



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

**BETON DOLGULU KOMPOZİT KİRİŞLERİN EĞİLME ETKİSİNİN
DENEYSEL VE ANALİTİK İNCELENMESİ**

Sadrettin SANCIOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

**KONYA
Eylül 2020**

BETON DOLGULU KOMPOZİT KİRİŞLERİN EĞİLME ETKİSİNİN DENEYSEL
VE ANALİTİK İNCELENMESİ

Sadrettin SANCIOĞLU

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

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim İLGÜN
İkinci Danışman: Doç. Dr. Serdar ÇARBAŞ

Konya
Eylül 2020

KABUL VE ONAY

Sadrettin SANCIOĞLU tarafından hazırlanan “Beton Dolgulu Kompozit Kirişlerin Eğilme Etkisinin Deneysel ve Analitik İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, 28 Eylül 2020 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: **Prof. Dr. Hüsnü CAN**
KTO Karatay Üniversitesi

Tez Danışmanı: **Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim İLGÜN**
KTO Karatay Üniversitesi

İkinci Danışman: **Doç. Dr. Serdar ÇARBAŞ**
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Doç. Dr. Ali KÖKEN**
Konya Teknik Üniversitesi

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ
Enstitü Müdürü

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 6 ay ertelenmiştir.²

Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.³⁴

28 Eylül 2020

Sadrettin SANCIOĞLU

¹ MADDE 6(1) Lisansüstü tezle 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.

28 Eylül 2020

Sadrettin SANCIOĞLU

KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma konusunu öneren, lisans eğitimimin baŐlangıcından bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim İlgün'e, zaman tanımaksızın sürekli beni çalışmaya aŐılayan, bilgi ve tecrübesiyle her zaman destek olan ikinci danışmanım Doç. Dr. Serdar arbaŐ'a, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen ArŐ. Gör. Ahmad Javid Zia, ArŐ. Gör. Abdullah Müsevitoğlu, lisans öğrencilerinden Münife Hanım Köklü, Serkan Salkım, Mehmet Ali Sancak Oral, Őüheda Pirbudak, Ali Furkan Alıcioğlugil ve Őerife Őeyma Polat'a, ANSYS ile sonlu elemanlar modelleme çalıŐmalarımnda yardımcı olan Öğr. Gör. HaŐmet ağrı Sezgen'e, her zaman arkamda olduklarını bildiğim KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına teşekkür ederim.

Her zaman her koşulda sadece benimle olduklarını bildiğim annem Hatice Üçler başta olmak üzere aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

Eylül, 2020

Sadrettin SANCIOĞLU

ÖZET

Sadrettin SANCIOĞLU

Beton Dolgulu Kompozit Kirişlerin Eğilme Etkisinin Deneysel ve Analitik İncelenmesi

Yüksek Lisans Tezi

Konya, 2020

Beton dolgulu kompozit elemanların hem kiriş olarak hem de kolon olarak kullanımı son dönemde dünya çapında yaygınlaşmıştır. Bu tip elemanların, betonarme elemanlarda olduğu gibi kalıplama işleminin ve içlerinde ki dolgu betonunun bakıma ihtiyacı olmaması gibi avantajlarının yanı sıra içi boş çelik elemanlara göre de daha küçük kesitler kullanılarak basınç dayanımlarının ve eğilme kapasitelerinin artması gibi avantajları vardır. Bu tez çalışmasında eşit kesit alanına ve eşit et kalınlığına sahip dairesel, dikdörtgen ve kare kesitli beton dolgulu kompozit elemanların eğilme dayanımları incelenmiştir. Farklı kesit tipine sahip üç (3) adet içi boş kiriş ve farklı kesit tiplerinde 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. Deneyden elde edilen sonuçlara göre yük – deplasman ve moment – deplasman eğrileri çizilmiştir. Elde edilen sonuçlar ANSYS Workbench sonlu elemanlar paket yazılımında yapılan analiz sonuçlarıyla ve ülkemizde yürürlükte olan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar – 2018 yönetmeliğinin 12. bölümünde verilen formüllerle, EuroCode4 ve Lin Hai Han tarafından geliştirilen yöntemle kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, dairesel kesitli beton dolgulu kompozit kirişlerin deneysel sonuçlarının analitik sonuçlarla çok yakın olarak elde edildiği, yine dikdörtgen ve kare kesitli beton dolgulu kompozit kirişlerin deney sonuçlarının analitik sonuçlara yakın olduğu ve dairesel kesitli beton dolgulu kompozit kirişlere göre ise daha güvenilir tarafta kaldığı görülmüştür. Hem beton dolgulu hem de içi boş çelik kirişlerin numerik analizlerinin deneysel sonuçlara yakın sonuçlar verdiği, bundan dolayı beton dolgulu kompozit kirişlerin sonlu elemanlar analizi yapan ANSYS Workbench programında modellenbildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

Eğilme, kompozit kirişler, beton dolgulu çelik profil, ANSYS Workbench, BDKE

ABSTRACT

Sadrettin SANCIOĞLU

Experimental and Analytical Investigation of Bending Effects of Concrete Filled

Composite Beams

Master's Thesis

Konya, 2020

The use of concrete-filled composite elements both as beams and as columns has recently become popular around the world. As with reinforced concrete elements, they have advantages such as the moulding process and the lack of maintenance of the filled concrete, as well as the advantages such as increasing the compressive strength and bending capacity by using smaller sections compared to hollow steel elements. In this thesis study, the flexural strength of rectangular, circular and square section concrete-filled composite elements with the equal cross-sectional area and equal wall thickness were investigated. A total of 12 beams, including three (3) beams with different cross-section types and nine (9) beams filled with concrete with a 28-day compressive strength of 40 MPa, were subjected to a four (4)-point bending test. Load- displacement and moment- displacement curves were drawn according to the results obtained from the experiment. The results obtained were compared with the analysis results made in the ANSYS Workbench software and the formulations given in the 12th section of the Principles Regarding the Design, Calculation and Construction of Steel Structures- 2018 regulation in force in our country, EuroCode4 and the method developed by Lin Hai Han. Finally, it has been observed that the obtained experimental results of circular cross-section concrete-filled composite beams are very close to the analytical results, and also those of rectangular and square cross-section concrete-filled composite beams are close to analytical results. They are more reliable than circular cross-section concrete-filled composite beams. It has been observed that the numerical analyzes of both concrete-filled and hollow steel beams are yielded close results to the experimental results; therefore, concrete-filled composite beams can be modeled in the ANSYS Workbench program, which makes finite element analysis.

Keywords

Bending, composite beams, concrete-filled steel beams, ANSYS Workbench, CFST

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM	ii
ETİK BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. Beton.....	13
3.1.2. Yapısal Çelik	16
3.1.3. Beton Dolgulu Kompozit Kirişler	21
3.1.4. Gerinim Pulu (Strain Gauge).....	24
3.1.5. Deney Düzenegi	25
3.2. Yöntem	26
3.2.1. Standartlarla ve Geliştirilen Yöntemlerle Yapılan Analitik Çalışma	26
3.2.2. ANSYS Workbench Yazılımı ile Numerik Çalışma	33
3.2.3. Deneysel Çalışma	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	41
4.1. Standartlarla ve Geliştirilen Yöntemlerle Yapılan Analitik Çalışma.....	41
4.1.1. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar – ÇYTHYE....	41
4.1.2. Çelik ve Beton ile Oluşturulan Kompozit Yapıların Tasarımı – EC4.....	42
4.1.3. Han Yöntemi.....	43
4.1.4. Analitik sonuçların kıyaslanması.....	44
4.2. ANSYS Workbench Yazılımı ile Numerik Çalışma	46
4.2.1. Dairesel kesitli kirişler	46

4.2.2. Dikdörtgen kesitli kirişler	49
4.2.3. Kare kesitli kirişler	51
4.3. Deneysel Çalışma	54
4.3.1. Dairesel kesitli kirişler	54
4.3.2. Dikdörtgen kesitli kirişler	57
4.3.3. Kare kesitli kirişler	60
4.3.4. Yerel burkulma	63
4.4. Analitik, Numerik ve Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması	66
4.4.1. Dairesel kesitli kirişler	66
4.4.2. Dikdörtgen kesitli kirişler	67
4.4.3. Kare kesitli kirişler	69
4.4.4. Aynı çelik kesit alanına sahip İBÇE ve BDKE kirişler	71
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	78

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Üretilen betonun karışım değerleri	13
Tablo 2. Üretilen betonun 7 günlük ve 28 günlük küp basınç dayanımları	15
Tablo 3. Yapısal çeliğin mekanik özellikleri	20
Tablo 4. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin özellikleri.....	23
Tablo 5. Dikdörtgen ve kare kesitli BDKE kirişlerin özellikleri	23
Tablo 6. Kompozit enkesitlerin eğilme momentinin basınç bileşeninin etkisindeki çelik enkesit parçaları için genişlik / kalınlık oranlarının sınır değerleri.....	27
Tablo 7. Sonlu elemanlar modelinde kullanılan düğüm noktası ve eleman sayısı	37
Tablo 8. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin ÇYTHYE'ye göre karakteristik eğilme momenti dayanımları	41
Tablo 9. Dikdörtgen ve kare kesitli BDKE kirişlerin ÇYTHYE 'ye göre karakteristik eğilme momenti dayanımları.....	42
Tablo 10. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin EC4'e göre karakteristik eğilme momenti dayanımları.....	42
Tablo 11. Dikdörtgen ve kare kesitli BDKE kirişlerin EC4'e göre karakteristik eğilme momenti dayanımları	43
Tablo 12. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin Han yöntemine göre karakteristik eğilme momenti dayanımları	43
Tablo 13. Dikdörtgen ve kare kesitli BDKE kirişlerin Han yöntemine göre karakteristik eğilme momenti dayanımları.....	43
Tablo 14. Dairesel kesitli kirişlerin analitik karşılaştırılması	44
Tablo 15. Dikdörtgen kesitli kirişlerin analitik karşılaştırılması	45
Tablo 16. Kare kesitli kirişlerin analitik karşılaştırılması.....	45
Tablo 17. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin numerik eğilme momenti dayanımları	48
Tablo 18. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin numerik eğilme momenti dayanımları...	51
Tablo 19. Kare kesitli BDKE kirişlerin numerik eğilme momenti dayanımları	53
Tablo 20. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları.....	55
Tablo 21. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları..	58
Tablo 22. Kare kesitli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları	61
Tablo 23. Dairesel kesitli kirişlerin karşılaştırılması	67
Tablo 24. Dikdörtgen kesitli kirişlerin karşılaştırılması	68
Tablo 25. Kare kesitli kirişlerin karşılaştırılması.....	70
Tablo 26. İBÇE ve BDKE kirişlerin analitik, numerik ve deneysel sonuçları	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. BDKE'nin Dünya'daki Çeşitli Uygulanmış Örnekleri (a) SEG Plaza, Çin (b) Amerika Federal Adliyesi, ABD (c) Ruifeng Binası, Çin (d) Canton Kulesi, Çin (e) Caiyuanba Yangtze Köprüsü, Çin (f) Wangcang Doğu Nehri Köprüsü, Çin (g) Zhaohua Jialing Nehri Köprüsü, Çin (h) Ganhaizi Köprüsü, Çin.....	4
Şekil 2. (a) Çaplarına göre ayrılan agrega numuneleri, (b) Elek analizi.....	14
Şekil 3. Agrega en büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan beton için belirlenen agrega tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar.....	14
Şekil 4. (a) Beton numuneleri, (b) Beton dayanım testi.....	15
Şekil 5. (a) Dairesel kesitten alınan kupon numuneler, (b) Dikdörtgen kesitten alınan kupon numuneler ve (c) Kare kesitten alınan kupon numuneler	17
Şekil 6. Dairesel kesitli kirişten alınan kupon numunelerinin gerilme – birim deformasyon eğrileri	18
Şekil 7. Dikdörtgen kesitli kirişten alınan kupon numunelerinin gerilme – birim deformasyon eğrileri	18
Şekil 8. Kare kesitli kirişten alınan kupon numunelerinin gerilme – birim deformasyon eğrileri	19
Şekil 9. BDKE kiriş numuneleri (a) Numunelerin diklik kontrolü, (b) 28 gün boyunca dik konumda tutulması, (c) 3 farklı kesitteki BDKE kirişler	22
Şekil 10. İBÇE ve BDKE kirişlerin özellikleri	22
Şekil 11. Deneysel çalışmada kullanılan gerinim pulu	24
Şekil 12. Deney düzeneği.....	25
Şekil 13. Kompozit elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı	28
Şekil 14. Geometrik modelleme ön görünüş.....	34
Şekil 15. Geometrik modelleme izometrik görünüş	34
Şekil 16. Kirişin sonlu elemanlara bölünmesi.....	36
Şekil 17. (a) Yük bağlantısı (b) Kayıcı mesnet bağlantısı	38
Şekil 18. Gerinim pulu bağlantı konumları.....	39
Şekil 19. Mesnet noktaları (a) Yük, (b) Mesnet.....	39
Şekil 20. Deney düzeneği şematik gösterimi (Tüm ölçüler mm cinsindedir.).....	40
Şekil 21. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (ön).....	46
Şekil 22. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik)...47	
Şekil 23. Dairesel kesitli İBÇE kirişin akma noktasındaki gerilmeler (ön).....	47
Şekil 24. Dairesel kesitli İBÇE kirişin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik).....	48
Şekil 25. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (ön).....	49

Şekil 26. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik)	49
Şekil 27. Dikdörtgen kesitli İBÇE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (ön).....	50
Şekil 28. Dikdörtgen kesitli İBÇE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik)	50
Şekil 29. Kare kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (ön)	51
Şekil 30. Kare kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik)	52
Şekil 31. Kare kesitli İBÇE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (ön)	52
Şekil 32. Kare kesitli İBÇE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik).....	53
Şekil 33. Dairesel kesitli kirişlere ait moment – birim deformasyon eğrisi.....	54
Şekil 34. Dairesel kesitli kirişlere ait yük/moment – deplasman eğrisi	55
Şekil 35. Dairesel kesitli kirişlerin yükleme öncesi durumu.....	56
Şekil 36. Dairesel kesitli kirişlerin yükleme sonrası durumu	56
Şekil 37. Dikdörtgen kesitli kirişlere ait moment – birim deformasyon eğrisi.....	57
Şekil 38. Dikdörtgen kesitli kirişlere ait yük/moment – deplasman eğrisi	57
Şekil 39. Dikdörtgen kesitli kirişlerin yükleme öncesi durumu.....	59
Şekil 40. Dikdörtgen kesitli kirişlerin yükleme sonrası durumu.....	59
Şekil 41. Kare kesitli kirişlere ait moment – birim deformasyon eğrisi	60
Şekil 42. Kare kesitli kirişlere ait yük/moment – deplasman eğrisi.....	60
Şekil 43. Kare kesitli kirişlerin yükleme öncesi durumu	62
Şekil 44. Kare kesitli kirişlerin yükleme sonrası durumu	62
Şekil 45. Dairesel kesitli İBÇE kirişte oluşan yerel burkulmalar, (a) yük noktası, (b) mesnet noktası	63
Şekil 46. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin deney sonrası durumları	64
Şekil 47. Dikdörtgen kesitli İBÇE kirişte oluşan yerel burkulmalar	64
Şekil 48. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin deney sonrası durumları.....	65
Şekil 49. Kare kesitli İBÇE kirişte oluşan yerel burkulmalar	65
Şekil 50. Kare kesitli BDKE kirişlerin deney sonrası durumları.....	66
Şekil 51. Dairesel kesitli kirişlerin karşılaştırılması	67
Şekil 52. Dikdörtgen kesitli kirişlerin karşılaştırılması.....	68
Şekil 53. Kare kesitli kirişlerin karşılaştırılması	69

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 (EC4)
W_{pan}	Çelik elemana ait plastik mukavemet momenti (EC4)
W_{pc}	Beton elemana ait plastik mukavemet momenti (EC4)
W_{pcn}	Beton elemana ait plastik mukavemet momenti (EC4)
W_{px}	x ekseninde etrafında plastik mukavemet momenti
W_{sB}	Dairesel enkesitli çelik elemana ait plastik mukavemet momenti
W_{scm}	Çelik elemana ait plastik mukavemet momenti (Han)
W_{sn}	Kutu enkesitli çelik elemana ait plastik mukavemet momenti
γ_m	Eğilme dayanımı endeksi (Han)
θ	Başlık ve örgü elemanları arasındaki dar açısı
λ_p	Kompakt elemanlar için narinlik sınır değeri
λ_r	Kompakt olmayan elemanlar için narinlik sınır değeri
ξ	Sargılama katsayısı (Han)
v_c	Kiriş ortası deplasman değeri
ϵ_c	Betonun birim deformasyon değeri
σ_c	Betonun gerilme değeri

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
B	Dairesel kesitli numune
BDKE	Beton dolgulu kompozit eleman
BK	Dairesel kesitten alınan kupon numunesi
ÇYTHYE	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar
D	Dikdörtgen kesitli numune
DK	Dikdörtgen kesitten alınan kupon numunesi
EC4	Eurocode 4
EN	Euronorm
GPa	Gigapascal
İBÇE	İçi boş çelik eleman
K	Kare kesitli numune
kg	Kilogram
KK	Kare kesitten alınan kupon numunesi
kN	Kilonewton
LVDT	Doğrusal değişken diferansiyel transformatörler
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
s	Saniye
TS	Türk Standardı

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği disiplini, emniyetli yapılar tasarlarırken aynı zamanda emniyetten taviz vermeden ekonomik yapılar elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu bakımdan yapıda kullanılacak malzemelerin mekanik özelliklerinin bilinmesi önemli bir husustur. Sadece iyi bilinen ve sık kullanılan yapı türlerinin dışında, farklı yapısal malzemelerin bir arada kullanılarak daha dayanımlı ve ekonomik sonuçlar veren kompozit elemanlar hakkında son yıllarda literatür araştırmaları, deneysel çalışmalar ve yapısal uygulamalar dünya çapında artmıştır.

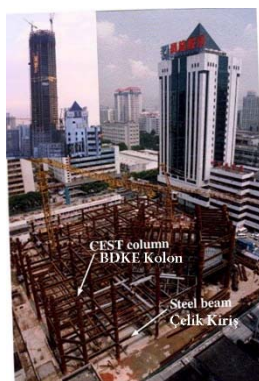
Beton, malzeme olarak yüksek basınç dayanımına sahipken eğilme kapasitesi neredeyse sıfıra yakındır. Yapısal çeliğin ise elastisite modülünün yüksek olmasından dolayı yüksek eğilme kapasitesine sahiptir. Beton dolgulu kompozit elemanlar (BDKE) ile bu iki farklı malzeme bir arada kullanılmaktadır (Sancıoğlu, İlgün, Çarbaş ve Akın, 2019). Başta Çin olmak üzere çeşitli ülkeler tarafından tasarım yöntemleri geliştirilen BDKE'nin kullanımı İnşaat mühendisliğinde yapısal eleman olarak kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır (Han, Li ve Bjorhovde, 2014). BDKE, içi boş çelik elemanlara (İBÇE) göre yüksek basınç dayanımına ve yüksek deformasyon kapasitesine sahip olmasından dolayı kolon olarak kullanılırken, yüksek eğilme rijitliği, yerel burkulmaların önlenmesi gibi özelliklerinden dolayı kiriş olarakta kullanılabilir. İçi beton doldurulurken kalıba gerek olmaması, içerisindeki betonun bakıma ihtiyacının olmaması, betonarme elemanlara göre dayanım – ağırlık oranının yüksek olması BDKE'nin avantajları arasında yer almaktadır (Arda ve Yardımcı, 2000).

İçi beton dolgulu kompozit elemanlar, yüksek yapılarda, köprü ayaklarında, yüksek dayanım isteyen askeri yapılarda, endüstri yapılarında kullanılmaktadır. Japonya gibi deprem riskinin yüksek olduğu coğrafi bölgelerde BDKE farklı taşıyıcı sistemlerde uygulanmış ve maliyet açısından olumlu etkileri görülmüştür (Nakanishi, Kitada ve Hiroshi, 1999).

