitesi EC4 yönetmeliğidir. ve kıyaslandığı zaman deneysel sonuçlar EC4' e göre yaklaşık %17 daha fazla akma noktasında eğilme momenti dayanımı sağlamaktadır.



Şekil 82. Dairesel kesitli kirişlerin deneysel ve analitik çalışma sonucunda elde edilen moment kapasiteleri

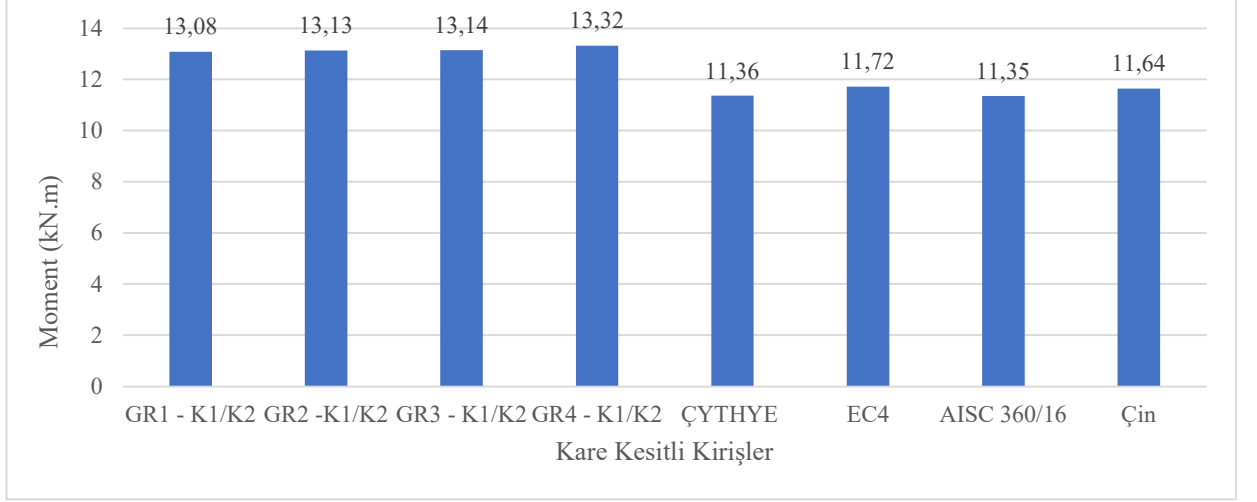
Deneysel çalışma ve analitik çalışma sonucu elde edilen dikdörtgen kirişlere ait akma noktasındaki moment değerleri Şekil 83 de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde stent ilaveli kirişlerin yönetmeliklerce önerilen yöntemlerden elde edilen moment değerlerinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlara en yakın moment

taşıma kapasitesi EC4 yönetmeliğidir ve kıyaslandığı zaman deneysel sonuçlar EC4' e göre yaklaşık %31 daha fazla akma noktasında eğilme momenti dayanımı sağlamaktadır. Akma noktasında eğilme momenti dayanımları arasındaki yüzdelik farkın yüksek olmasının sebebi yönetmeliklerin tasarımda güvenli tarafta kalmak istemesidir.



Şekil 83. Dikdörtgen kesitli kirişlerin deneysel ve analitik çalışma sonucunda elde edilen moment kapasiteleri

Deneysel çalışma ve analitik çalışma sonucu elde edilen kare kirişlere ait akma noktasındaki moment değerleri Şekil 84 da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde stent ilaveli kirişlerin yönetmeliklerce önerilen yöntemlerden elde edilen moment değerlerinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kıyaslandığı zaman deneysel sonuçlar EC4' e göre yaklaşık %14 daha fazla akma noktasında eğilme momenti dayanımı sağlamaktadır.