Şekil 1 (a)'da gösterilen, yapımına 1997 yılında başlanıp ve 2000 yılında tamamlanan, 292 metre yüksekliğe sahip 71 katlı Çin'deki SEG Plaza'nın taşıyıcı sistemi BDKE kolonlar ve çelik kirişlerden oluşmaktadır. Burada, dairesel kesitli BDKE kolonların içerisine C60 beton doldurulmuştur (Han ve diğerleri, 2014). Şekil 1 (b)'deki 120 metre yüksekliğe sahip 23 katlı Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Amerika Federal

Adliyesi'nin taşıyıcı sistemi BDKE kolonlar ve çelik kirişlerden oluşmaktadır (Moon, Kim, Lee ve Lee, 2014), ("Amerika Federal Adliyesi", 2019). Şekil 1 (c)'deki yaklaşık 140 metre yüksekliğe sahip 39 katlı Çin'deki Ruifeng Uluslararası Ticaret Binası'nın BDKE kolonlarında kesit tipi olarak karesel profiller kullanılmıştır (Han ve diğerleri, 2014). Şekil 1 (d)'de gösterilen 604 metre yüksekliğe sahip Çin'deki Kanton Kulesi'nin BDKE kolonlarında maksimum çapı 2000 mm ve maksimum et kalınlığı 50 mm olan dairesel kesitler kullanılmıştır (Han ve diğerleri, 2014).

Şekil 1 (e)'de gösterilen genişliği 36,5 metre ve geçilen en büyük açıklığı 420 metre olmak üzere toplam 800 metre uzunluğa sahip Çin'deki Caiyuanba Yangtze Köprüsü'nde BDKE'ler kullanılmıştır ("Caiyuanba Yangtze Köprüsü", 2019). Şekil 1 (f)'deki 1992 yılında inşaa edilen 2 metre genişliğe ve 115 metre uzunluğa sahip Çin'deki Wangcang Doğu Nehri Köprüsü'nde kemer yapısı, alt ve üstü 800 mm çapa ve 10 mm et kalınlığındaki dambıl şekline sahip BDKE kullanılarak elde edilmiştir. Bu dambıl şeklindeki BDKE içerisine 30 MPa basınç dayanımına sahip beton doldurulmuştur (Han ve diğerleri, 2014). Şekil 1 (f)'deki 364 metre uzunluğa sahip Çin'deki Zhaohua Jialing Nehri Köprüsü'nde iki hücreli BDKE kullanılmıştır. Bu iki hücreli BDKE içerisine 80 MPa basınç dayanımına sahip beton doldurulmuştur (Han ve diğerleri, 2014). Şekil 1 (h)'de gösterilen 110 metre yüksekliğe ve 1811 metre uzunluğa sahip Çin'deki Ghanzai Köprüsü'nde BDKE kirişler kullanılmıştır (Han, Xu, He ve Tao, 2015).



(a)



(b)



Kiriş birleşimi
BDKE Kolon
Perde Duvar



(c)



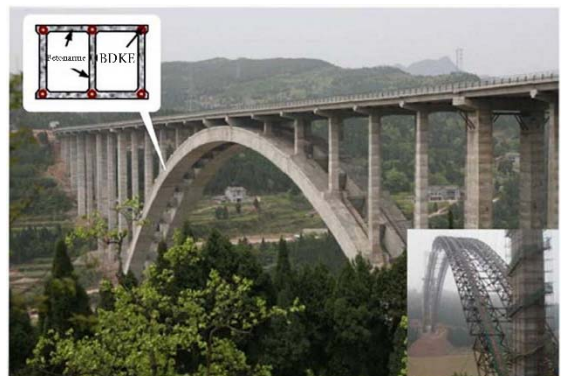
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 1. BDKE'nin Dünya'daki Çeşitli Uygulanmış Örnekleri (a) SEG Plaza, Çin (b) Amerika Federal Adliyesi, ABD (c) Ruifeng Binası, Çin (d) Canton Kulesi, Çin (e) Caiyuanba Yangtze Köprüsü, Çin (f) Wangcang Doğu Nehri Köprüsü, Çin (g) Zhaohua Jialing Nehri Köprüsü, Çin (h) Ganhaizi Köprüsü, Çin

BDKE kolon ve kirişlerle ilgili daha önceden yapılan çalışmalarda, çelik elemanların çapı sabit tutulmak kaydıyla çap – genişlik / et kalınlığı ($D - B / t$) oranı değişiminin, et kalınlığı sabit tutulmak kaydıyla $D - B / t$ oranı değişiminin, $D - B / t$ oranı sabit tutularak çap ve et kalınlığının değişiminin, kullanılacak yapısal çeliğin kesit değişiminin kompozit elemanlar üzerindeki moment ve yük taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Diğer taraftan içerisindeki beton dolgu malzemesinin dayanım değişiminin, doldurulacak betonun içerisine katkı konularak veya atık agregadan üretilerek elde edilen betonun BDKE elemanlar üzerindeki etkisi de araştırılmıştır.

Bu tez çalışması, BDKE kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışını konu edinmektedir. Çalışma kapsamında, BDKE kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışı analitik, numerik ve deneysel 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'ler 4 nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Eşit kesit alanı seçilmesinin sebebi, kesit tipi ve et kalınlığı farkı gözetmeksizin aynı çelik maliyetine sahip olmasıdır. Seçilen BDKE'lerin içerisine 28 günlük ortalama silindirik basınç dayanımı 40 MPa ve küp basınç dayanımı 50 MPa olan beton doldurulmuştur. Deneye tabi tutulan BDKE'ler ile İBÇE'ler, yük – deplasman eğrileri ve moment – deplasman eğrileri çizilerek karşılaştırılmıştır. Kullanılan BDKE ve İBÇE'lerin deneysel sonuçları Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar – 2018 (ÇYTHYE – 2018) yönetmeliğinin 12. Bölümüne, EuroCode4'e ve Liu Hai Han tarafından geliştirilen yöntemle (Han, 2004) yapılan hesaplamalarla ve sonlu elemanlar analizi yapan ANSYS

Workbench paket yazılımı yardımıyla tasarlanan modellerle kıyaslanmıştır. Böylelikle BDKE'lerin ANSYS Workbench yazılımı ile tasarlanabilirliği de gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde beton dolgulu kompozit elemanlar hakkında genel bilgiler ve BDKE kullanılarak uygulanmış projeler hakkında bilgiler verilmiştir. Aynı zamanda tezin konusu, kapsamı, önemi, özgün değeri, amaçları ve yöntemi yine bu bölümde belirtilmiştir. Tezin ikinci bölümünde BDKE ile daha önce yapılan çalışmaları kapsayan kaynak araştırması sunulmuştur. Tezin üçüncü bölümü olan materyal ve yöntem başlığı altında bu çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, çalışmanın analitik hesaplamaları, ANSYS Workbench yazılımındaki modelleme kriterleri, kullanılan yöntemler, yönetmelikler ve standartlardan bahsedilmiştir. Aynı zamanda deneysel çalışmadaki deney düzenekleri, kullanılan alet ve cihazlardan da bu bölümde söz edilmiştir. Tezin dördüncü bölümü olan araştırma bulguları başlığı altında analitik, numerik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiş ve bu sonuçlar, uluslararası kabul gören standartlara ve geliştirilmiş yöntemlere göre kıyaslanmıştır. Tezin beşinci bölümünde çalışmanın nihai sonuçları ve kazanımları belirtilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Beton dolgulu kompozit elemanlar inşaat mühendisliği yapılarından olan köprülerde, yüksek katlı yapılarda veya askeri binalar gibi yüksek öneme sahip binalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Beton dolgulu kompozit elemanlarla ilgili ülkelerin yapı şartnamelerinde tasarım modelleri ve ayrıca bilim insanları tarafından geliştirilen yaklaşımlar vardır. Bununla birlikte bu modellemelerin doğruluğu literatürde deneysel, parametrik ve analitik çalışmalarla ispatlanmış, son dönemlerde ANSYS Workbench ve ABAQUS gibi paket yazılımlar vasıtasıyla beton dolgulu kompozit elemanlar modellenmiştir. Bu çalışmalardan bahsedilecek olunursa;

Lu ve Kennedy (1994) yaptıkları çalışmada betonla doldurulmuş çelik kutu kesit dikdörtgen profile iki noktadan yük verildiğinde moment kapasitesinin değişimini ve boruların eğilme etkisi altındaki davranışını deneysel olarak incelemiştir. 4 adet içi boş ve 12 adet içi betonla doldurulmuş olmak üzere toplam 16 adet çelik kutu kesit dikdörtgen profili deneysel olarak incelemiştir. Deney sonucunda içi beton dolgulu çelik kutu kesit dikdörtgen profiller, içi boş çelik profillerle eğilme davranışına göre kıyaslandığında elastik olmayan bölgede eğilme dayanımının arttığı ve çeliğin burkulduğu yerlerde içerisindeki betonun ezildiği gözlemlenmiştir. Bunun yanında profillerin içerisi betonla doldurulduğunda eğilme rijitliklerinin 1,12 kat arttığı görülmüştür (Lu ve Kennedy, 1994).

Elchalakani, Zhao ve Grzebieta (2001) yaptıkları çalışmada, 12 ile 110 arasında değişen çap/et kalınlığına (D/t) sahip soğuk şekillendirilmiş çelik boruların içerisine beton doldurarak, saf eğilme etkisi altında dayanım, süneklik ve enerji sönümlemesi konularını deneysel olarak incelemiştir. İnce cidara sahip olan numuneler için eğilme kapasitesi ve sünekliğin, kalın cidarlı çelik borularla kıyaslandığında daha fazla arttığı görülmüştür. $13 < D/t < 40$ olan numunelerde yerel burkulma ovalleşmesinin tamamen önlendiği görülmüştür (Elchalakani, Zhao ve Grzebieta, 2001).

Han (2004) yaptığı çalışmada genişlik/derinlik (W/t) oranı 1 ile 2 arasında değişen, derinlik/kalınlık (D/t) oranı ise 20 ile 50 arasında değişen 1100 mm uzunluğundaki kare kesitli ve dikdörtgen kesitli içi beton dolgulu toplam 16 adet kirişin eğilme dayanımlarını incelemiştir. Deneysel sonuçları AIJ-1997, BS5400-1994, EC4-1994, ve LRFD-AISC-1999 standartlarıyla karşılaştırmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan kare ve dikdörtgen

kesitli profiller dört plakanın kaynatılmasıyla oluşturulmuştur. Deneysel çalışmada maksimum moment kapasitesinin bulunmasının yanı sıra aynı zamanda kirişin maksimum yüke ulaşınca kadar göçme modu da incelenmiştir. Çalışma sonucunda içi beton dolgulu dikdörtgen kesitli ve kare kesitli profillerin sünekliğinin benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla AIJ-1997, BS5400-1994, EC4-1994, ve LRFD-AISC-1999 standartlarına göre hesaplanarak elde edilen değerlerin birbirleriyle uyumlu olduğu ve bunlara en yakın sonuçları EC4-1994 standardının öngördüğü saptanmıştır (Han, 2004).

Gho ve Liu (2004) yaptıkları çalışmada farklı ölçülere sahip üç tip 1600 mm uzunluğundaki 12 adet içi beton dolgulu çelik kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışını incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan beton, yüksek basınç dayanıma sahiptir. Kullanılan çelik, sıcak haddelenmiştir ve yüksek dayanıma sahiptir. EC4, ACI ve AISC yönetmeliklerinde verilen formüllerle hesaplanan eğilme momentlerini, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen eğilme momentleri ile kıyaslamışlardır. EC4 yönetmeliğinin, diğer yönetmeliklere göre daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür (Gho ve Liu, 2004).

Han, Lub, Yao, ve Liao (2006) tarafından yapılan çalışma, daha önce Han (2004) tarafından yapılan bir çalışmanın ileri çalışmasıdır. Bu çalışmadaki değişken parametreler; dairesel ve kare olmak üzere kesit tipleri, 235 – 282 MPa arasında değişen çelik akma dayanımları, 47 – 105 arasında değişen boru çapı veya kesit genişliğinin et kalınlığına (D/t) oranı, 1,25 – 6 arasında değişen kesme aralığının boru çapına veya kesit genişliğine (a/D) oranı olarak belirlenmiştir. Toplamda 36 adet içi beton dolgulu çelik kiriş test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar AIJ-1997, AISC-LRFD-1994, BS5400, EC4-1994 gibi yönetmeliklerle ve Han (2004) tarafından önerilen yöntemle kiriş kapasiteleri ve eğilme rijitliği açısından karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar irdelendiğinde a/D oranının, hem dairesel hem de kare kesitli içi beton dolgulu çelik kirişlerin davranışları üzerinde bir etkisinin olmadığı, moment kapasitelerinin ilgili yönetmeliklerde verilen değerlerle benzer olduğu, en yakın sonucun EC4-1994 ve Han (2004) tarafından önerilen yöntemle bulunduğu, test sonuçları ve basitleştirilmiş model karşılaştırmasının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür (Han, Lu, Yao ve Liao, 2006).

Liang ve Fragomeni (2010) yaptıkları çalışmada beton dolgulu kısa kolonların eksenel yük altındaki lineer olmayan inelastik davranışlarını teorik olarak incelemişlerdir. Çalışmadan elde ettikleri teorik sonuçları literatürde var olan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla kıyaslamışlardır. Çalışmadaki normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı çelik profiller içerisine hem normal dayanımlı hemde yüksek dayanımlı beton doldurulmuştur. Profil çapı – et kalınlığı oranı (D/t) 26,9 – 101,4 arasındadır. Kullanılan çelik boruların akma dayanımları 283 MPa, 579 MPa ve 834 MPa iken doldurulan betonun silindirik basınç dayanımı 25,4 MPa, 40,7 MPa ve 78,1 MPa'dır. Çalışmanın sonucunda betonun hem dayanımının hemde sünekliğinin arttığı buna karşın çelik profilin akma gerilmesinin azaldığı görülmüştür (Liang ve Fragomeni, 2010).

Arivalagan ve Kandasamy (2010) yaptıkları çalışmada 2008 yılında 4 nokta eğilme testine tabi tuttıkları 6 adeti içi beton dolgulu ve 3 adeti içi boş olmak üzere toplam 9 adet kirişin numerik analizini yaparak deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. 72 mm genişliğe ve 3,2 mm et kalınlığına sahip kare kesitli kutu profiller kullanmışlardır. Kare kesitli çelik profillerin içerisini atık agregadan üretilmiş beton ve normal agregadan üretilmiş betonla doldurmuşlardır. Mesnetler arası mesafe 1,0 m alınarak 1,20 m uzunluğundaki numuneler test edilmiştir. Ölçümler LVDT yardımıyla numunenin orta noktasından ve gerilim ölçerler yardımıyla da alt ve üst başlıklardan alınmıştır. ANSYS ile yapılan sonlu elemanlar analizlere göre beton dolgulu kompozit elemanlar için ANSYS ile güvenilir sonuçlar elde edildiğini görmüşlerdir (Arivalagan ve Kandasamy, 2010).

Wang, Han, Nie ve Zhao (2014) yaptıkları çalışmada dikdörtgen kesitli içi beton dolgulu kirişlerin eğilme kapasitelerini kompakt, kompakt olmayan ve narin enkesitlerden oluşma durumuna göre sonlu elemanlar analizi ile modellemişlerdir. Modellerde kullanılan içi beton dolgulu çelik kirişler daha önce deneye tabi tutulan 70 adet test sonucundan alınmıştır. Eğilme kapasitelerinin araştırılmasının yanı sıra dikdörtgen kesitli içi beton dolgulu çelik kirişlerin yük geçiş mekanizması araştırılmıştır. Sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar AISC, EC4 ve DBJ13-51-2010 yönetmeliklerinde verilen formüllerle kıyaslanmıştır (Wang, Han, Nie ve Zhao, 2014).

Ren, Han, Lam ve Li (2014) yaptıkları çalışmada elips kesitli beton dolgulu kompozit kolon ve kirişleri test etmişlerdir. 8 adet kiriş sadece eğilme etkisi altında, 18 adet kiriş

ise hem eğilme hem basınç etkisi altında olmak üzere toplam 26 adet eleman test edilmiştir. Çalışmada, kirişlerin incelendiği bölümde kesme uzunluğunun kesit genişliğine oranı (a/B) irdelendirken, kolon bölümünde narinlik oranı ve yük eksantirisitesi incelenmiştir. Kirişlerde a/B oranı 1,56'dan 3,65'e artış gösterdiği yerde eğilme dayanımının %12,5'tan %22,3'e arttığı görülmüştür. Kolonların aksenal yük etkisi altında basınç dayanımlarının %19'dan %63,6'ya çıktığı ve narinlik oranlarının 75'ten 38'e düştüğü gözlemlenmiştir. Elips kesitli beton dolgulu elemanların içi boş elemanların basınç dayanımlarına göre 2,47 kat daha iyi olduğu da bu çalışmadan elde edilen başka bir çıkarımdır (Ren, Han, Lam ve Li, 2014).

Shah, Vakıl ve Patel (2014) yaptıkları çalışmada ANSYS Workbench paket yazılımını kullanarak oluşturdukları daire kesitli ve kare kesitli beton dolgulu kompozit kolonları sonlu elemanlar analizi ile incelemiştirlerdir. Oluşturdukları modellerde çelik profiller içerisine 30 MPa, 50 MPa, 70 MPa ve 90 MPa basınç dayanımına sahip betonlar tanımlanmıştır. Bu beton dayanımlarının aksenal yüke, maksimum yük taşıma kapasitesine ve oluşan şekil değiştirmelere etkisini incelemiştirlerdir. Kullanılan modellerde çeliğin yoğunluğu, poisson oranı, elastisite modülü ve akma dayanımı sırasıyla 7850 kg / m³, 0,3, 200000 MPa ve 250 MPa iken betonun yoğunluğu, poisson oranı, elastisite modülü ve basınç dayanımı sırasıyla 2300 kg / m³, 0,18, 27386 MPa ve 30 MPa olarak tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında aynı deformasyonda daire kesitli beton dolgulu kompozit kolonun, kare kesitli profile oranla daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Gerilme dağılımları karşılaştırıldığında ise kare kesitli profilde kesitin köşelerinde daha fazla gerilme yayılımı gözlemlenmiş ve bu yayılımın homojen olmadığı, bunun yanında daire kesitli profil için gerilme yayılımının tüm kesitte eşit olarak dağıldığı görülmüştür (Shah, Vakıl ve Patel, 2014).

Essopjee ve Dundu (2015) yaptıkları çalışmada 32 adet iç içe geçirilerek elde edilen çift katmanlı dairesel kesitli beton dolgulu kompozit kolonların göçene kadar aksenal yük etkisi altındaki davranışını incelemiştirlerdir. Çalışmadaki değişken parametreler 1 – 2,5 m arasında değişen numune uzunlukları, 139,2 mm 152,4 mm, 165,1 mm, 193,7 mm olan numune çapları ve dış tarafta kalan 392 – 552 MPa arasında değişen çelik profilin akma dayanımı olarak belirlenmiştir. İç tarafta kalan çelik profillerin çapı tümünde 75 mm olarak belirlenmiştir. Bu çelik profiller arasına 28 günlük basınç dayanımı küp için ortalama 30,8 MPa olan beton doldurulmuştur. Deneyler sonucunda kolon uzunluğu

arttırıldığında basınç dayanımının azaldığı, boru çapı arttırıldığında ise dayanımın arttığı görülmüştür.

Han, Xu, He ve Tao (2015) yaptıkları çalışmada beton dolgulu kompozit kirişlerin içi boş makaslarla birlikte kullanımını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmadaki değişken parametreler kesme uzunluğu oranı, makas çaprazı ve kirişi arasındaki açı, alt kiriş profilinin kesiti, beton dolgu malzemesi ve döşeme plağı olarak belirlenmiştir. 2 adet içi boş makas, 6 adet beton dolgulu döşeme plaksız makas ve 4 adet beton dolgulu ve döşeme plaklı makas olmak üzere toplam 12 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Beton dolgulu ve döşeme plaklı olan numunelerin, içi boş numunelere oranla daha fazla yük taşıdığı ve daha sünek bir davranış gösterdiği, bu yüzden eğilmeden dolayı göçtüğü görülmüştür (Han ve diğerleri, 2015).

Xu, Han ve Li (2016) yaptıkları çalışmada hegzagonal kesitli içi beton dolgulu çelik kirişlerin ve kısa kolonların göçme modlarını, yük – deformasyon ilişkilerini ve şekil değiştirmelerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada 3 farklı et kalınlığı kullanmışlardır. Deneyin yapıldığı gün alınan ölçümlere göre kullanılan beton yaklaşık 80 MPa basınç dayanımına sahiptir. Aynı deney numunelerini sonlu elemanlar analizine tabi tutarak analiz sonuçlarını deneysel sonuçlarla kıyaslamışlardır. Bu bağlamda parametrik bir çalışma yaparak hegzagonal kesitli kolon ve kirişlerin yük taşıma kapasiteleri için model geliştirmişlerdir (Xu, Han ve Li, 2016).

Hassanein, Kharoob ve Taman (2017) yaptıkları çalışmada 2 adeti çimento katkılı beton ve 4 adeti cam elyaf katkılı beton olmak üzere toplam 6 adet kirişi 3 nokta eğilme deneyine tabi tutmuşlardır. Deneydeki çimento katkılı betonun basınç dayanımları 55 MPa ve 60 MPa, cam elyaf katkılı betonun basınç dayanımı ise 80 MPa'dır. Çalışmada 5,5 ve 7 olmak üzere iki farklı kesme uzunluğu/kesit genişliği (a/D) kullanmışlardır. Tüm kirişler 100 mm çapında ve 2 mm et kalınlığına sahip soğuk şekillendirilmiş çelik profillerden teşkil edilmiştir. Kullanılan çelik profillerin elastisite modülü 200 GPa iken akma dayanımları 345 MPa'dır. Basınç dayanımının 55 MPa'dan 60 MPa çıkması durumunda kirişlerin eğilme kapasitesinin %2 arttırdığı tespit edilmiştir. Nihai moment kapasiteleri Eurocode (EC4) ve başka çalışmalarda geliştirilen tasarım modelleri ile karşılaştırıldığında uyumlu sonuçlara ulaşıldığı belirtilmiştir (Hassanein, Kharoob ve Taman, 2017).

Li, Liu, Yang ve Zhang (2017) yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı kare kesitli çelik profiller içerisinde yüksek dayanımlı betonla doldurarak eğilme etkisi altında mekanik davranışını incelemişlerdir. Bu çalışmada ikişerli grup olmak üzere toplamda 6 adet kiriş test edilmiştir. Her bir gruptaki kare kesitli çelik profillerin et kalınlıkları sırasıyla 4 mm, 5 mm ve 6 mm olarak alınmıştır. Numunelerin mesnetler arası mesafesi 1200 mm olup toplam uzunluğu 1400 mm'dir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda göçme modları, deformasyon eğrisinin dağılımı, eğilme momenti – şekil değiştirme eğrileri, boyuna şekil değiştirmeler ve eğilme momenti – eğrilik eğrileri elde edilmiştir. Yüksek dayanımlı beton dolgulu yüksek dayanımlı çelik profillerin eğilme etkisi altında yüksek süneklik gösterdiği bu çalışmada elde edilen en önemli sonuç olarak ön plana çıkarılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ve ABAQUS yazılımı ile yapılan sonlu elemanlar analiz sonuçları EC4 (1994), LRFD (1999) ve AIJ (1997) yönetmelikleri ile uyumlu çıkmıştır (Li, Liu, Yang ve Zhang, 2017).

Chen, Feng ve Gong (2018) yaptıkları çalışmada alüminyum alaşımlı içi beton dolgulu dairesel çelik profillerin eğilme etkisi altında davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Çapları 61 – 140 mm ve et kalınlıkları 3,3 – 8,4 mm arasında değişen uzunluğu 1000 mm olan küp şeklinde toplam 28 deney numunesi basınç dayanımları 30 MPa ve 50 MPa olan betonla doldurulmuştur. Deney düzeneğinde mesnetler arası mesafe 900 mm olarak tayin edilmiştir. Yine deney sonucunda 8,4 mm et kalınlığına sahip profillerin yük taşıma kapasitelerinin, eğilme kapasitelerinin ve sünekliklerinin diğer profillere oranla daha iyi olduğu belirlenmiştir. Genel anlamda, beton basınç dayanımının farklılığının, eğilme dayanımına önemsiz miktarda etki ettiği görülmüştür. Tarafsız eksenin genelde merkezden yukarı kaydığı ve buna bağlı olarak çıkan sonuçların mevcut yürürlükte olan AIJ, BS5400, AISC ve EC4 yönetmeliklerinde verilen tasarım kurallarıyla uyuşmadığı görülmüştür (Chen, Feng ve Gong, 2018).

Al – Ani (2018) yaptığı çalışmada kısa kolonları ABAQUS paket yazılımı vasıtasıyla yaptığı sonlu elemanlar analizi ile incelemiştir. Bu analizlerden elde edilen sonlu elemanlar simülasyonu, göçme yükleri ve yük – aksenal şekil değiştirme eğrileri deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Sonrasında elde edilen sonuçlar yardımıyla çelik profillerin akma dayanımlarının ve ölçülerinin etkisini parametrik olarak araştırmıştır. Daha önceden test edilen 382 adet daire kesitli modelden elde edilen veriler hem sonlu

elemanlar analiz sonuçları hemde numerik modellemeden elde edilen sonuçlarla uyumlu çıkmıştır (Al-Ani, 2018).

Abed, Abdelmageed ve İlgün (2018) yaptıkları çalışmada beton dolgulu kompozit elemanların eğilme etkisi altındaki davranışını deneysel, teorik ve sonlu elemanlar analizi ile incelemiştirler. Sonlu elemanlar analizi ABAQUS paket yazılımı vasıtasıyla yapılmıştır. Çalışmada 6 adet beton dolgulu ve 3 adet içi boş olmak üzere toplam 9 adet numune 4 nokta eğilme testine tabi tutulmuştur. Kullanılan numunelerin çap – et kalınlığı oranı (D/t) 7,82, 13,5 ve 17,5 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda beton dolgulu çelik profillerin moment – yer değiştirme eğrileri, yük – deplasman eğrileri göçme modları ve maksimum yük taşıma kapasiteleri incelenmiştir. Deneylemlerden ve sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar AIJ, AISC, BS ve EC4 yönetmeliklerinde verilen tasarım modelleriyle kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda AIJ yönetmeliğinin çok yakın sonuçlar verdiği ve Han tarafından geliştirilen modelin beton dolgulu kompozit elemanlar için eğilme dayanımının belirlenmesinde iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. ABAQUS paket yazılımı yardımı ile gerçekleştirilen sonlu elemanlar analiz sonuçları deneysel sonuçlarla moment kapasiteleri, plastik davranış, göçme modu ve moment – deplasman eğrileri bakımından karşılaştırıldığında yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre D/t oranı arttırıldığında eğilme kapasitesinin arttığı bulgusuna varılmıştır (Abed, Abdelmageed ve A.Kerim İlgün, 2018).

Thai, Thai, Uy ve Ngo (2019) yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı ve ince kesitli beton dolgulu kompozit elemanlarla ilgili deney verileri oluşturmayı amaçlamışlardır. Daire kesitli ve dikdörtgen kesitli beton dolgulu kompozit kısa ve uzun kolonlar hem eğilme momenti hemde aksenal basınç etkisi altında incelenmiştir. Sonuçlar yürürlükte olan Eurocode 4, AS/NZS 2327 ve AISC 360–16 yönetmeliklerinde verilen uygulama modelleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile özellikle yüksek dayanımlı ve ince kesitlere sahip beton dolgulu kompozit elemanların yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde mevcut yönetmeliklerin uygulanabilirliğini araştırılmıştır. Bu bağlamda, 1730 adet dairesel kesitli ve 1373 adet dikdörtgen kesitli olmak üzere 3103 beton dolgulu kompozit eleman incelenmiştir. En iyi sonuçları Eurocode 4 ve AS/NZS 2327 verirken, en güvenilir tarafta kalan yaklaşımı AISC 360–16 vermiştir (Thai, Thai, Uy ve Ngo, 2019).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Beton

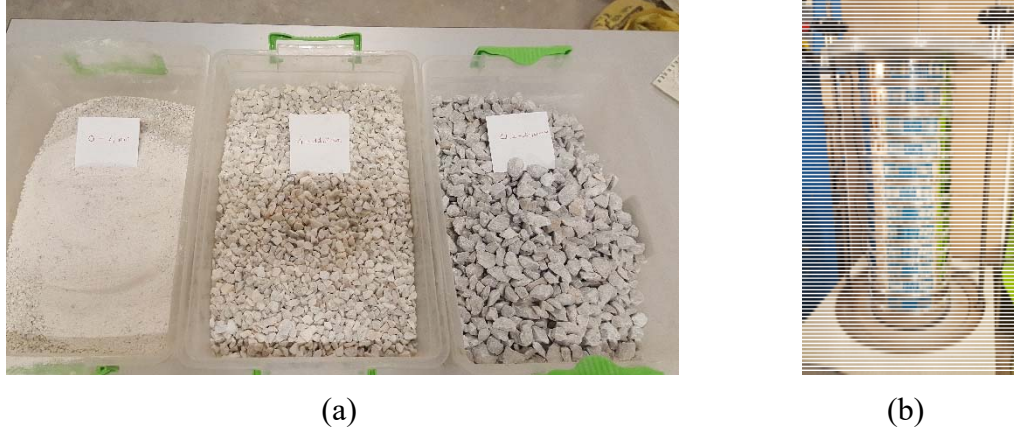
Beton; çimento, agrega, su ve gerekirse katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen bir yapı malzemesidir. Beton başlangıçta plastik kıvamda olmasından dolayı istenilen kabın şeklini alırken, kimyasal reaksiyonlara girerek sertleşir ve zamanla nihai dayanımını kazanır (Ersoy, Özcebe ve Canbay, 2019). Beton, bu özelliğinden dolayı çelik profiller içerisine rahatça yerleşebilir. Bu durum göz önüne alındığında BDKE içerisindeki beton için ayrıca kalıplama işlemi ve bakım gerekmez.

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda BDKE kırımların içerisine doldurulan beton, KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı laboratuvarında TS 802 Beton Karışım Tasarımı Hesap Esaslarına göre üretilmiştir (TS 802, 2016). Üretilen betona ait karışım değerleri Tablo 1’ de verilmiştir.

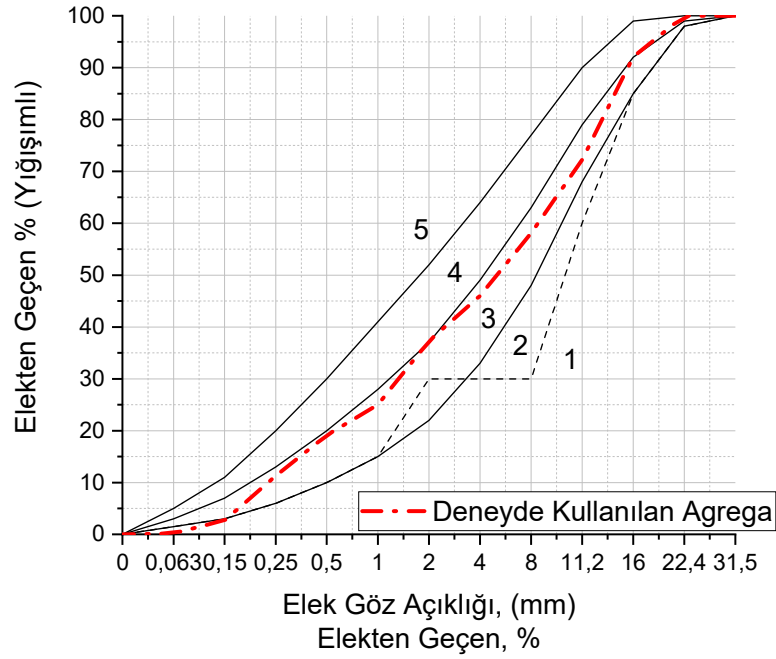
Tablo 1. Üretilen betonun karışım değerleri

Amaçlanan Beton Sınıfı	Çimento Miktarı (%)	Su Miktarı (%)	Agrega Miktarı (%)	Kimyasal Katkı Miktarı (%)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)
C40/50	12,55	7,7	79,6	0,15	2403

Üretilen beton içerisinde kullanılacak agreganın tane büyüklüğü de önemlidir. TS 802 standardına göre 3 numaralı bölgeye düşecek tane dağılımları, uygun bölge olduğu için, tercih edilmelidir. Bunun mümkün olmaması halinde 4 numaralı bölgeye düşen tane dağılım eğrisi kullanılmalıdır. Zorunlu durumlarda 2 numaralı bölgeye düşen kesikli tane dağılımları da kullanılabilir. Fakat, 5 numaralı bölgeye düşen tane dağılımları kullanılmamalıdır (TS 802, 2016). Laboratuvar ortamında agregalar 0 – 4 / 4 – 11,2 / 11,2 – 22,4 mm olacak şekilde 3 gruba ayrılmış ve elek analizleri yapılmıştır (Şekil 2 (a) ve (b)). Elek analizleri sonucunda kullanılan agreganın granülometri eğrisi çizilmiştir. Üretilen beton içerisinde kullanılan agreganın granülometri eğrisi 3 numaralı bölgededir ve bu eğri Şekil 3’te verilmiştir (TS 802, 2016).



Şekil 2. (a) Çaplarına göre ayrılan agrega numuneleri, (b) Elek analizi



Şekil 3. Agrega en büyük tane büyüklüğü 16,0 mm olan beton için belirlenen agrega tane büyüklüğü dağılımı eğrisine ait sınırlar

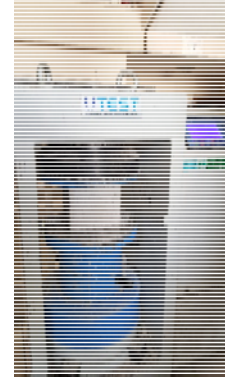
(Kaynak: TS 802 – Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları – 2016)

Üretilen 15 x 15 x 15 cm ölçülerindeki küp beton numunelerin basınç dayanımları 200 ton kapasiteli beton test presisi yardımıyla ölçülmüştür. Beton basınç dayanım testleri yapılırken 0,2 – 1,0 MPa/s arasında sabit bir yükleme hızı seçilmiştir (TS EN 12390-3, 2019). Beton dayanım testlerinde yükleme hızı, ilgili standardın belirttiği alt ve üst sınır

yüklemeler hızlarının aritmetik ortalaması alınarak, yani 0,6 MPa/s olacak şekilde belirlenmiştir. Beton numuneleri ve beton dayanım testi Şekil 4 (a) ve (b)'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. (a) Beton numuneleri, (b) Beton dayanım testi

Üretilen betondan alınan 6 küp 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

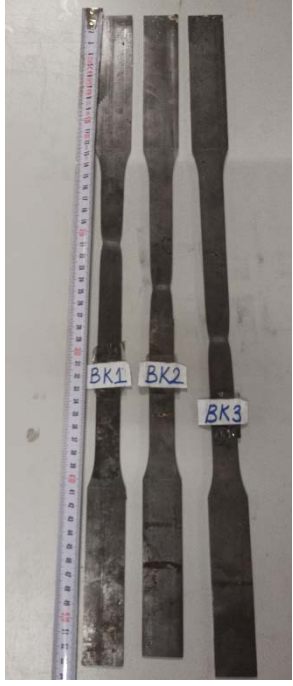
Amaçlanan Küp Basınç Dayanımı (MPa)	Numune Numarası	7 Günlük Basınç Dayanımları (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımları (MPa)
50	1	34,9	48,99
50	2	34,7	48,32
50	3	34,0	51,84
50	Ortalama	34,53	49,72

3.1.2. Yapısal Çelik

Çelik; yüksek dayanım, yüksek süneklik ve yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip üniform ve homojen bir yapı malzemesidir. Yapısal çeliğin en önemli özelliği yüksek akma gerilmesine ve çekme dayanımına sahip olmasıdır. Bu mekanik özellikler, istenilen standartlara uygun üretilen çelik kupon numunesinin çekme kuvvetine maruz bırakılmasıyla elde edilir (Aghayere ve Vigil, 2008).

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda, yapısal çelik sınıfı S235 seçilmiştir. Yapısal çeliklerin kesitleri, çelik kesit alanlarının aynı ya da yaklaşık değerler olması gerektiğinden, 80 x 100 x 3 mm kesit özelliklerine sahip 4 adet dikdörtgen kesitli profil, 90 x 90 x 3 mm kesit özelliklerine sahip 4 adet kare kesitli profil ve 114,3 x 3 mm kesit özelliklerine sahip 4 adet dairesel kesitli boru profil seçilmiştir. Yine yapısal çeliğin, aynı kesitte, benzer mekanik özellikleri göstermesi için her kesit tipi, bir boy yapısal çeliğin dörde kesilmesiyle elde edilmiştir.

BDKE kirişlerde kullanılan yapısal çelikten TS EN ISO 6892-1 – Metalik Malzemeler Standardının önerdiği ölçülerde kupon numunesi alınmıştır (TS EN ISO 6892-1, 2020). Hazırlanan dairesel enkesitli, dikdörtgen kesitli ve kare kesitli kirişlerden alınan kupon numuneleri sırasıyla Şekil 5 (a), (b) ve (c)'de verilmiştir. Alınan kupon numuneleri, KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı laboratuvarında çekme testine tabii tutularak, mekanik özellikleri belirlenmiştir.



(a)



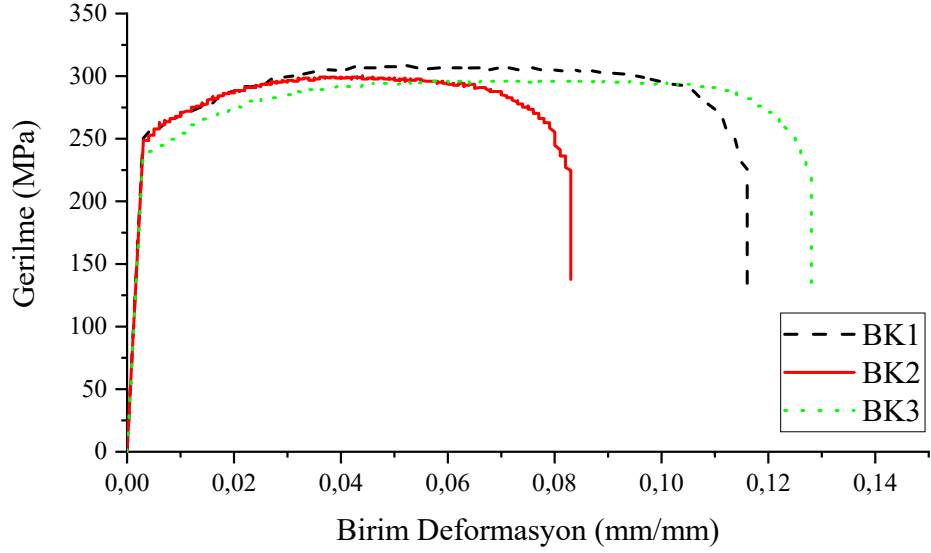
(b)



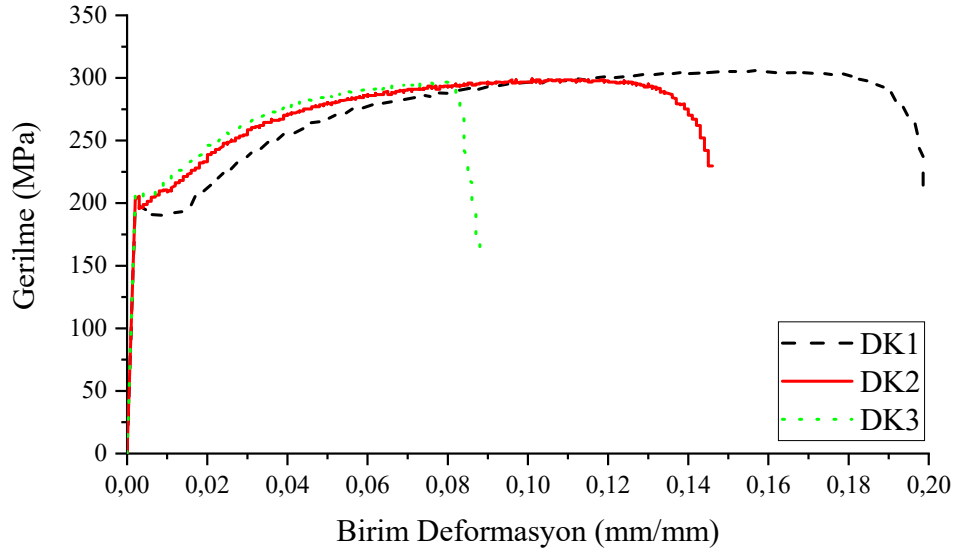
(c)