Şekil 84. Kare kesitli kirişlerin deneysel ve analitik çalışma sonucunda elde edilen moment kapasiteleri

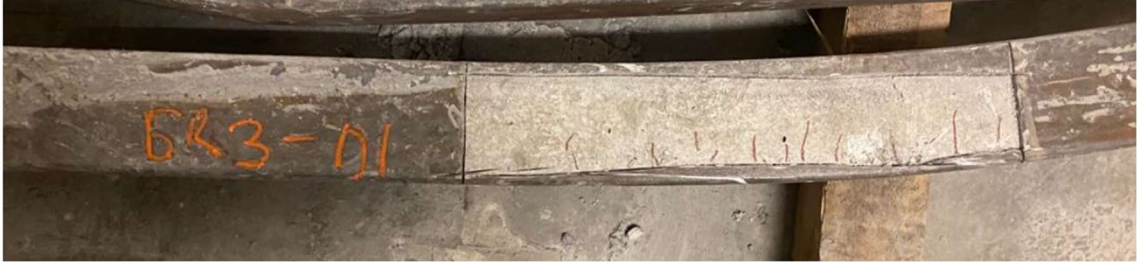
Deneysel çalışma sonucunda kirişlerin içerisindeki betonda oluşan çatlakların tespit edilmesi amacıyla kirişlerin sehim yaptığı belgelerde çelik tüpler sıyrılarak betonda oluşan çatlaklar belirlenmiştir. Dikdörtgen kesitli kirişlerde stent sıklığı arttıkça kirişlerde oluşan çatlakların azaldığı gözlemlenmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 85. Dikdörtgen kesitli, (a) GR1-D1, (b) GR2-D1, (c) GR3-D1 ve (d) GR4-D1 kirişlerinde deney sonucunda oluşan çatlaklar

SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında aynı çelik kesit alanın sahip dairesel kesitli, dikdörtgen kesitli ve kare kesitli beton dolgulu kompozit kirişlere belirli aralıklar ile stent eklenerek atalet momenti arttırılmıştır. Stentli BDKE kirişler analitik, numerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Yapılan analitik, numerik ve deneysel çalışmalar sonucunda içi beton dolgulu kompozit kirişlere stent ilave edilmesi eğilme momenti dayanımını arttırmış olup stent sıklığının arttırılması eğilme dayanımına olumlu etkileri olduğu görülmüştür.
- Yapılan çalışmalar sonucunda stent ilaveli beton dolgulu kompozit kirişlerin, içi beton dolgulu çelik kirişlere göre daha yüksek eğilme momenti dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Bundan dolayı Sancioğlu (2020) tarafından yapılan çalışmaya göre stentli ilaveli kirişlerde çeliğin akması BDKE kirişlere göre daha geç olduğu gözlemlenmiştir.
- Deneysel çalışma sonuçları incelendiğinde aynı kesitteki kirişlerde stent sıklığı arttığında eğilme momentinde de artış gözlemlenmiştir. Dairesel kirişler incelendiğinde G4'e ortalama akma noktasındaki kiriş eğilme momenti G1'e göre yüzde %1 daha fazladır. Dikdörtgen kirişler incelendiğinde G4'e ortalama akma noktasındaki kiriş eğilme momenti G1'e göre yüzde %9 daha fazladır. Kare kirişler incelendiğinde G4'e ortalama akma noktasındaki kiriş eğilme momenti G1'e göre yüzde %2 daha fazladır.
- Aynı kesit alanına sahip kesitlerin deneysel sonuçları kıyaslandığında seçilen her stent dizilimi grubunda dairesel kesitlerde akma noktasında maksimum eğilme momenti kapasitesi gözlemlenmiştir. GR1' e ait kirişlerde dairesel kesitli kirişlerin akma noktasındaki yük taşıma kapasitesi kare ve dikdörtgen kesitlere kıyaslandığında sırasıyla %19 ve %9 oranında artış gözlenmiştir. GR2' e ait kirişlerde dairesel kesitli kirişlerin akma noktasındaki yük taşıma kapasitesi kare ve dikdörtgen kesitlere kıyaslandığında sırasıyla %15 ve %4 oranında artış gözlenmiştir. GR3' e ait kirişlerde dairesel kesitli kirişlerin akma noktasındaki yük taşıma kapasitesi kare ve dikdörtgen kesitlere kıyaslandığında sırasıyla %19 ve %2 oranında artış gözlenmiştir. GR4' e ait kirişlerde dairesel kesitli kirişlerin