Şekil 5. (a) Dairesel kesitten alınan kupon numuneler, (b) Dikdörtgen kesitten alınan kupon numuneler ve (c) Kare kesitten alınan kupon numuneler

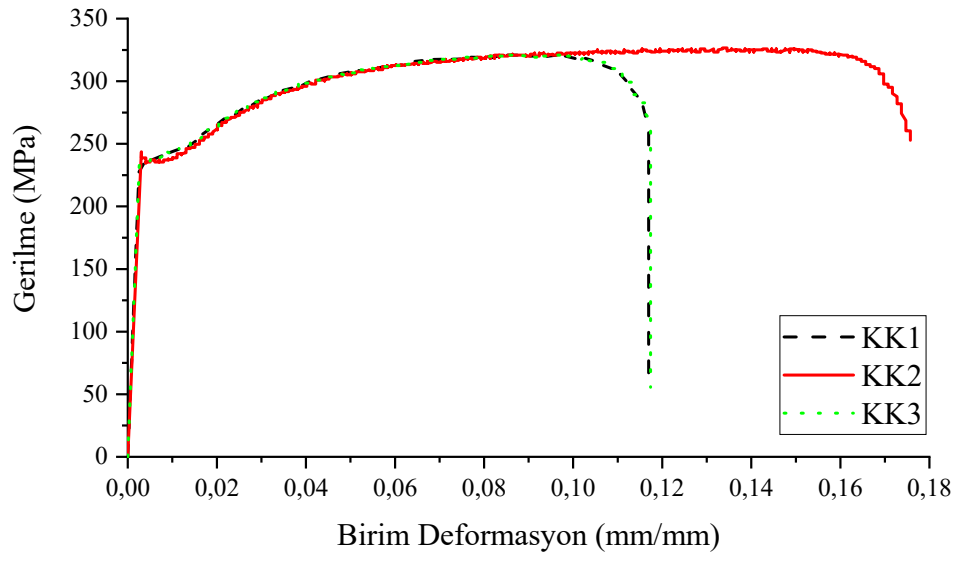
Her bir kiriş numunesinden alınan 3 kupon numunesi çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi öncesinde numunelerin ilk boyları ve test sonrasında son boyları ölçülerek testin doğruluğu kontrol edilmiştir. Kirişlerden alınarak çekme deneyine tabii tutulan kupon numunelerinin gerilme – birim deformasyon eğrileri dairesel kesitli, dikdörtgen kesitli ve kare kesitli olmak üzere sırasıyla Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 6. Dairesel kesitli kirişten alınan kupon numunelerinin gerilme – birim deformasyon eğrileri



Şekil 7. Dikdörtgen kesitli kirişten alınan kupon numunelerinin gerilme – birim deformasyon eğrileri



Şekil 8. Kare kesitli kirişten alınan kupon numunelerinin gerilme – birim deformasyon eğrileri

Çekme testleri sonucunda her bir kupon numunenin akma dayanımı, akma noktasındaki birim deformasyon değerleri ve elastisite modülleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere ait bilgiler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Yapısal çeliğin mekanik özellikleri

Numune Adı	Numune Adı	Akma Noktasındaki Birim Deformasyon (mm/mm)	Akma Dayanımları (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Dairesel Kesitli Numune	BK1	0,003018036	252,9	83,796
	BK2	0,00301796	246,27	81,601
	BK3	0,0030180	238,8	79,125
Ortalama		0,003018	246	81,507
Dikdörtgen Kesitli Numune	DK1	0,0020160	199,83	99,122
	DK2	0,0020200	201,48	99,742
	DK3	0,0020200	205,63	101,797
Ortalama		0,002018667	202,31	100,220
Kare Kesitli Numune	KK1	0,0025618	231,33	90,299
	KK2	0,0030320	243,77	80,399
	KK3	0,0025720	233,82	90,909
Ortalama		0,002721933	236,31	87,202

3.1.3. Beton Dolgulu Kompozit Kirişler

Literatürde BDKE kirişlerle ilgili daha önce yapılan çalışmalarda, farklı D/t veya B/t oranlarının kıyaslaması yapılmıştır. Bu çalışmada ise aynı çelik et kalınlığına ve aynı çelik kesit alanına, farklı çelik kesit tiplerine ve farklı D/t – B/t oranlarına sahip BDKE kirişler incelenmiştir.

Malzemenin aynı mekanik özellikleri göstermesi için bir boy yapısal çeliğin dörde bölünmesiyle elde edilen 1500 mm boya sahip çeliklerin alt uçlarına, içerisine doldurulacak betonun akmaması için başlık plakası kaynatılmıştır. İçerisine doldurulacak betonun, düzgün dağılım göstermesi için hem beton döküm sırasında hem de betonun tam dayanım aldığı (28 gün) süre boyunca çelik profillerin dik durmasına dikkat edilmiştir (Şekil 9 (a) ve (b)).

BDKE kirişler, yapısal çeliğin içerisine materyal – beton başlığı altında tarif edilen karışım oranlarında üretilen C40/50 betonun doldurulmasıyla elde edilmiştir. Beton ve BDKE kirişler, KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği yapı laboratuvarında üretilmiştir (Şekil 9 (b) ve (c)). Beton doldurma işlemi sırasında, betonun homojen yayılması ve daha iyi sıkışması için vibratör kullanılmıştır.



(a)



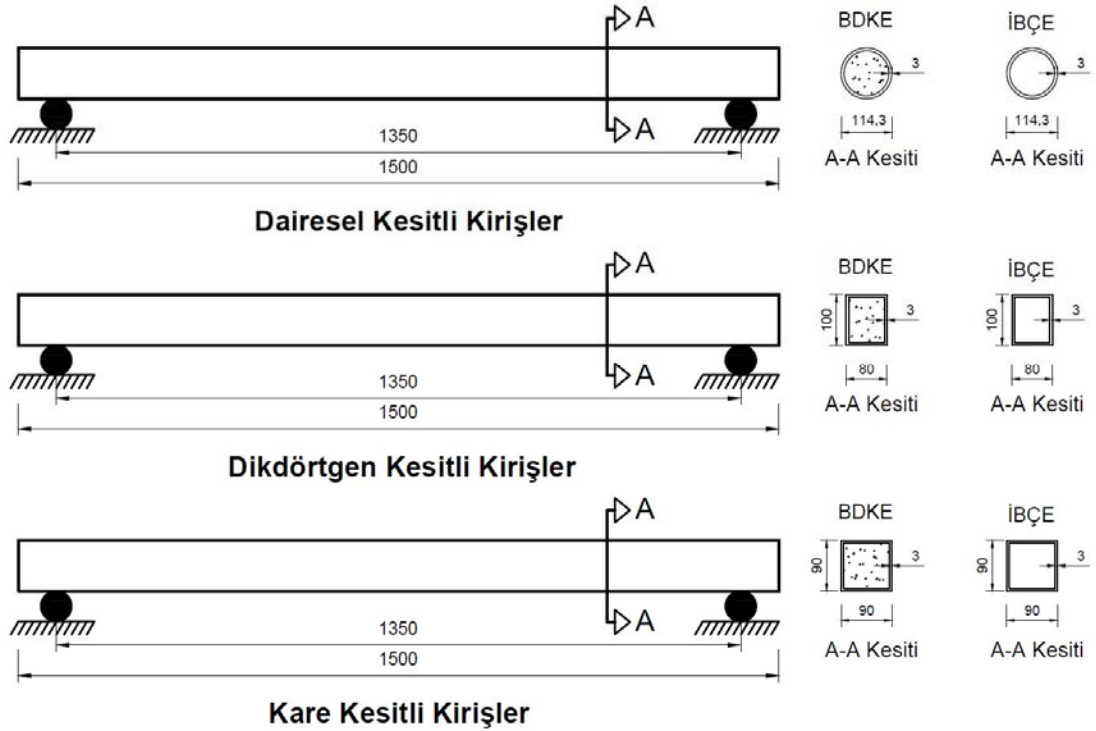
(b)



(c)

Şekil 9. BDKE kiriş numuneleri (a) Numunelerin diklik kontrolü, (b) 28 gün boyunca dik konumda tutulması, (c) 3 farklı kesitteki BDKE kirişler

Tez çalışmasında, 114,3 x 3 mm kesit özelliklerine sahip 3 adet BDKE kiriş ve 1 adet İBÇE kiriş, 80 x 100 x 3 mm kesit özelliklerine sahip 3 adet BDKE kiriş ve 1 adet İBÇE kiriş ve 90 x 90 x 3 mm kesit özelliklerine sahip 3 adet BDKE kiriş ve 1 adet İBÇE kiriş kullanılmıştır. Deney numunelerine ait ölçüler ve kesitleri Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10. İBÇE ve BDKE kirişlerin özellikleri

Deney numunelerine ait özellikler Tablo 4 ve Tablo 5’te özetlenmiştir.

Tablo 4. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin özellikleri

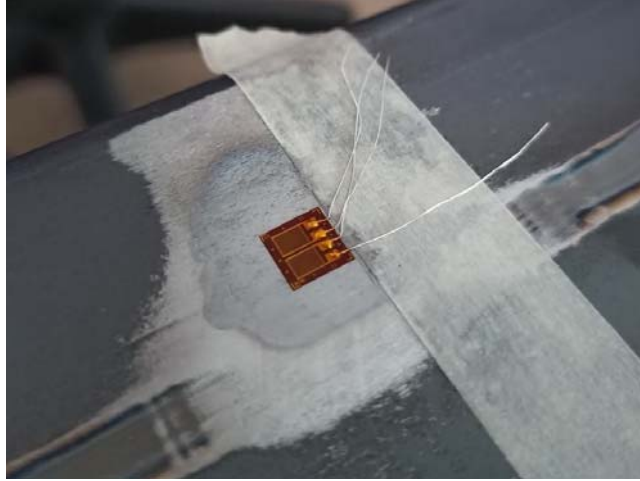
Eleman Adı	Kesiti	Kesit Boyutları (mm)		D/t	Çelik Kesit Alanı (mm ²)	İçerisine Doldurulan Beton Sınıfı
		D	t			
		B1-B2-B3	Dairesel			
B4	Dairesel	114,3	3	38	1049	-

Tablo 5. Dikdörtgen ve kare kesitli BDKE kirişlerin özellikleri

Eleman Adı	Kesiti	Kesit Boyutları (mm)			B/t	Çelik Kesit Alanı (mm ²)	İçerisine Doldurulan Beton Sınıfı
		B	H	t			
		D1-D2-D3	Dikdörtgen	80			
D4	Dikdörtgen	80	100	3	27	1044	-
K1-K2-K3	Dikdörtgen	90	90	3	30	1044	C40/50
K4	Dikdörtgen	90	90	3	30	1044	-

3.1.4. Gerinim Pulu (Strain Gauge)

Uygulanan kuvvete göre yapıştırıldığı yüzeydeki birim deformasyonu ölçen elektriksel elemanlara gerinim pulu (strain gauge) denir. Gerilim farkından dolayı oluşan elektriksel bilgi, belirli formüllerle çevrilerek birim deformasyon değerlerine dönüşür. Gerinim pullarının veri toplama cihazına bağlantısı gerçekleştirilirken wheatstone köprüsü kullanılır. Bu köprü ölçüm tipine göre değişmektedir (Teknik Destek Grubu, 2020). Yapılan bu tez çalışmasında, kiriş açıklığının orta kesitinin alt, üst ve orta bölümlerindeki birim deformasyon değerleri ayrı ayrı ölçülmesi gerektiğinden 3 adet 350 ohm dirençli çeyrek wheatstone köprüsü kullanılmıştır. Ölçümün doğruluğu için gerinim pulunun tipi ve kapasitesi de önem arz etmektedir. Bu sebeple tez çalışmasında ZF350-2BB-A(11)T0 tipi, 350 ohm direnç kapasitesine sahip gerinim pulu kullanılmıştır (Şekil 11).

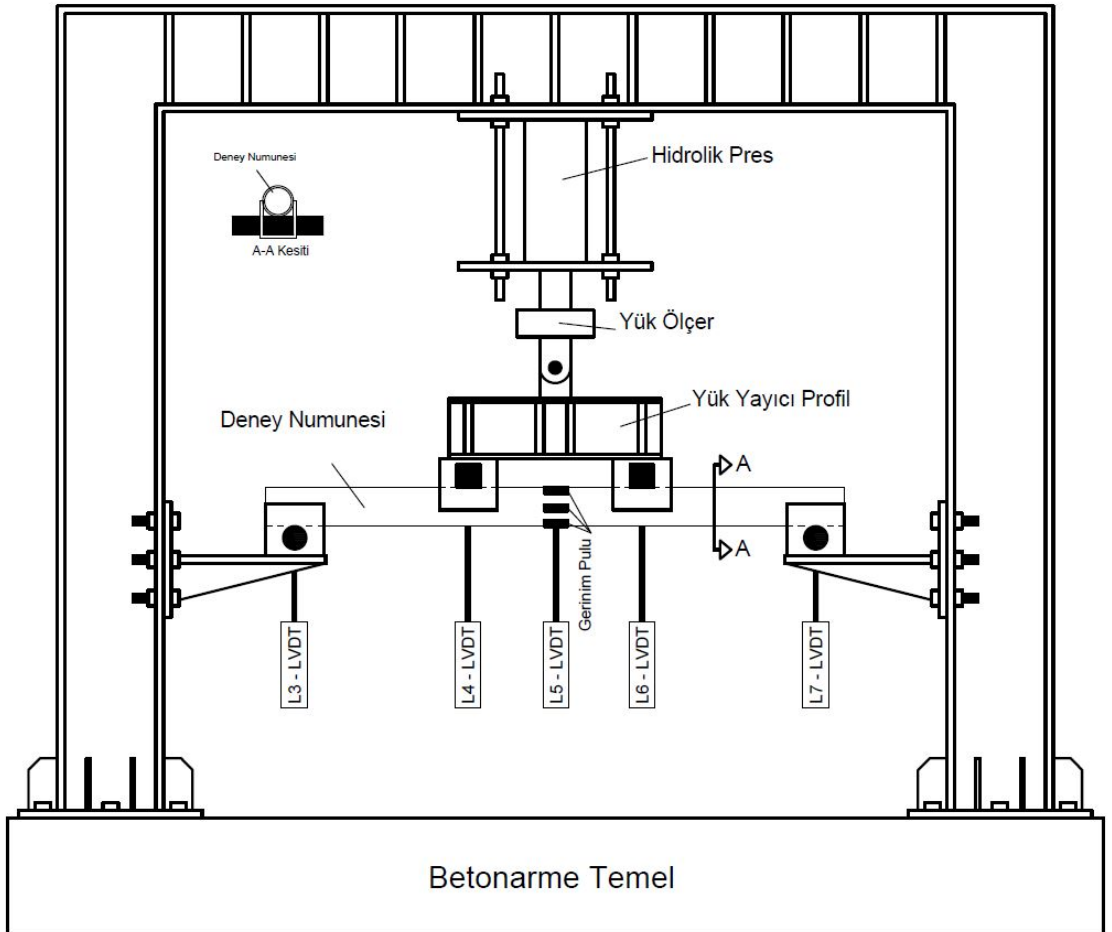


Şekil 11. Deneysel çalışmada kullanılan gerinim pulu

Gerinim pullarından doğru ölçüm sonucunun alınması için uygun ortam koşulları sağlanmalıdır. Deney öncesinde gerinim pulunun ölçüm yapılacak yüzeyinin dikkatli bir şekilde temizlenmesi gerekmektedir. Temizlenen yüzey üzerine gerinim pulu yapıştırılırken uygun yapıştırıcı seçilmelidir. Seçilen yapıştırıcının az ya da çok kullanılması gerinim pulunun doğru ölçüm yapmasını engellemektedir. Deney esnasında ortamdaki sestten dolayı oluşan ortam gürültüsü ve veri toplama cihazı ile bağlantısını sağlayan kablonun uzun olmasından dolayı oluşan elektriksel gürültülerde gerinim pullarının ölçümünü değiştirmektedir.

3.1.5. Deneý Düzenegi

Yapılan bu tez çalışmasının deneý düzenegi KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendislięi yapı laboratuvarında kurulmuştur. Deneý düzeneginde, 2,0 m açıklığa sahip berkitme levhalarıyla güçlendirilmiş HEB profillerden oluşturulmuş rijit ereve, yük uygulama işlemi için 30 ton yük kapasitesine sahip hidrolik kriko, uygulanan yükün tespiti için 30 ton kapasiteli yük ölçer, yükün tek noktadan iki noktaya yayılması için yüksek rijitliğe sahip yük yayıcı profil, kiriş açıklığında belirli bölgelerdeki deplasmanların ölçümü için doğrusal değişken ötelenme ölçerler (LVDT), profillerin üst, orta ve alt bölgelerindeki birim deformasyonun ve akma noktasının tespiti için gerinim pulları ve deneý esnasındaki verilerin toplanması için 8 kanallı statik veri toplama cihazı kullanılmıştır (şekil 12).



řekil 12. Deneý düzenegi

3.2. Yöntem

3.2.1. Standartlarla ve Geliştirilen Yöntemlerle Yapılan Analitik Çalışma

Bu bölümde uluslararası standartlar, yönetmelikler ve geliştirilen yöntemlerden yararlanılarak hesaplanan, beton dolgulu kompozit elemanların eğilme dayanımlarından bahsedilmiştir.

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

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2018 Bölüm 12 Kompozit Elemanlar'a göre, 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 kesit dayanımları ÇYTHYE'de tanımlanan plastik gerilme dağılımı yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Kesit dayanımı belirlenirken betonun çekme dayanımı hesaba katılmamıştır. Plastik gerilme dayanımı yöntemi, dikdörtgen gerilme yayılışını esas alıp çelik elemanlarda oluşan gerilmelerin karakteristik akma dayanımına, betonda oluşan gerilmelerin ise betonun karakteristik basınç dayanımının 0,85 katına ulaştığı varsayımı yapılır. Betonun sargılama etkisi göz önünde tutularak, betonda oluşacak gerilmelerin, karakteristik basınç dayanımının 0,95 katına arttırılabilir.

ÇYTHYE'ye göre beton dolgulu kompozit elemanları oluştururken kullanılan malzemelerin sınırları; beton için, karakteristik basınç dayanımı, f_{ck} , 20 – 70 MPa arasında olmalıdır. Çelik için, karakteristik akma gerilmesi, f_y , 460 MPa ile sınırlıdır.

Eğilme momenti etkisindeki beton dolgulu kompozit enkesitler yerel burkulma açısından üçe ayrılırlar. Eğilme momentinin basınç bileşeni etkisindeki parça genişlik/et (B/t) kalınlığı ve çap/et (D/t) kalınlığı oranları ile kıyaslandığında aşağıdaki Tablo 6'da 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 6. 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	$0.09 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$

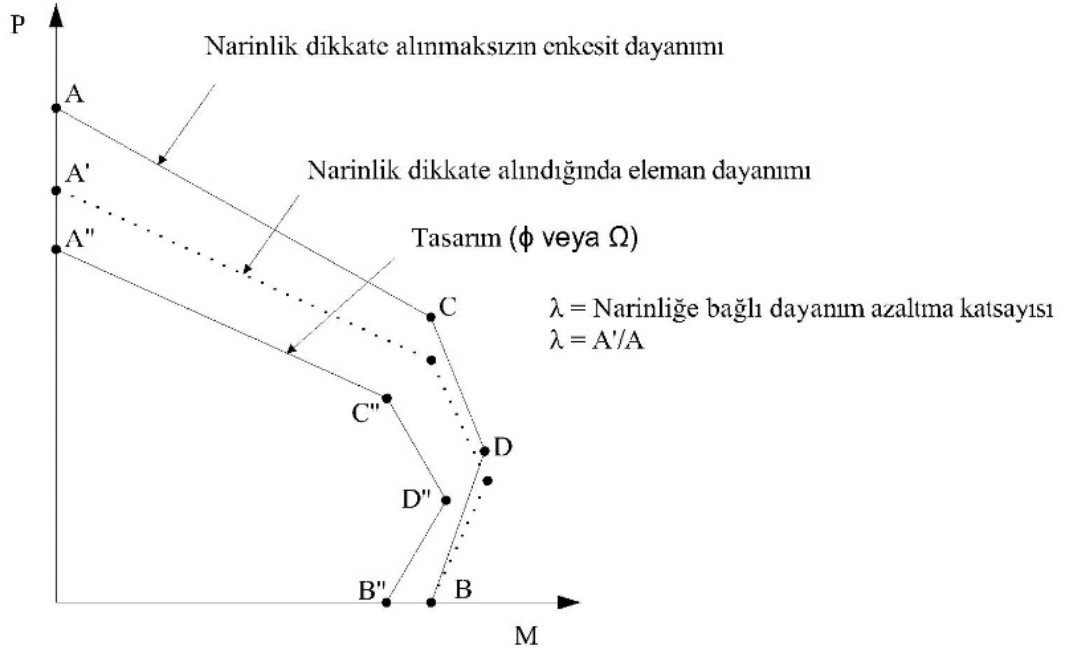
(Kaynak: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2018 – ÇYTHYE)

Beton dolgulu kompozit elemanların karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , enkesitin kompakt, kompakt olmayan ve narin olması durumu göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan enkesitler kompakt enkesit koşulunu sağladığından, karakteristik eğilme momenti dayanımları, M_n , Denklem (2) ile hesaplanmıştır.