dikdörtgen kesitli kirişlerin akma noktasındaki yük taşıma kapasitesinin neredeyse aynı olduğu ve kare ve kesitlere kıyaslandığında %17 oranında artış gözlenmiştir.

- Stent ilaveli dairesel kesitli BDKE kirişler için GR4'e ait deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların ÇYTHYE, EC4, ANSI/AISC 360-16 ve Çin standart ve yönetmeliklerine göre yapılan analitik çalışmaların sonuçlarına göre yüzde 41, 17, 22 ve 17 daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.
- Stent ilaveli dikdörtgen kesitli BDKE kirişler için GR4'e ait deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların ÇYTHYE, EC4, ANSI/AISC 360-16 ve Çin standart ve yönetmeliklerine göre yapılan analitik çalışmaların sonuçlarına göre yüzde 40, 30, 34 ve 43 daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.
- Stent ilaveli kare kesitli BDKE kirişler için GR4'e ait deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların ÇYTHYE, EC4, ANSI/AISC 360-16 ve Çin standart ve yönetmeliklerine göre yapılan analitik çalışmaların sonuçlarına göre yüzde 17, 13, 17 ve 14 daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.
- Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla, ÇYTHYE'ye göre hesaplanan analitik sonuçlar eğilme kapasiteleri bakımından karşılaştırıldığında, dairesel kesitli elemanların %41, dikdörtgen kesitli elemanların %40 ve kare kesitli elemanların %17 daha yüksek sonuç verdiği görülmüştür.

Öneriler

- Dolgu elemanı olarak farklı dayanım değerlerine sahip beton kullanılabilir.
- Stent elemanların konumu, sayısı ve kesit özellikleri değişken parametreler olarak belirlenebilir.
- Modellenen stentli BDKE kirişleri bileşik etkiler altında incelenebilir.
- Farklı et kalınlığında ve farklı D/t ve B/t oranlarında kirişler seçilerek deneysel çalışmanın çeşitliliği artırılabilir.
- ÇYTHYE'nin ilgili bölümlerinde stentli kompozit kesitlere ait hesap esasları bulunmamaktadır. Yönetmeliğe eklenmesi için ileride yapılacak çalışmalarda, farklı parametreler kullanılarak çalışmanın çeşitlendirilmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- 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 Zand, A. W., Badaruzzaman, W. H. W., Al-Shaikhli, M. S., & Ali, M. M. (2020). Flexural performance of square concrete-filled steel tube beams stiffened with V-shaped grooves. *Journal of Constructional Steel Research*, 166.
- Alhete, O. A. (2018). *Effects of imperfections on the flexural behaviour of concrete filled steel tubes beams with circular sections*. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.
- Alkarkhi, M. (2021). *Investigation on the mechanical behaviour of polymer concrete filled aluminum tubes*. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atılım Üniversitesi, Ankara.
- Al-Obaidi, S., Salim, T., & Hemzah, S. A. (2018). Flexural behavior of concrete filled steel tube composite with different concrete compressive strength. *International Journal of Civil Engineering and Technology IJCIET*, 9(7), 824-832.
- Al-Shaar, A. A. M. (2018). *Concrete filled steel tube composite beams and improvement of flexural performance*. Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.
- Al-Shaar, A. A. M., & Göğüş, M. T. (2018). Performance of Retrofitted Self-Compacting Concrete-Filled Steel Tube Beams Using External Steel Plates. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018.
- Al-Zand, A. W., Hamidon, W., Badaruzzaman, W., Mutalib, A. A., & Hilo, S. J. (2014). Finite element analysis of concrete-filled steel tube beams partially wrapped with cfrp sheet. *International Journal of Technical Research and Applications*, 04-08.
- ANSI/AISC 360-16. 2016. Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago-Illinois.
- Aravind, S., & Rafi, D. M. (2017). A study on flexural behaviour of concrete filled steel tubes. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 6(3), 621-626.