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

ÇYTHYE’de kompozit elemanların enkesitinde oluşan plastik gerilme yayılımı esas alınarak, aksenal kuvvet ve eğilme momenti arasındaki etkileşim için karşılıklı etkileşim diyagramları kullanılmaktadır. ÇYTHYE’de verilen karşılıklı etki diyagramı Şekil 13’te verilmiştir (ÇYTHYE, 2018).



Şekil 13. Kompozit elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı

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

Karakteristik eğilme dayanımı, birleşik eğilme için geliştirilmiş karşılıklı etkileşim diyagramındaki aksenal kuvvetin sıfır ve eğilme momentinin bulunduğu B noktasına göre hesaplanmalıdır. Buna göre,

Dairesel enkesitli elemanların karakteristik eğilme dayanımı Denklem (3) ile hesaplanmıştır.

$P_B = 0$ için,

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

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 açısı, θ , Denklem (6), K_c , Denklem (7), K_s , Denklem (8) ve tarafsız eksenin konumu, h_n , Denklem (9) ile hesaplanmıştır.

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

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

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

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

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

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

Kutu enkesitli elemanların karakteristik eğilme dayanımı Denklem (10) ile hesaplanmıştır.

$P_B = 0$ için,

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

Denklem (10)'da verilen çelik enkesite ait plastik mukavemet momenti, W_{sn} , Denklem (11), beton enkesite ait plastik mukavemet momenti, W_{cn} , Denklem (12), tarafsız eksenin konumu, h_n , Denklem (13), karşılıklı etki diyagramında D noktası için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_D , Denklem (14) ve M_D için plastik mukavemet momenti, W_c , Denklem (15) ile hesaplanmıştır.

$$W_{sn} = 2th_n^2 \quad (11)$$

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

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

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

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

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

Beton dolgulu kompozit elemanların eğilme momenti dayanımı, M_n , EuroCode4' e göre nötral momentin, M_{neut} , maksimum momentten, M_{max} , çıkarılması ile elde edilir. EC4'e göre eğilme momenti dayanımı, M_n , Denklem (16) ile hesaplanmıştır.

$$M_n = M_{max} - M_{neut} \quad (16)$$

Denklem (16)'da verilen maksimum eğilme momenti dayanımı, M_{max} , Denklem (17) ve nötral moment, M_{neut} , Denklem (18) ile hesaplanmıştır.

$$M_{max} = w_{pa}f_y + 0.5w_{pc}f_c \quad (17)$$

$$M_{neut} = w_{pan}f_y + 0.5w_{pcn}f_c \quad (18)$$

Dairesel enkesitli elemanlar için, denklemlerde verilen w_{pa} , w_{pc} , w_{pan} ve w_{pcn} çelik ve beton elemana ait plastik mukavemet momenti olup sırasıyla Denklem (19), (20), (21) ve (22) ile hesaplanmıştır. Tarafsız eksenin konumu, h_n , Denklem (23) ile hesaplanmıştır.

$$w_{pa} = \frac{D^3 - (D-2t)^3}{6} \quad (19)$$

$$w_{pc} = \frac{(D-2t)^3}{6} \quad (20)$$

$$w_{pan} = Dh_n^2 - w_{pcn} \quad (21)$$

$$w_{pcn} = (D - 2t)h_n^2 \quad (22)$$

$$h_n = \frac{A_c f_c}{2Df_c + 4t(2f_y - f_c)} \quad (23)$$

Kutu enkesitli elemanlar için, denklemlerde verilen w_{pa} , w_{pc} , w_{pan} ve w_{pcn} çelik ve beton elemana ait plastik mukavemet momenti olup sırasıyla Denklem (24), (25), (26) ve (27) ile hesaplanmıştır. Tarafsız eksenin konumu, h_n , Denklem (28) ile hesaplanmıştır.

$$w_{pa} = \frac{1}{4}BH^2 - \frac{2}{3}t^3 - w_{pc} \quad (24)$$

$$w_{pc} = \frac{1}{4}b_i h_i^2 \quad (25)$$

$$w_{pan} = 2th_n^2 \quad (26)$$

$$w_{pcn} = b_i h_n^2 \quad (27)$$

$$h_n = \frac{A_c f_c}{2B f_c + 4t(2f_y - f_c)} \quad (28)$$

3.2.1.3. Han Yöntemi

Beton dolgulu kompozit elemanların eğilme momenti dayanımı, M_u , Lin Hai Han tarafından geliştirilen yöntemle göre Denklem (29) ile hesaplanmıştır (Han, 2004).

$$M_u = \gamma_m W_{scm} f_{scy} \quad (29)$$

Dairesel enkesitli elemanlar için, denklemlerde verilen w_{scm} , çelik enkesit için plastik mukavemet momenti olup Denklem (30) ile hesaplanmıştır. f_{scy} , çeliğin nominal akma dayanımı olup Denklem (31) ve eğilme dayanımı endeksi, γ_m , Denklem (32) ile hesaplanmıştır. Çeliğin nominal akma dayanımı hesabı yapılırken sargılama katsayısını, ξ , bulmak için Denklem (33)'den yararlanılmıştır.

$$W_{scm} = \frac{\pi D^3}{32} \quad (30)$$

$$f_{scy} = (1.14 + 1.02 \xi) f_{ck} \quad (31)$$

$$\gamma_m = 1.1 + 0.48 \ln(\xi + 0.1) \quad (32)$$

$$\xi = \frac{A_s f_{sy}}{A_c f_{ck}} \quad (33)$$

Kutu enkesitli elemanlar için, denklemlerde verilen w_{scm} , çelik enkesit için plastik mukavemet momenti olup Denklem (34) ile hesaplanmıştır. f_{scy} , çeliğin nominal akma dayanımı olup Denklem (35) ve eğilme dayanımı endeksi, γ_m , Denklem (36) ile hesaplanmıştır. Çeliğin nominal akma dayanımı hesabı yapılırken sargılama katsayısını, ξ , bulmak için Denklem (37)'den yararlanılmıştır.

$$W_{scm} = \frac{BD^2}{6} \quad (34)$$

$$f_{scy} = (1.18 + 0.85 \xi) f_{ck} \quad (35)$$

$$\gamma_m = 1.04 + 0.48 \ln(\xi + 0.1) \quad (36)$$

$$\xi = \frac{A_s f_{sy}}{A_c f_{ck}} \quad (37)$$

3.2.1.4. Mohr Yöntemi ile Orta Nokta Deplasmanın Bulunması

Doğru eksenli taşıyıcı çubuk sistemlerde, kuvvetler etkisi altında şekil değişimi oluştuktan sonra çubuk ekseninin yeni şekline elastik eğri denir. Bu bölümde ele alınan elastik eğri bahsinde çubukta yalnız eğilme momenti ve kesme kuvvetinin etkisi göz önüne alınacaktır. Elastik eğri yardımıyla kuvvetler etkisi altında çubuğun herhangi bir noktasındaki yer değiştirme bulunabilir. Mohr yönteminde, öncelikle sistemin eğilme momenti diyagramı çizilir. Sistem için bulunan eğilme momenti değeri, M_n , eğilme rijitliğine, EI , bölünerek elde edilen büyüklük yayılı yük olarak yüklenir. Mohr sisteminde, $\frac{M_n}{EI}$ yayılı yük etkisi altında hesaplanan eğilme momenti gerçek sistemdeki çökme değerini verir (Kadioğlu, Engin ve Bakioğlu, 1989). Buna göre, kiriş ortası deplasman değeri Denklem (38) ile hesaplanmıştır.

$$M_c = v_c = \frac{23PL^3}{1296EI} \quad (38)$$

Denklem (38)'de verilen formüldeki etkin eğilme rijitliği, EI , ÇYTHYE'ye göre Denklem (39) ile hesaplanmıştır. Burada C_1 katsayısı Denklem (40) ile hesaplanmıştır.

$$EI = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_1 E_c I_c \quad (39)$$

$$C_1 = 0,25 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0,7 \quad (40)$$

3.2.2. ANSYS Workbench Yazılımı ile Numerik Çalışma

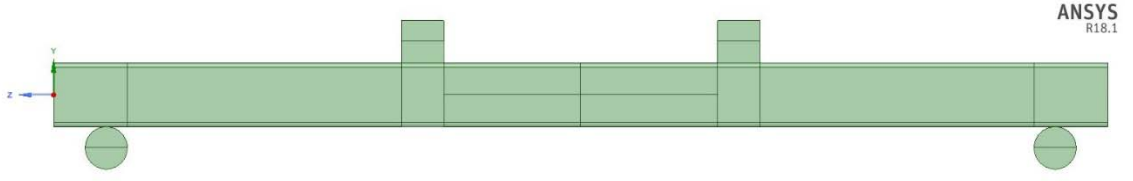
Mühendislik problemlerinin çözümünde sonlu farklar ve sonlu elemanlar olarak iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar, sonlu farklar yönteminin aksine lineer denklemleri değil integral formülasyonlarını kullanır. Sonlu elemanlar yönteminin numerik çözümleri zaman almasından dolayı bu hesaplamalar bilgisayar yazılımıyla yapıldığında daha kısa ve daha net çözümler vermektedir (Ovalı ve Esen, 2017). Bu tez çalışmasında sonlu elemanlar yazılımı olarak ANSYS Workbench kullanılmıştır (“ANSYS Workbench”, 1970). Tez çalışmasının bu bölümünde bir sonraki bölümde tariflenen deneysel çalışma ve bir önceki bölümde belirtilen analitik yaklaşımlara göre daha pratik, hızlı ve doğru sonuçlara yakınsama öngörülmüştür. İBÇE ve BDKE kirişlerin deneysel çalışma başlığı altında verilen Şekil 19’a göre modellenmesi ANSYS Workbench v18.1 yazılımı vasıtasıyla yapılmıştır. Yapılan modellemenin, ANSYS Workbench programında lineer analizi yapılmıştır.

3.2.2.1. Geometrik Modellemelerin Yapılması

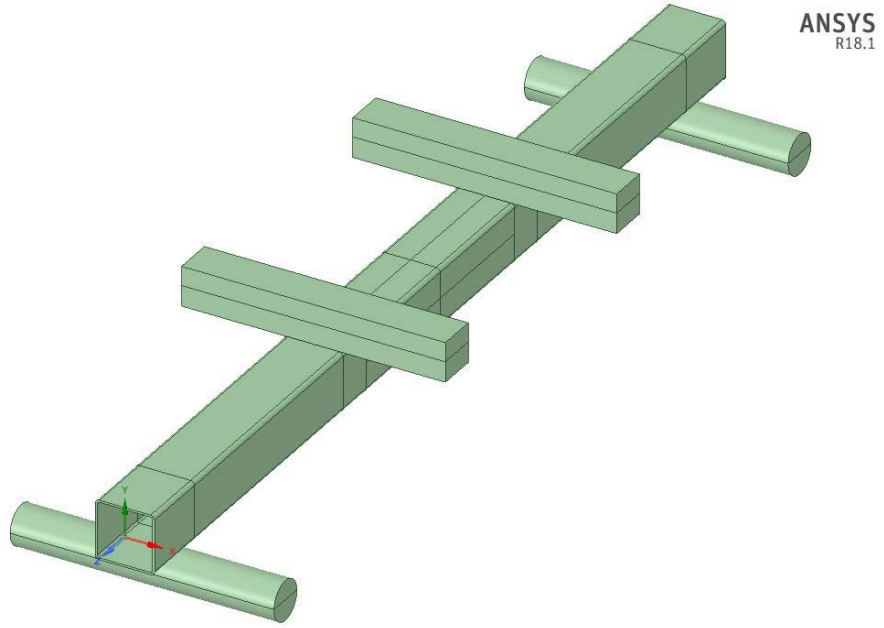
ANSYS Workbench yazılımı ile yapılan sonlu elemanlar analiz sonuçlarının, deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla tutarlılık sağlaması önemlidir. İBÇE ve BDKE kirişlerin geometrik modellemelerinin oluşturulmasında ANSYS Workbench yazılımının içerisindeki, Microsoft Windows üzerinde de çalışan ve SpaceClaim Corporation tarafından geliştirilen bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı olan SpaceClaim kullanılmıştır (SpaceClaim, 2007). BDKE kirişlerin uygulanacak yükler altındaki yapısal davranışının belirlenmesi için, geometrik modelleri üç boyutlu eleman olarak oluşturulmuştur. Oluşturulan üç boyutlu model Şekil 14 ve Şekil 15’te gösterilmiştir.

Geometrik modelleme oluşturulurken, mesnetler dairesel kesitli ve yükler kare kesitli olarak çizilmiştir. Yük ve mesnet çizilirken deneysel çalışmada kullanılan mesnetlerle aynı kesit özelliklerine sahip olmasına dikkat edilmiştir. Yükleme noktalarında ise deplasmanın daha üniform verilebilmesi için mesnetler kesilerek modellenmiştir. Yük ve mesnet noktalarının, profille bağlantısı sürtünmesiz bağlantı (frictionless contact) seçilerek tanımlanmıştır.

Deney numunesi ve mesnetler, analiz sırasında belirli noktaların kolayca seçilebilmesi için, profilin yekpare çalışması kaydıyla, bölünerek modellenmiştir.



Şekil 14. Geometrik modelleme ön görünüş



Şekil 15. Geometrik modelleme izometrik görünüş

3.2.2.2. Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

ANSYS Workbench yazılımı ile yapılan sonlu elemanlar analiz sonuçlarının, deneysel çalışma sonuçları ile tutarlılık sağlaması için malzeme özelliklerinin yazılım içerisinde doğru tanımlanması gerekmektedir.

Beton, doğrusal olmayan davranış gösteren bir malzemedir. Bu özelliğinin yazılımda tanımlanması noktasında “Multilinear Kinematic Hardening” özelliği kullanılmıştır. Bu özelliğin kullanılması için betonun gerilme – şekil değiştirme eğrisi üzerindeki değerlerin girilmesi gerekmektedir. Bu eğrinin tanımlanmasında kullanılacak değerler elde edilirken “Hognestad Modeli”nden yararlanılmıştır. Gerilme – şekil değiştirme eğrisi Denklem (41) ile elde edilmiştir (Altunışık, Günaydın, Genç ve Okur, 2018).

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (41)$$

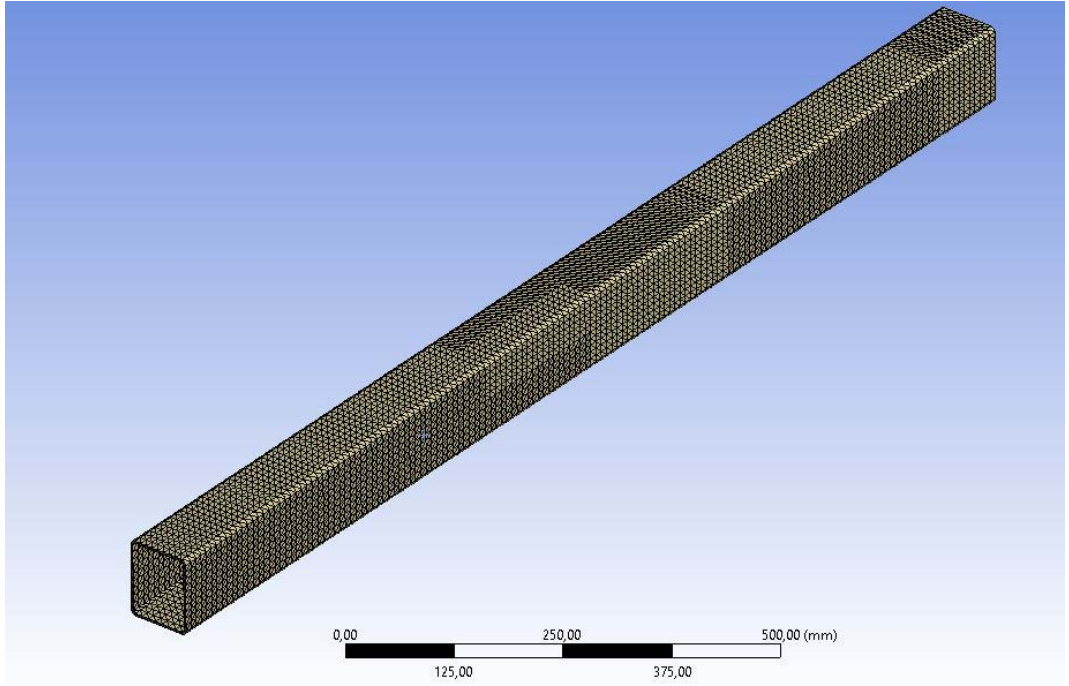
Betonun gerilme – şekil değiştirme grafiğinin Hognestad Modeliyle oluşturulması için 12 farklı birim deformasyon değeri kullanılmıştır. Betonun, maksimum gerilmeye karşı gelen birim kısalma değeri, ε_{co} , 0,0025 olarak kabul edilmiştir.

Çelik, malzeme olarak homojen ve akma noktasına kadar elastik bir malzeme olmasından dolayı yazılım içerisinde tanımlanması betona göre daha kolaydır. Çelik, yazılım içerisindeki hazır kütüphanede bulunan “Structural Steel NL” malzemesi üzerinde değişiklik yapılarak tanımlanmıştır. Elastik bölge tanımlaması için çeliğin elastisite modülü ve poisson oranı, çekme testinden elde edilen değerler göz önüne alınarak girilmiştir. Elastik ötesi davranışın tanımlanmasında akma gerilmesi her bir kesit için Tablo 3’te verilen değerler girilmiş ve çeliğin akma noktasından sonraki elastisite modülü (Tangent Modulus) 0 kabul edilmiştir.

Mesnetler ve yükleme noktaları da ANSYS Workbench yazılımında modellendiğinden malzeme olarak tanımlanması gerekmektedir. Yapılan çalışma, mesnetler ve yükleme noktaları üzerinde oluşacak gerilmelerin ve deformasyonların incelenmesini kapsamadığından bu elemanlar, deney numunesinde kullanılan çelikten daha yüksek elastisite modülüne sahip eleman olarak tanımlanmış ve herhangi bir gerilmeye ve deformasyona uğramadığı varsayımı yapılmıştır.

3.2.2.3. Optimum Sonlu Eleman Sayısının Belirlenmesi

Sonlu elemanlar analizinin doğru sonuca yaklaşması, sonlu eleman sayısı ile doğru orantılıdır. Eleman sayıları arttıkça, analiz doğru sonuca çok yaklaştığı bilinen bir gerçektir. Fakat sonlu eleman sayısı, belirli düzeyden sonra daha da arttırıldığında elde edilen sonucun aynı kaldığı ancak analiz süresinin uzadığı görülmektedir. Bu yüzden sonlu elemanlar analizinde kullanılacak optimum sonlu eleman sayısı belirlenirken, doğru sonuç gösteren minimum eleman sayısı – minimum analiz süresi amaçlanmıştır. Analizler, farklı eleman boyutları ve farklı eleman sayılarıyla tekrarlanmamış ve eleman duyarlılığı, yazılım içerisindeki “Element Quality” seçeneği aktifleştirilerek kontrol edilmiştir. Kirişin sonlu elemanlara bölünmesi ile ilgili görsel Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16. Kirişin sonlu elemanlara bölünmesi

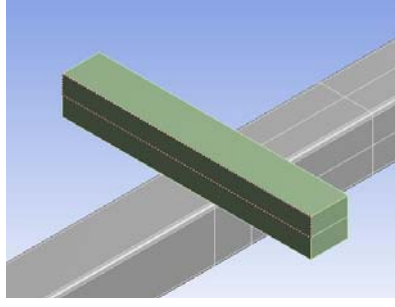
Kirişler, ANSYS Workbench içerisindeki “Body Sizing” ve “Face Meshing” özellikleri ile sonlu elemanlara bölünmüştür. Her bir elemanın boyutu 10 mm olarak girilmiştir. Analizde kullanılan düğüm noktası ve eleman sayısı karşılaştırmalı olarak Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Sonlu elemanlar modelinde kullanılan düğüm noktası ve eleman sayısı

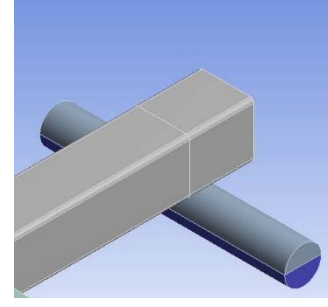
Eleman Adı	Düğüm Noktası	Eleman Sayısı
B1-B2-B3	34832	13265
B4	21559	10511
D1-D2-D3	44790	24701
D4	22978	11229
K1-K2-K3	40777	22700
K4	20505	9971

3.2.2.4. Serbestliklerin ve Sınır Şartlarının Tanımlanması

Elemanların düğüm noktaları ile etkileşiminin tam olarak anlaşılabilmesi için serbestlik derecesinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bir sonlu elemanlar modelinde bir düğüm noktasının serbestlik derecesi problemlerin çözülmesi için gerekli olan matematiksel denklemleri belirlemektedir. Modellemede tanımlanan serbestlik derecesi, sınır şartlarının tanımlanmasında önemli rol oynamaktadır. Sonlu elemanların modellemesinin tutarlılığındaki diğer bir önemli noktada sınır şartlarının deneysel modelle aynı şekilde tanımlanmasıdır. Analizde kullanılan serbestlikler ve sınır şartları Şekil 17 (a) ve (b)’de gösterilmiştir.



(a)



(b)

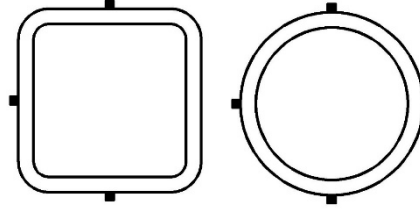
Şekil 17. (a) Yük bağlantısı (b) Kayıcı mesnet bağlantısı

3.2.3. Deneysel Çalışma

BDKE kirişlerin eğilme dayanımlarının tespitinde 3 ve 4 nokta eğilme deneyleri yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında aynı et kalınlığına ve aynı çelik kesit alanına sahip farklı tip kesitlerdeki çelik profillerin içerisine beton doldurularak elde edilen BDKE kirişler 4 nokta eğilme deneyine tabii tutulmuş ve dayanımları tespit edilmiştir. Eğilme deneyleri KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan kiriş elemanlarının toplam uzunluğu 1500 mm, serbest açıklığı (mesnetler arası mesafe) 1350 mm'dir. Uygulanan iki tekil yükün arasında kalan açıklık, saf moment açıklığı olarak tanımlanmaktadır. Saf moment açıklığı merkezde 450 mm'dir. Düşey deformasyonlar, kiriş serbest açıklığının, L , ortasında, $L/2$, ve yük uygulanan noktaların altında, $L/3$ ve $2L/3$, ölçülmüştür. Ayrıca mesnetlerde deformasyonların oluşup oluşmama kontrolü için mesnetlerin altlarına da LVDT' ler yerleştirilmiştir.

Uygulanan yükler altında çelikte oluşacak akma noktasının belirlenmesi için kirişlerin basınç bölgesine (üst), çekme bölgesine (alt) ve orta noktasına gerinim pulları yapıştırılmıştır. Gerinim pulu bağlantı konumlarının şematik gösterimi Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 18. Gerinim pulu bağlantı konumları

Deneyle esnasında, yük noktalarında yanıl kuvvetlerin oluşarak kirişin kaymaması ve deneyin doğruluğunu değiştirmemesi için yüklemle noktaları kare kesitli ve mesnet noktaları dairesel kesitli olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca deney esnasında profillerin dönmesini engellemek için mesnetler, özel olarak kaynatılmış plakalar içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 19). Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 20’de verilmiştir.

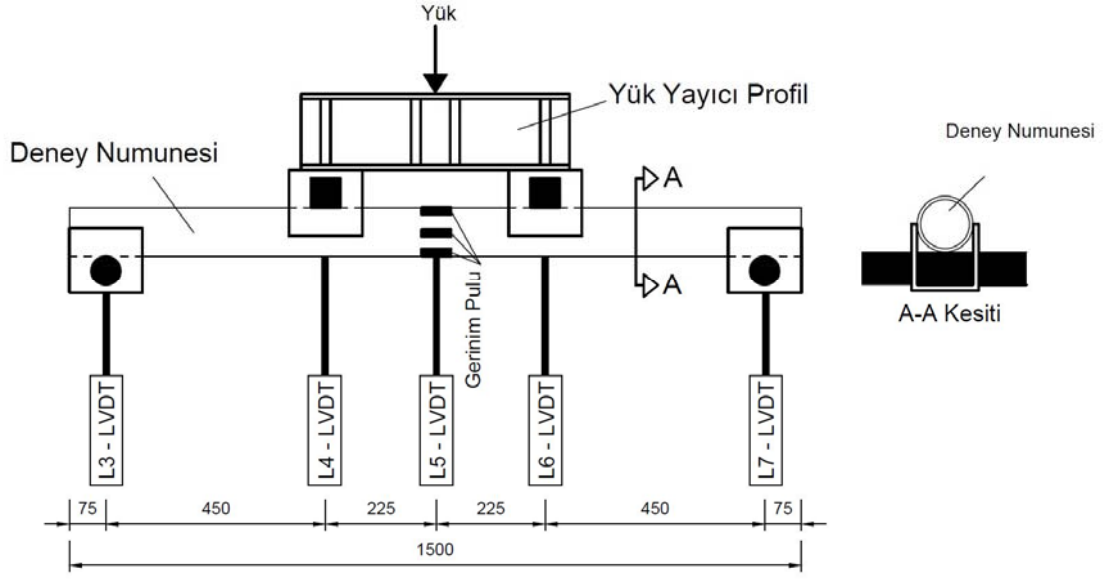


(a)



(b)

Şekil 19. Mesnet noktaları (a) Yük, (b) Mesnet



Şekil 20. Deney düzeneği şematik gösterimi (Tüm ölçüler mm cinsindedir.)

Bu tez çalışmasında, aynı çelik kesit alanına sahip kare, dikdörtgen ve dairesel kesitli profiller kullanılmıştır. Her bir kesit tipi için bir adet İBÇE ve üç adet BDKE olmak üzere, aynı et kalınlığına ve aynı çelik kesit alanına sahip toplamda 12 adet kiriş 4 nokta eğilme deneyine tabii tutulmuştur. Kirişler, bir boy yapısal çeliğin (6000 mm) kesilmesiyle elde edilmiştir. Her bir kirişin boyu 1500 mm'dir.

Profiller içerisine doldurulan betonun, beton sınıfının 28 günlük basınç dayanımı silindir için 40 MPa ve küp için 50 MPa olması amaçlanmıştır. Kullanılan yapısal çelik sınıfı S235 olarak seçilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Standartlarla ve Geliştirilen Yöntemlerle Yapılan Analitik Çalışma

Bu bölümde beton dolgulu kompozit elemanların eğilme dayanımları uluslararası standartlar, yönetmelikler ve geliştirilen yöntemlerle hesaplanmıştır.

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

ÇYTHYE kompozit elemanlar bölümünde tarif edilen karşılıklı etkileşim diyagramları kullanılarak eksenel kuvvet ve eğilme momenti arasındaki ilişki analitik olarak belirlenmektedir. Enkesit üzerinde plastik gerilme yayılımını esas alan bu diyagram sayesinde, kompozit kesit için eksenel yükün 0 kabul edildiği formül kullanılarak karakteristik eğilme momenti bulunmuştur. ÇYTHYE ile elde edilen analitik sonuçlara göre dairesel enkesitli BDKE kirişlerin karakteristik eğilme momenti dayanımlarının, İBÇE kirişlerle kıyaslandığında yaklaşık %22,5 artış gösterdiği görülmüştür. Dairesel enkesitli beton dolgulu kompozit elemanların akma noktasında kiriş ortasında oluşan deplasman değerleri ve karakteristik eğilme momenti dayanımları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin ÇYTHYE’ye göre karakteristik eğilme momenti dayanımları

Eleman Adı	D/t	Orta Nokta Deplasman (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M _B) (kN.m)
B1 – B2 – B3	38	8,48	11,20
B4	38	13,03	9,14

Elde edilen analitik sonuçlara göre kutu enkesitli BDKE kirişlerin karakteristik eğilme momenti dayanımlarının, İBÇE kirişlerle kıyaslandığında dikdörtgen enkesit için yaklaşık %18,5 ve kare enkesit için yaklaşık %15,7 artış gösterildiği görülmüştür. Kutu enkesitli beton dolgulu kompozit elemanların akma noktasında kiriş ortasında oluşan deplasman değerleri ve karakteristik eğilme momenti dayanımları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Dikdörtgen ve kare kesitli BDKE kirişlerin ÇYTHYE 'ye göre karakteristik eğilme momenti dayanımları

Eleman Adı	B/t	Orta Nokta Deplasman (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
D1 – D2 – D3	27	6,68	8,76
D4	27	9,61	7,39
K1 – K2 – K3	30	9,25	9,31
K4	30	14,11	8,05

4.1.2. Çelik ve Beton ile Oluşturulan Kompozit Yapıların Tasarımı – EC4

Dairesel enkesitli beton dolgulu kompozit elemanların EC4'e göre akma noktasında kiriş ortasında oluşan deplasman değerleri ve karakteristik eğilme momenti dayanımları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin EC4'e göre karakteristik eğilme momenti dayanımları

Eleman Adı	D/t	Orta Nokta Deplasman (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_n) (kN.m)
B1 – B2 – B3	38	8,36	11,05

Kutu enkesitli beton dolgulu kompozit elemanların EC4'e göre akma noktasında kiriş ortasında oluşan deplasman değerleri ve karakteristik eğilme momenti dayanımları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Dikdörtgen ve kare kesitli BDKE kirişlerin EC4'e göre karakteristik eğilme momenti dayanımları

Eleman Adı	B/t	Orta Nokta Deplasman (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_u) (kN.m)
D1 – D2 – D3	27	6,70	8,79
K1 – K2 – K3	30	9,27	9,33

4.1.3. Han Yöntemi

Dairesel enkesitli beton dolgulu kompozit elemanların Han yöntemine akma noktasında kiriş ortasında oluşan deplasman değerleri ve karakteristik eğilme momenti dayanımları Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin Han yöntemine göre karakteristik eğilme momenti dayanımları

Eleman Adı	D/t	Orta Nokta Deplasman (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_u) (kN.m)
B1 – B2 – B3	38	8,17	10,8

Kutu enkesitli beton dolgulu kompozit elemanların Han yöntemine göre akma noktasında kiriş ortasında oluşan deplasman değerleri ve karakteristik eğilme momenti dayanımları Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Dikdörtgen ve kare kesitli BDKE kirişlerin Han yöntemine göre karakteristik eğilme momenti dayanımları

Eleman Adı	B/t	Orta Nokta Deplasman (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_u) (kN.m)
D1 – D2 – D3	27	7,18	9,41
K1 – K2 – K3	30	9,55	9,60

4.1.4. Analitik sonuçların kıyaslanması

ÇYTHYE'ye göre analitik olarak hesaplanan içi boş dairesel kesitli çelik kirişler, farklı yönetmelik ve yöntemlerle hesaplanan beton dolgulu kompozit kirişlerle karakteristik eğilme moment dayanımları bakımından karşılaştırılmıştır.

4.1.4.1. Dairesel kesitli kirişler

ÇYTHYE'ye göre dairesel kesitli İBÇE kirişlerin içi beton doldurulduğunda yük ve moment taşıma kapasitelerinin %22,5 oranında arttığı görülmüştür. ÇYTHYE'ye göre hesaplanan İBÇE kirişlerin, EC4 ile hesaplanan BDKE kirişlerle kıyaslandığında yük ve moment taşıma kapasitelerinin yaklaşık %20,9 arttığı görülmüştür. Son olarak ÇYTHYE'ye göre hesaplanan İBÇE kirişlerin, Han yöntemiyle hesaplanan BDKE kirişlerle kıyaslandığında yük ve moment taşıma kapasitelerinin %18,2 arttığı görülmüştür (Tablo 14). Tüm bu bilgiler göz önüne alındığında Han yönteminin daha güvenilir tarafta kalma yaklaşımının olduğu söylenebilir. Ayrıca analitik sonuçlara göre BDKE kirişlerin akma noktasının İBÇE kirişlere göre daha geç gerçekleştiği görülmüştür.

Tablo 14. Dairesel kesitli kirişlerin analitik karşılaştırılması

Eleman Adı	D/t	ÇYTHYE (kN.m)	EC4 (kN.m)	Han (kN.m)
B1 – B2 – B3	38	11,20	11,05	10,80
B4	38	9,14	-	-

4.1.4.2. Dikdörtgen kesitli kirişler

ÇYTHYE'ye göre dikdörtgen kesitli İBÇE kirişlerin içi beton doldurulduğunda yük ve moment taşıma kapasitelerinin %18,5 oranında arttığı görülmüştür. ÇYTHYE'ye göre hesaplanan İBÇE kirişlerin, EC4 ile hesaplanan BDKE kirişlerle kıyaslandığında yük ve moment taşıma kapasitelerinin yaklaşık %18,9 arttığı görülmüştür. Son olarak ÇYTHYE'ye göre hesaplanan İBÇE kirişlerin, Han yöntemiyle hesaplanan BDKE kirişlerle kıyaslandığında yük ve moment taşıma kapasitelerinin %27,3 arttığı görülmüştür. Tüm bu bilgiler göz önüne alındığında ÇYTHYE ve EC4 yönetmeliklerinin dairesel kesitli BDKE kirişlerdeki yaklaşımlarının aksine daha güvenilir tarafta kalma

yaklaşımının olduğu söylenebilir. Analitik sonuçlar incelendiğinde BDKE kirişlerin akma noktasının İBÇE kirişlere göre daha geç gerçekleştiği görülmüştür (Tablo 15).

Tablo 15. Dikdörtgen kesitli kirişlerin analitik karşılaştırılması

Eleman Adı	B/t	ÇYTHYE (kN.m)	EC4 (kN.m)	Han (kN.m)
D1 – D2 – D3	27	8,76	8,79	9,41
D4	27	7,39	-	-

4.1.4.3. Kare kesitli kirişler

ÇYTHYE'ye göre kare kesitli İBÇE kirişlerin içi beton doldurulduğunda yük ve moment taşıma kapasitelerinin %15,7 oranında arttığı görülmüştür. ÇYTHYE'ye göre hesaplanan İBÇE kirişlerin, EC4 ile hesaplanan BDKE kirişlerle kıyaslandığında yük ve moment taşıma kapasitelerinin yaklaşık %15,9 arttığı görülmüştür. Son olarak ÇYTHYE'ye göre hesaplanan İBÇE kirişlerin, Han yöntemiyle hesaplanan BDKE kirişlerle kıyaslandığında yük ve moment taşıma kapasitelerinin %19,3 arttığı görülmüştür. Tüm bu bilgiler göz önüne alındığında ÇYTHYE ve EC4 yönetmeliklerinin dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerdeki yaklaşımlarına benzer şekilde daha güvenilir tarafta kalma yaklaşımının olduğu söylenebilir. Analitik sonuçlar incelendiğinde BDKE kirişlerin akma noktasının İBÇE kirişlere göre daha geç gerçekleştiği görülmüştür (Tablo 16).

Tablo 16. Kare kesitli kirişlerin analitik karşılaştırılması

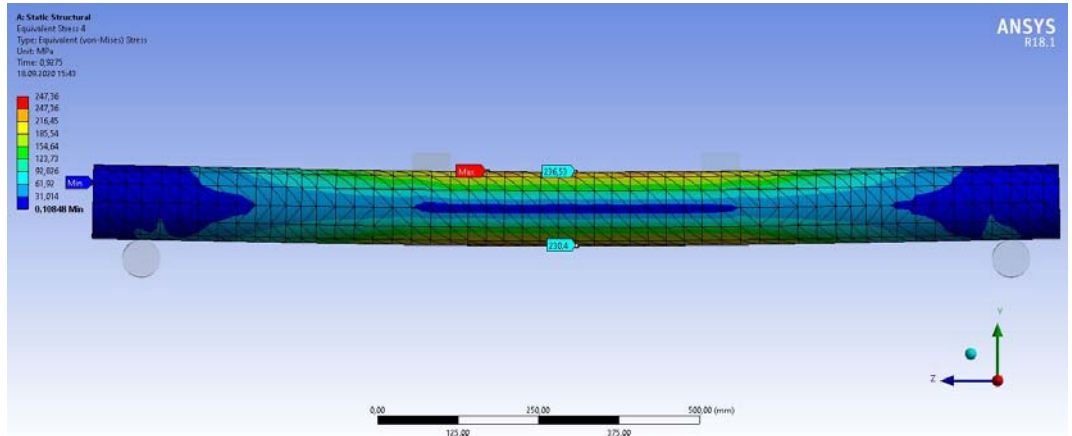
Eleman Adı	B/t	ÇYTHYE (kN.m)	EC4 (kN.m)	Han (kN.m)
K1 – K2 – K3	30	9,31	9,33	9,60
K4	30	8,05	-	-

4.2. ANSYS Workbench Yazılımı ile Numerik Çalışma

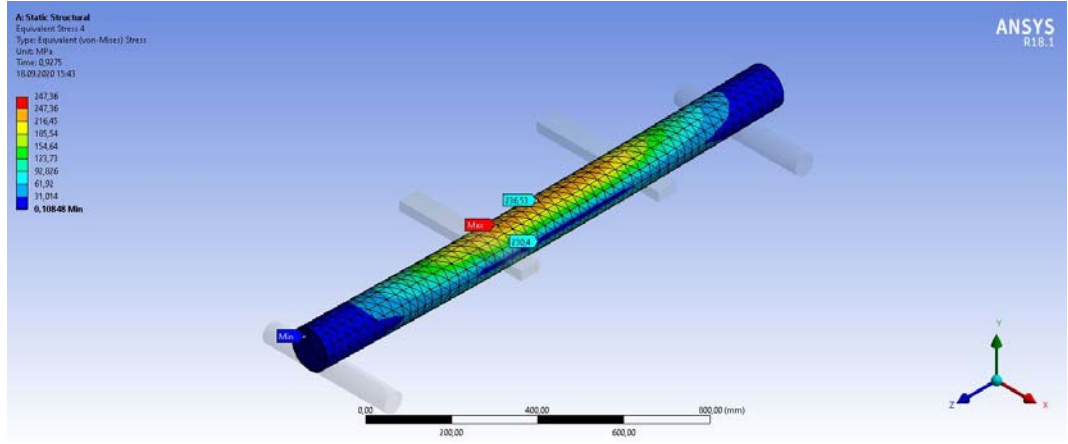
Beton basınç ve çelik kupon çekme deneylerinden elde edilen sonuçlarla mekanik özellikleri ANSYS Workbench sonlu elemanlar yazılımında tanımlanan BDKE ve İBÇE kirişlerin numerik çalışmayla elde edilen karakteristik akma momenti dayanımları ve akma noktasındaki orta nokta deplasman değerleri hesaplanmıştır.

4.2.1. Dairesel kesitli kirişler

B1, B2 ve B3 numaralı BDKE kirişlerde akma gerilmesi, kirişin yük uygulanan bölgelerine yakın yerlerde oluşmuştur. Kirişin yükleme noktaları akma gerilmesine ulaştığında, kiriş ortası henüz akma gerilmesine ulaşmamıştır. Kiriş ortasının alt ve üst konumlarındaki gerilmelerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Uygulanan yükler altında B1-B2-B3 kirişlerinde oluşan gerilmeleri gösteren analiz sonuçları Şekil 21 ve Şekil 22'de gösterilmiştir.