- Arivalagan, S., & Kandasamy, S. (2010). Flexural and cyclic behaviour of hollow and concrete-filled steel tubes. *Twentieth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, 237-254.
- Brown, N. K., Kowalsky, M. J., & Nau, J. M. (2015). Impact of D/t on seismic behavior of reinforced concrete filled steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 107, 111-123.
- Chen, Y., Feng, R., & Xu, J. (2017). Flexural behaviour of CFRP strengthened concrete-filled aluminium alloy CHS tubes. *Construction and Building Materials*, 142, 295-319.
- ÇYTHYE (2018). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Türkiye.
- DBJ/T13-51-2010. 2010. Technical Specification for Concrete-Filled Steel Tubular Structures. DBJ, Fuzhou (in Chinese).
- Elchalakani, M., Zhao, X. L., & Grzebieta, R. H. (2001). Concrete-filled circular steel tubes subjected to pure bending. *Journal of Constructional Steel Research*, 57, 1141-1168.
- Ersoy, U., Özcebe, G. ve Canbay, E. (2019). *Betonarme I* (9. bs.). İstanbul, Türkiye: Evrim Yayınları.
- EN 1994-1-1 Eurocode4. 2004. Design of Composite Steel and Concrete Structures Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. CEN, Brussels.
- Gho, W. M., & Liu, D. (2004). Flexural behaviour of high-strength rectangular concrete-filled steel hollow sections. *Journal of Constructional Steel Research*, 60(11), 1681-1696.
- Güler, S. (2012). *Lifli yüksek performanslı beton doldurulmuş çelik tüplerin mekanik davranışı*. Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Gunawardena, Y. K. R., Aslani, F., Uy, B., Kang, W. H., & Hicks, S. (2019). Review of strength behaviour of circular concrete filled steel tubes under monotonic pure bending. *Journal of Constructional Steel Research*, 158, 460-474.
- Halvani, E. (2021). *Nonlinear finite element analysis of concrete filled steel tube connections*. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.

- Han, L. H. (2004). Flexural behaviour of concrete-filled steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 60(2), 313-337.
- Han, L. H., Li, W., & Bjorhovde, R. (2014). Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members. *Journal of Constructional Steel Research*, 100, 211-228.
- Kalemi, B. (2016). *Numerical modelling and assessment of circular concrete-filled steel tubular members*. Yüksek lisans tezi, Scuola Superiore Studi Pavia IUSS, İtalya.
- Khalil, O. I. (2019). *Investigation of flexural performance of double skin concrete filled steel tube beams*. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.
- Lu, Y., Liu, Z., Li, S., & Li, W. (2017). Behavior of steel fibers reinforced self-stressing and self-compacting concrete-filled steel tube subjected to bending. *Construction and Building Materials*, 156, 639-651.
- Lu, Y. Q., & Kennedy, D. D. J. L. (1994). The flexural behaviour of concrete-filled hollow structural sections. *J. Civ. Eng*, 21, 111-134.
- Moon, J., Roeder, C. W., Lehman, D. E., & Lee, H. E. (2012). Analytical modeling of bending of circular concrete-filled steel tubes. *Engineering Structures*, 42, 349-361.
- Nakanishi, K., Kitada, T., & Nakai, H. (1999). Experimental study on ultimate strength and ductility of concrete filled steel columns under strong earthquake. İçinde *Journal of Constructional Steel Research*, 51, 297-319.
- Ren, Q. X., Han, L. H., Lam, D., & Hou, C. (2014). Experiments on special-shaped CFST stub columns under axial compression. *Journal of Constructional Steel Research*, 98, 123-133.
- Sancıoğlu, S. (2020). *Beton dolgulu kompozit kirişlerin eğilme etkisinin deneysel ve analitik incelenmesi*. Yüksek lisans tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Sancıoğlu, S., İlgün, A., Çarbaş, S., & Kamil Akın, S. (2019). Beton dolgulu çelik kirişlerin eğilme etkisinin analitik olarak incelenmesi. 8. *Uluslararası Çelik Yapılar Sempozyumu*, 416-421.