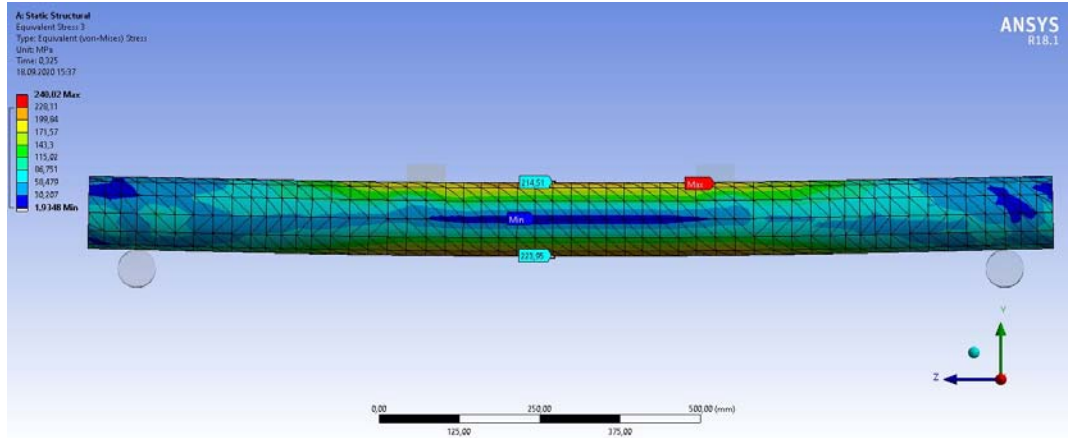


Şekil 21. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (ön)

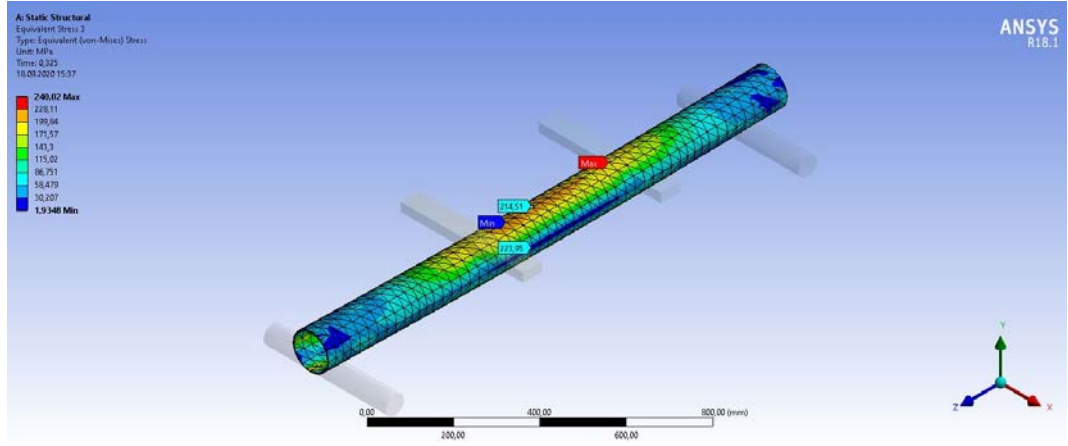


Şekil 22. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik)

B4 numaralı İBÇE kirişinde akma gerilmesi, kirişin yük uygulanan bölgelerinde oluşmuştur. Kirişin yükleme noktaları akma gerilmesine ulaştığında, kiriş ortası henüz akma gerilmesine ulaşmamıştır. Kiriş ortasının alt ve üst konumlarındaki gerilmelerin birbirine nispeten yakın olduğu ancak alt bölgede oluşan gerilmenin daha fazla olduğu görülmüştür. Uygulanan yükler altında B4 kirişinde oluşan gerilmeleri gösteren analiz sonuçları Şekil 23 ve Şekil 24’te gösterilmiştir.



Şekil 23. Dairesel kesitli İBÇE kirişin akma noktasındaki gerilmeler (ön)



Şekil 24. Dairesel kesitli İBÇE kirişin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik)

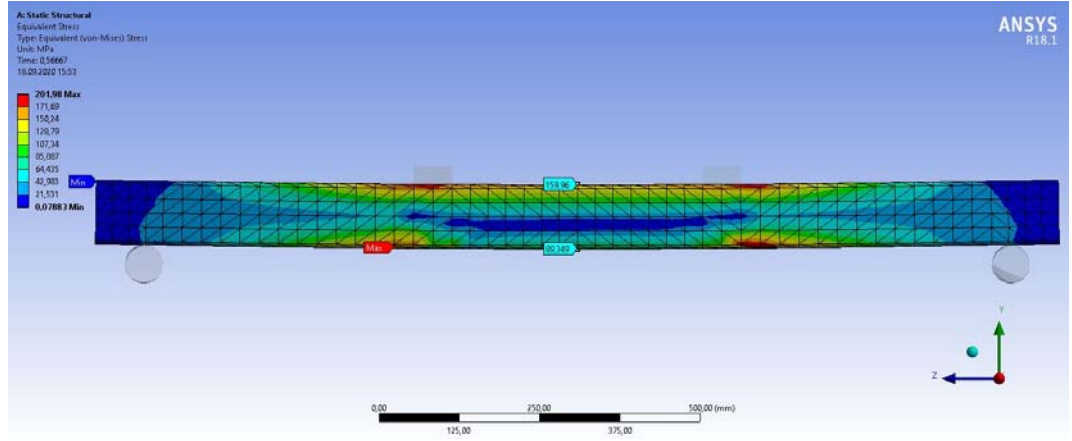
B1, B2 ve B3 numaralı BDKE kirişler, B4 numaralı İBÇE kirişle kıyaslandığında karakteristik eğilme momenti dayanımlarının %95,9 oranında arttığı, orta nokta deplasmanın %20,4 azaldığı görülmüştür (Tablo 17).

Tablo 17. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin numerik eğilme momenti dayanımları

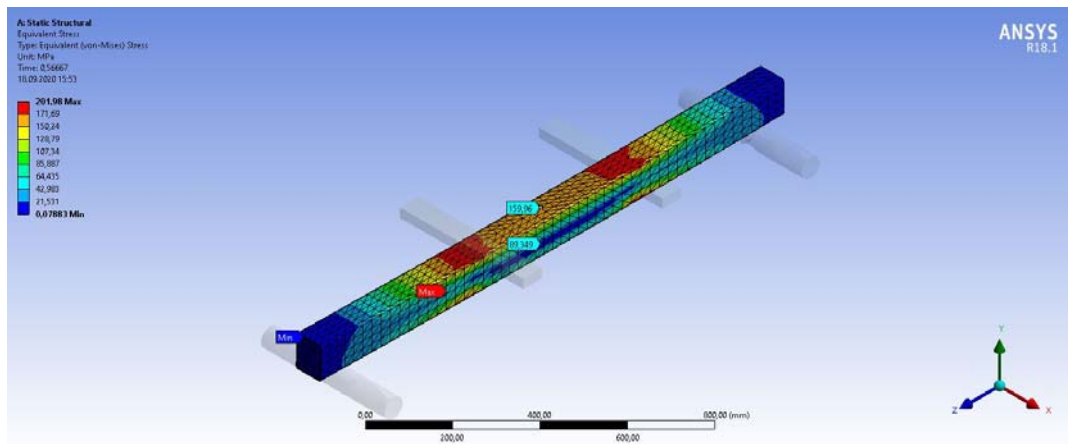
Eleman Adı	D/t	Orta Nokta Deplasman (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
B1 – B2 – B3	38	8,09	12,32
B4	38	9,74	6,29

4.2.2. Dikdörtgen kesitli kirişler

D1, D2 ve D3 numaralı BDKE kirişlerde akma gerilmesi, kirişin yük uygulanan bölgelerinde oluşmuştur. Kirişin yükleme noktaları akma gerilmesine ulaştığında, kiriş ortası henüz akma gerilmesine ulaşmamıştır. Kiriş ortasının alt ve üst konumlarındaki gerilmelerin birbirine yakın olmadığı görülmüştür. Sonuçların dairesel kesitli BDKE'lerde oluşan gerilme benzerliğinin aksine farklı çıkmasının sebebi, dikdörtgen kesitli BDKE kirişin basınç bölgesinin, dairesel kesitli BDKE kirişlere göre daha fazla alana sahip olmasıdır. Uygulanan yükler altında D1-D2-D3 kirişlerinde oluşan gerilmeleri gösteren analiz sonuçları Şekil 25 ve Şekil 26'da gösterilmiştir.

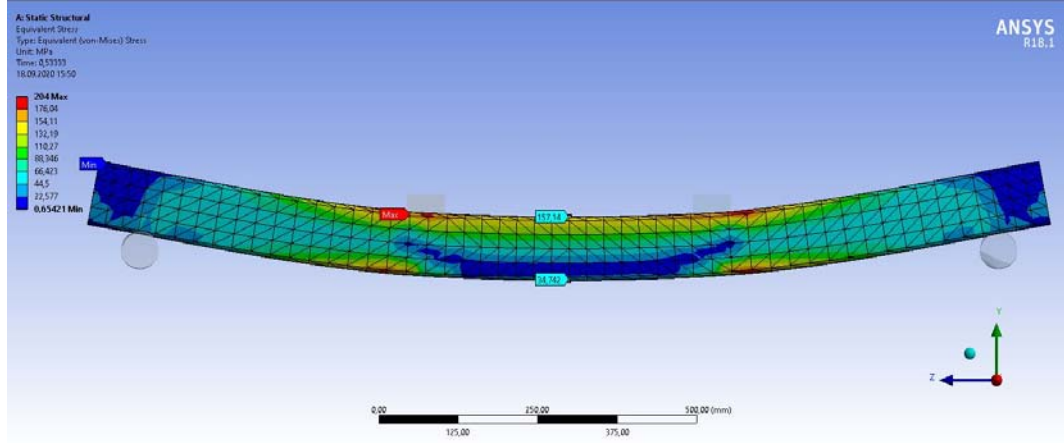


Şekil 25. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (ön)

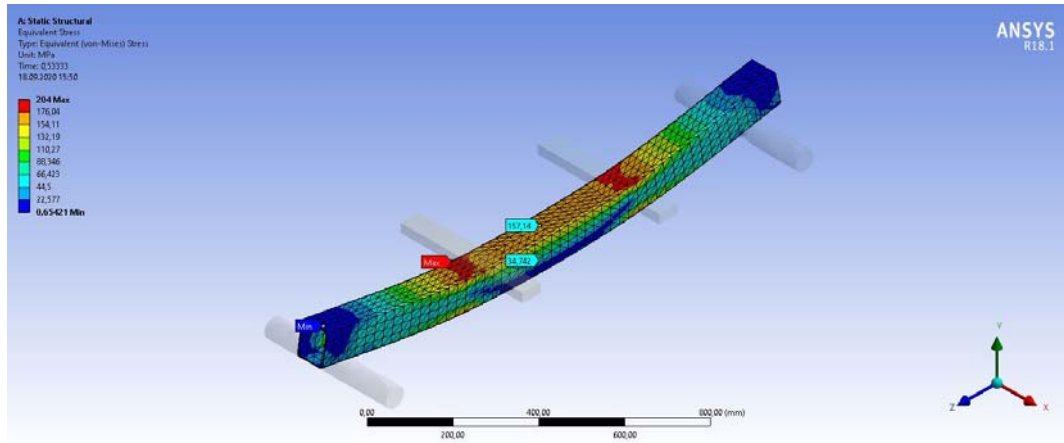


Şekil 26. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik)

D4 numaralı İBÇE kirişinde akma gerilmesi, kirişin yük uygulanan bölgelerinde oluşmuştur. Kirişin yükleme noktaları akma gerilmesine ulaştığında, kiriş ortası henüz akma gerilmesine ulaşmamıştır. Kiriş ortasının alt ve üst konumlarındaki gerilmelerin birbirine benzerlik göstermediği, basınç gerilmelerinin çekme gerilmesine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Uygulanan yükler altında D4 kirişinde oluşan gerilmeleri gösteren analiz sonuçları Şekil 27 ve Şekil 28’de gösterilmiştir.



Şekil 27. Dikdörtgen kesitli İBÇE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (ön)



Şekil 28. Dikdörtgen kesitli İBÇE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik)

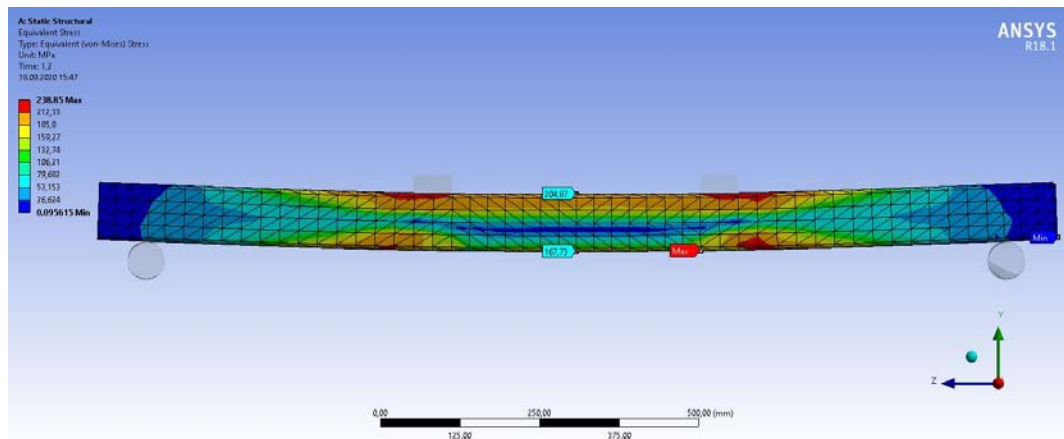
D1, D2 ve D3 numaralı BDKE kirişler, D4 numaralı İBÇE kirişle kıyaslandığında karakteristik eğilme momenti dayanımlarının %44,91 oranında arttığı, orta nokta deplasmanın %6,4 azaldığı görülmüştür (Tablo 18).

Tablo 18. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin numerik eğilme momenti dayanımları

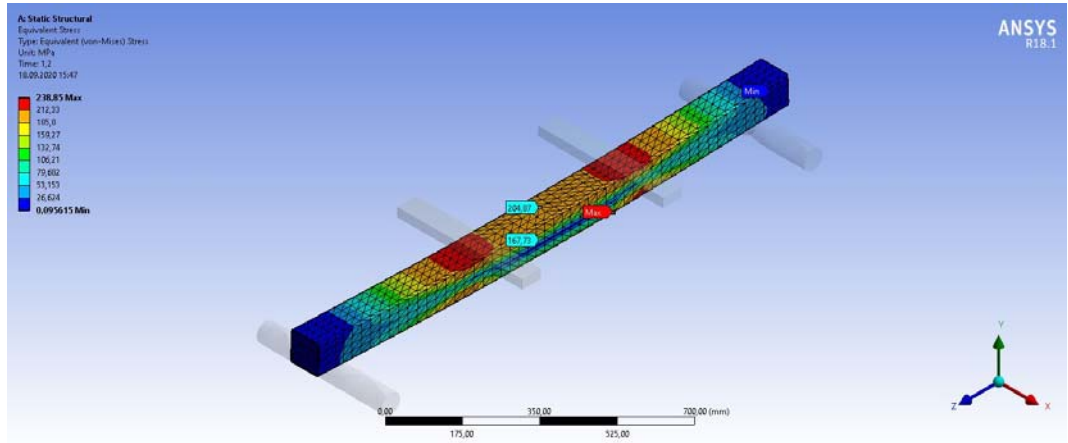
Eleman Adı	B/t	Orta Nokta Deplasman (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
D1 – D2 – D3	27	6,83	11,10
D4	27	7,27	7,66

4.2.3. Kare kesitli kirişler

K1, K2 ve K3 numaralı BDKE kirişlerde akma gerilmesi, kirişin yük uygulanan bölgelerinde oluşmuştur. Kirişin yükleme noktaları akma gerilmesine ulaştığında, kiriş ortası henüz akma gerilmesine ulaşmamıştır. Kiriş ortasının alt ve üst konumlarındaki gerilmelerin birbirine yakın olmadığı görülmüştür. Sonuçlar dairesel kesitli BDKE’lerde oluşan gerilme benzerliğinin aksine farklı çıkmasının sebebi, dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerde olduğu gibi basınç bölgesinin, dairesel kesitli BDKE kirişlere göre daha fazla alana sahip olmasıdır. Uygulanan yükler altında K1-K2-K3 kirişlerinde oluşan gerilmeleri gösteren analiz sonuçları Şekil 29 ve Şekil 30’da gösterilmiştir.

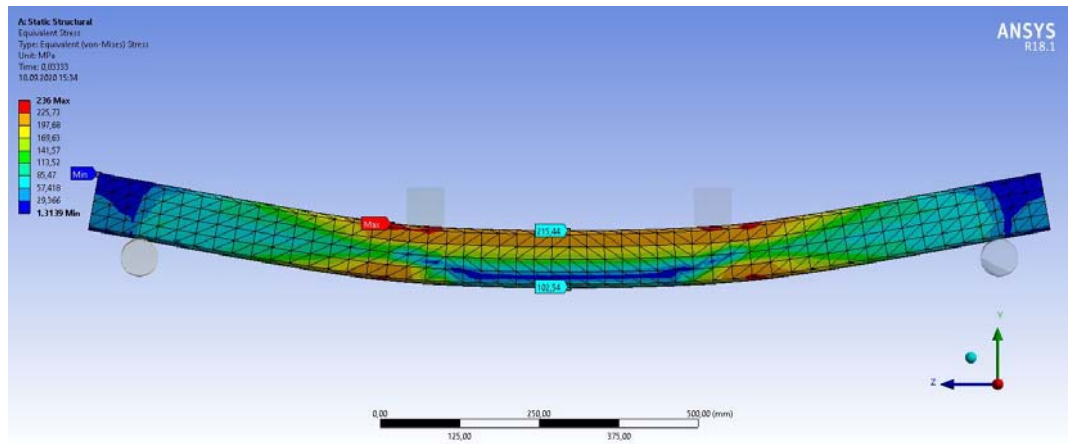


Şekil 29. Kare kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (ön)

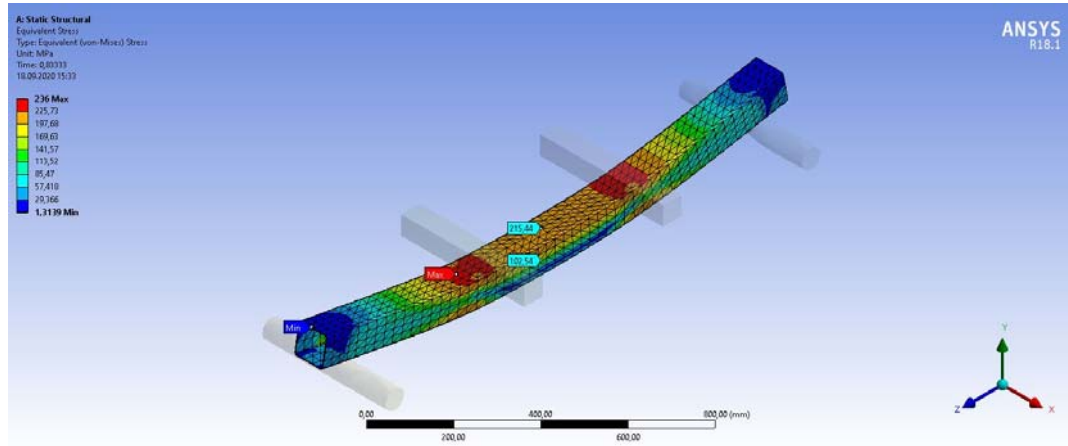


Şekil 30. Kare kesitli BDKE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik)

K4 numaralı İBÇE kirişinde de akma gerilmesi, kirişin yük uygulanan bölgelerinde oluşmuştur. Kirişin yükleme noktaları akma gerilmesine ulaştığında, kiriş ortası henüz akma gerilmesine ulaşmamıştır. Kiriş ortasının alt ve üst konumlarındaki gerilmelerin birbirine benzerlik göstermediği, basınç gerilmelerinin çekme gerilmesine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Uygulanan yükler altında K4 kirişinde oluşan gerilmeleri gösteren analiz sonuçları Şekil 31 ve Şekil 32’de gösterilmiştir.