- Treesa Joseph, N., Student, P., Scariah James, J., Professor, A., & Philip, P. (2016). Flexural performance of concrete filled steel tube beams. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 5(7), 444-446.
- TS 802 (2016). TS 802 - Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, Türkiye.
- TS EN 12390-3 (2019). TS EN 12390-3 Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleri–Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, Türkiye.
- Wang, R., Han, L. H., Nie, J. G., & Zhao, X. L. (2014). Flexural performance of rectangular CFST members. *Thin-Walled Structures*, 79, 154-165.
- Zebari, I.H. (2018). *Investigation of design parameters effects performance of concrete filled steel composite rectangular members according to design codes*. Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi, 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.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Berna BAYRAM

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : 2015, KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fak., İnşaat Mühendisliği

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri :

İlgün, A., Bayram, B., Arıbaş, S. ve Zia, A. J., 2019, Farklı Ses Yalıtımlı Bölme duvarları Olan 17 Katlı Çelik ve Betonarme Binaların Deprem Etkisi Altında Karşılaştırılması, ENAR Congress, Muğla, Türkiye.

Sancioğlu, S., Arıbaş, S., Bayram, B., Şimşek, M., Çarbaş, S., 2019, Çelik Bir Binada Kullanılan Çapraz Tiplerinin Deprem Etkisi Altında Analizi, 8. International Steel Structures Symposium, Konya, Türkiye

Bayram, B., Sancioğlu, S., Çarbaş, S., Çelik Bir Yapıda Dışmerkez Diyagonal Çaprazların Etkisi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, Vol. 1, No. 1, pp. 128 – 145, Aralık 2019. (ISSN: 2687-5071)

İlgün, A., Can, H., Bayram, B., Arıbaş, S., Zia, A. J., Sancioğlu, S., 2019, Eksenel Yük Etkisi Altında İnce Cidarlı Çelik Kolonların Deneysel Olarak İncelenmesi, 7. YMLÇ, Konya, Türkiye.

Bayram, B., Sancioğlu, S., Çarbaş, S., 2019, Dışmerkez Diyagonal Çaprazların Sismik Etkiler Altında Çelik Yapılara Etkisi, 1. UMTK, Karaman, Türkiye

İlgün, A., Zia, A. J., Sancioğlu, S., Soydoğan, H.F., Köklü, M.H., Arıbaş, S., Bayram, B., 2023, Buckling performance of thin-walled filled steel columns, Turkish Journal of Engineering, Volume 7, Issue 3, 172 – 179.

İlgün, A., Bayram, B., Sancioğlu, S., 2022, Stentli Kompozit Kirişlerin Eğilme Etkisinde Deneysel İncelenmesi, 8. YMLÇ, Eskişehir, Türkiye.

İŞ DENEYİMİ

Stajlar :

2018-KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği
Bölümü Yapı Laboratuvarı, Konya (Türkiye)

2017- Delta Group Mimarlık Mühendislik, Konya (Türkiye)

2016- Akademi İnşaat, Konya (Türkiye)

Çalıştığı Kurumlar :

2020-2021 Proje Mühendisi – Pentus İnşaat

Tarih: 25 Ocak 2023