Şekil 31. Kare kesitli İBÇE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (ön)



Şekil 32. Kare kesitli İBÇE kirişlerin akma noktasındaki gerilmeler (izometrik)

K1, K2 ve K3 numaralı BDKE kirişler, K4 numaralı İBÇE kirişle kıyaslandığında karakteristik eğilme momenti dayanımlarının %58,2 oranında ve orta nokta deplasmanın %4,6 arttığı görülmüştür (Tablo 19).

Tablo 19. Kare kesitli BDKE kirişlerin numerik eğilme momenti dayanımları

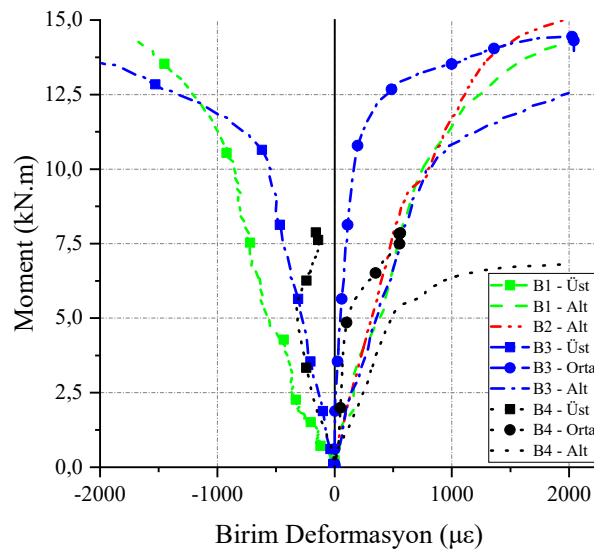
Eleman Adı	B/t	Orta Nokta Deplasman (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
K1 – K2 – K3	30	8,35	10,71
K4	30	7,98	6,77

4.3. Deneysel Çalışma

Farklı kesit tiplerine ancak aynı çelik kesit alanına sahip BDKE kirişler 4 nokta eğilme testine tabi tutularak karakteristik eğilme momenti dayanımları bulunmuştur. Tüm kiriş numunelerinde yüklemenin doğruluğunun kontrolü, yük noktalarının altlarındaki LVDT'ler yardımıyla ölçülmüştür. Ayrıca yükleme esnasında mesnetlerin deplasman kontrolü yapılmış ve yükleme altında mesnetlerin deplasman yapmadığı görülmüştür. BDKE ve İBÇE kirişlerin, kiriş orta kesitinin üst, orta ve alt noktasında bulunan gerinim pullarından alınan sonuçlarla moment – birim deformasyon eğrileri çizilmiştir. İBÇE ve BDKE kirişlerin, kiriş ortasında bulunan gerinim pulları yardımıyla birim uzamaları ölçülmüştür. Deneyde, akma noktasındaki eğilme dayanımı yüklemenin altında bulunan çeliğin aktığı anda gerçekleşmiştir. Yükleme altı noktalarının akmasından sonra kiriş orta bölümünde boyuna uzama oluşmamıştır. Bundan dolayı kiriş ortasında bulunan gerinim pulları, çelik çekme testinden elde edilen birim şekil değiştirme değerlerini göstermeyip, akma noktasındaki eğilme dayanımının sağlandığı noktadaki gerinim değerlerini göstermektedir. Deney esnasında ölçüm hatası olan gerinim pullarından alınan veriler grafiklere yansıtılmamıştır.

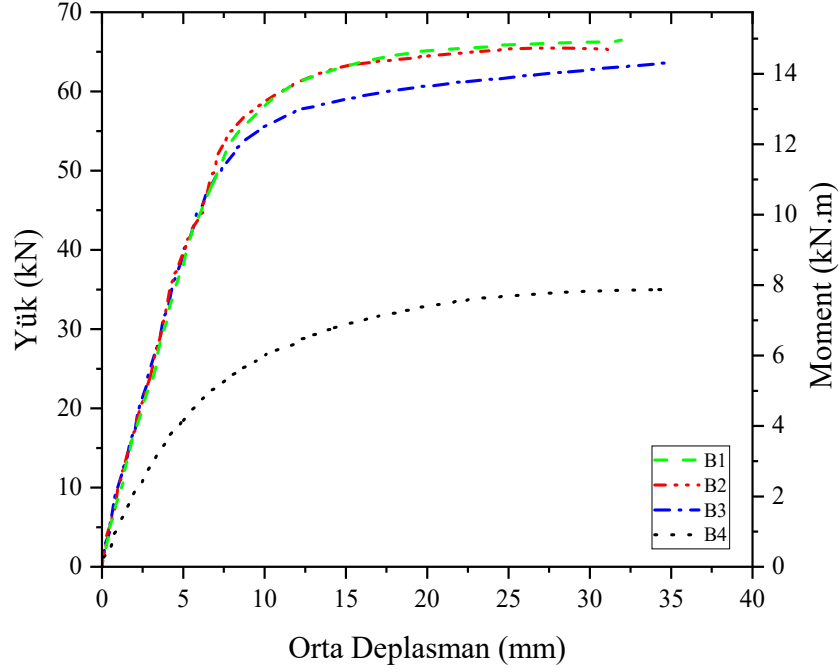
4.3.1. Dairesel kesitli kirişler

Dairesel kesitli çelik kirişlere ait moment – birim deformasyon eğrisi Şekil 33'te verilmiştir.



Şekil 33. Dairesel kesitli kirişlere ait moment – birim deformasyon eğrisi

Dairesel kesitli çelik kirişlere ait yük/moment – deplasman eğrisi Şekil 34’te verilmiştir.



Şekil 34. Dairesel kesitli kirişlere ait yük/moment – deplasman eğrisi

B1, B2 ve B3 numaralı BDKE kirişler, karakteristik eğilme momenti dayanımlarının aritmetik ortalaması alınarak, B4 numaralı İBÇE kirişle kıyaslandığında dayanımlarının %81,7 oranında artarken, orta noktada %59,1 daha az deplasman yaptığı görülmüştür (Tablo 20).

Tablo 20. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları

Eleman Adı	D/t	Orta Nokta Deplasman (L5 – LVDT) (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
B1	38	7,61	11,69
B2	38	7,71	12,06
B3	38	7,05	11,02
B4	38	11,87	6,38

Dairesel kesitli kirişlerin yükleme öncesi ve sonrası durumu sırasıyla Şekil 35 ve 36'da verilmiştir.



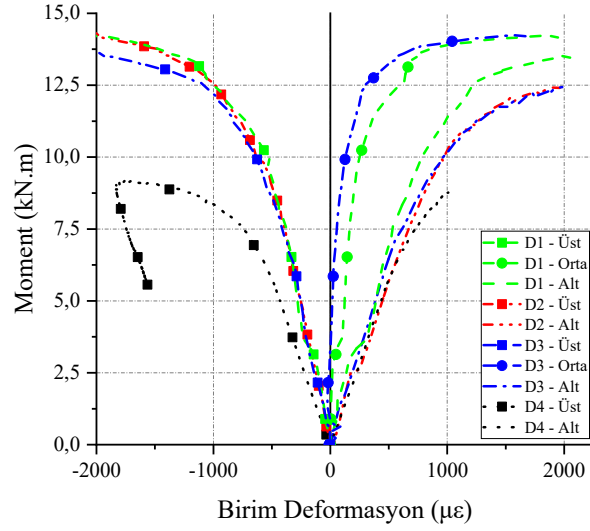
Şekil 35. Dairesel kesitli kirişlerin yükleme öncesi durumu



Şekil 36. Dairesel kesitli kirişlerin yükleme sonrası durumu

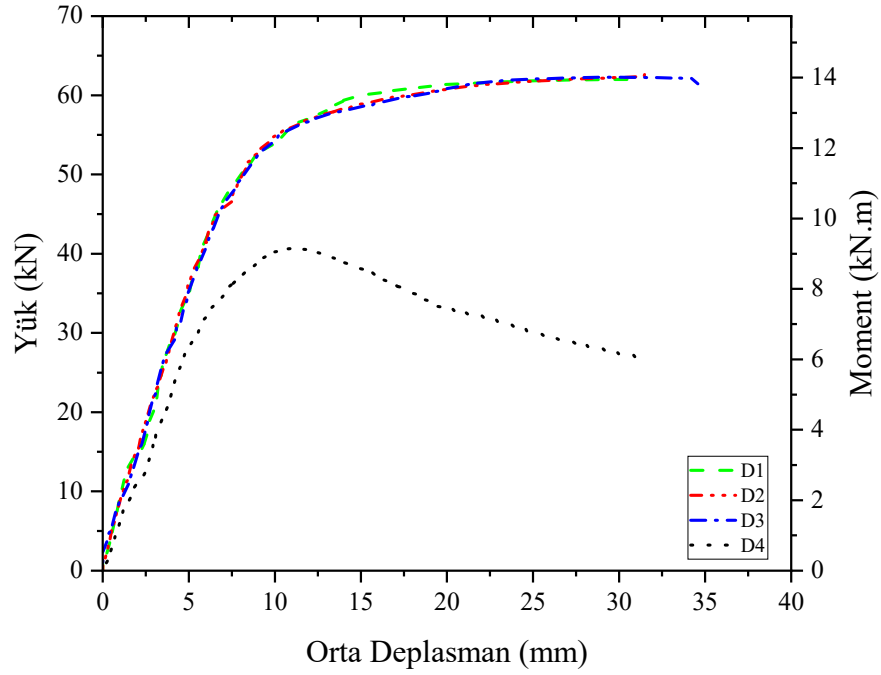
4.3.2. Dikdörtgen kesitli kirişler

Dikdörtgen kesitli çelik kirişlere ait moment – birim deformasyon eğrisi Şekil 37’de verilmiştir.



Şekil 37. Dikdörtgen kesitli kirişlere ait moment – birim deformasyon eğrisi

Dikdörtgen kesitli çelik kirişlere ait yük/moment – deplasman eğrisi Şekil 38’de verilmiştir.



Şekil 38. Dikdörtgen kesitli kirişlere ait yük/moment – deplasman eğrisi

D1, D2 ve D3 numaralı BDKE kirişler, karakteristik eğilme momenti dayanımlarının aritmetik ortalaması alınarak, D4 numaralı İBÇE kirişle kıyaslandığında dayanımlarının %39,6 oranında artarken orta noktada %10,5 daha az deplasman yaptığı görülmüştür (Tablo 21).

Tablo 21. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları

Eleman Adı	B/t	Orta Nokta Deplasman (L5 – LVDT) (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
D1	27	7,47	10,89
D2	27	6,86	10,37
D3	27	6,96	10,28
D4	27	6,42	7,53

Dikdörtgen kesitli kirişlerin yükleme öncesi ve sonrası durumu sırasıyla Şekil 39 ve 40'ta verilmiştir.



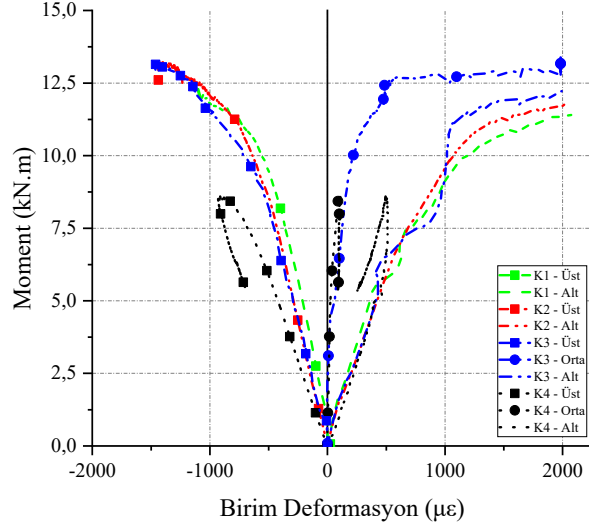
Şekil 39. Dikdörtgen kesitli kirişlerin yükleme öncesi durumu



Şekil 40. Dikdörtgen kesitli kirişlerin yükleme sonrası durumu

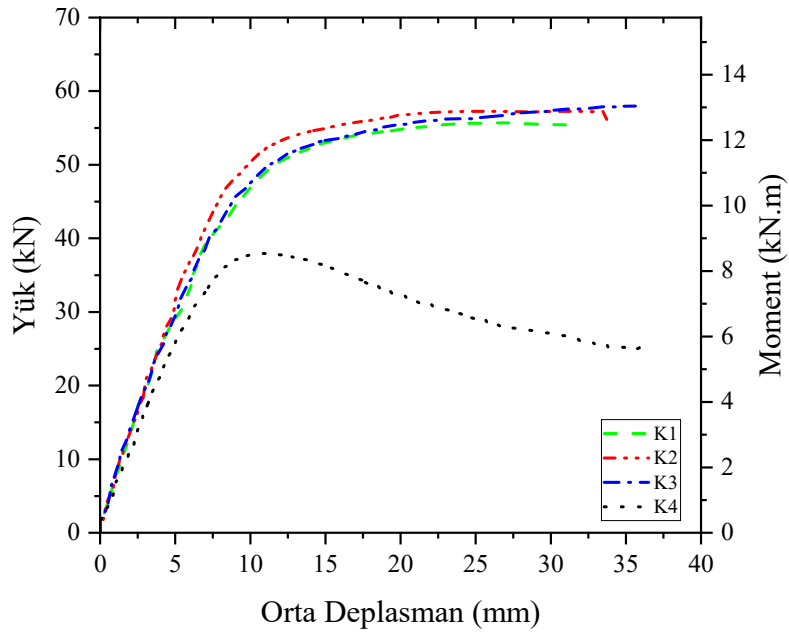
4.3.3. Kare kesitli kirişler

Kare kesitli çelik kirişlere ait moment – birim deformasyon eğrisi Şekil 41’de verilmiştir.



Şekil 41. Kare kesitli kirişlere ait moment – birim deformasyon eğrisi

Kare kesitli çelik kirişlere ait yük/moment – deplasman eğrisi Şekil 42’de verilmiştir.



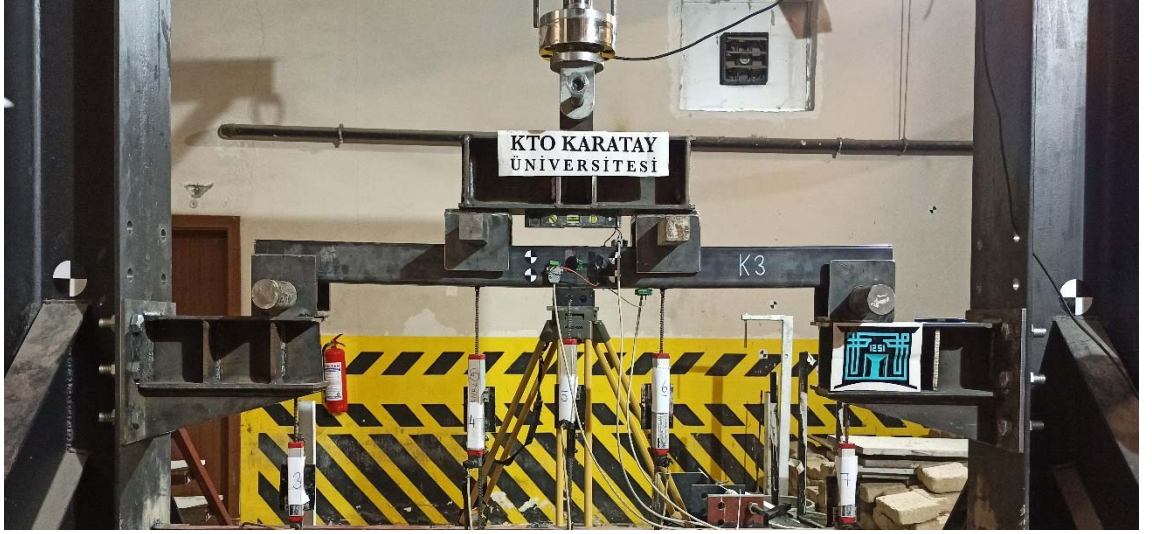
Şekil 42. Kare kesitli kirişlere ait yük/moment – deplasman eğrisi

Akma noktasındaki deneysel verilerle elde edilen karakteristik akma momenti dayanımları ve akma noktasındaki orta nokta deplasman değerleri Tablo 22’de özetlenmiştir. K1, K2 ve K3 numaralı BDKE kirişler, karakteristik eğilme momenti dayanımlarının aritmetik ortalaması alınarak, K4 numaralı İBÇE kirişle kıyaslandığında dayanımlarının %59,4 oranında artarken orta noktada %57,2 daha az deplasman yaptığı görülmüştür.

Tablo 22. Kare kesitli BDKE kirişlerin deneysel eğilme momenti dayanımları

Eleman Adı	B/t	Orta Nokta Deplasman (L5 – LVDT) (mm)	Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı (M_B) (kN.m)
K1	30	9,02	10,05
K2	30	10,02	11,48
K3	30	9,58	10,61
K4	30	6,07	6,72

Kare kesitli kirişlerin yükleme öncesi ve sonrası durumu sırasıyla Şekil 43 ve 44'te verilmiştir.



Şekil 43. Kare kesitli kirişlerin yükleme öncesi durumu



Şekil 44. Kare kesitli kirişlerin yükleme sonrası durumu

4.3.4. Yerel burkulma

Beton dolgulu kompozit elemanları, içi boş çelik elemanlardan ayıran en önemli farklardan biri de yerel burkulmaların önlenmiş olmasıdır. İçerisine doldurulan beton sayesinde yerel burkulmalar önlenerek eğilme dayanımının artmasına katkıda bulunur. İBÇE kirişlerde eğilme momenti etkisinde yük noktalarının altında yerel burkulmalar oluşabileceği gibi aynı zamanda mesnet noktalarında da yerel burkulmalar oluşabilir.

Yapılan deneysel çalışmada, Şekil 45'teki B4 kirişinde de gösterildiği gibi dairesel kesitli İBÇE kirişlerde yükleme noktalarında ve mesnet noktalarında yerel burkulmalar oluşmuştur.



(a)



(b)

Şekil 45. Dairesel kesitli İBÇE kirişte oluşan yerel burkulmalar, (a) yük noktası, (b) mesnet noktası

Bu tez çalışmasında, İBÇE kirişlerin aksine dairesel kesitli BDKE kirişlerde yük ve mesnet noktalarında yerel burkulmalar oluşmamıştır. Böylelikle, İBÇE kirişlerde oluşan yerel burkulmaların, dolgu olarak kullanılan beton tarafından önlediği deneysel olarak kanıtlanmıştır. B1 – B2 – B3 adlı BDKE kirişlerin yükleme kalktıktan sonraki durumları Şekil 46'da gösterilmiştir.



Şekil 46. Dairesel kesitli BDKE kirişlerin deney sonrası durumları

Yapılan deneysel çalışmada, dikdörtgen kesitli D4 İBÇE kirişinde, dairesel kesitli İBÇE kirişin aksine mesnet noktalarında yerel burkulmalar oluşmazken, yükleme noktalarında yerel burkulmalar oluşmuştur (Şekil 47).



Şekil 47. Dikdörtgen kesitli İBÇE kirişte oluşan yerel burkulmalar

Dikdörtgen kesitli BDKE kirişler de yük ve mesnet noktalarında yerel burkulmalar oluşmamıştır. Böylelikle, İBÇE kirişlerde oluşan yerel burkulmaların, dolgu olarak kullanılan beton tarafından önlediği deneysel olarak kanıtlanmıştır. D1 – D2 – D3 adlı BDKE kirişlerin yükleme kalktıktan sonraki durumları Şekil 48’de gösterilmiştir.



Şekil 48. Dikdörtgen kesitli BDKE kirişlerin deney sonrası durumları

Kare kesitli K4 İBÇE kirişinde, dikdörtgen kesitli İBÇE kirişte görüldüğü gibi mesnet noktalarında yerel burkulmalar oluşmazken, yükleme noktalarında yerel burkulmalar oluşmuştur (Şekil 49).



Şekil 49. Kare kesitli İBÇE kirişte oluşan yerel burkulmalar

Kare kesitli BDKE kirişler de yük ve mesnet noktalarında yerel burkulmalar oluşmamıştır. Böylelikle, İBÇE kirişlerde oluşan yerel burkulmaların, dolgu olarak kullanılan beton tarafından önlediği deneysel olarak kanıtlanmıştır. D1 – D2 – D3 adlı BDKE kirişlerin yükleme kalktıktan sonraki durumları Şekil 50’de gösterilmiştir.



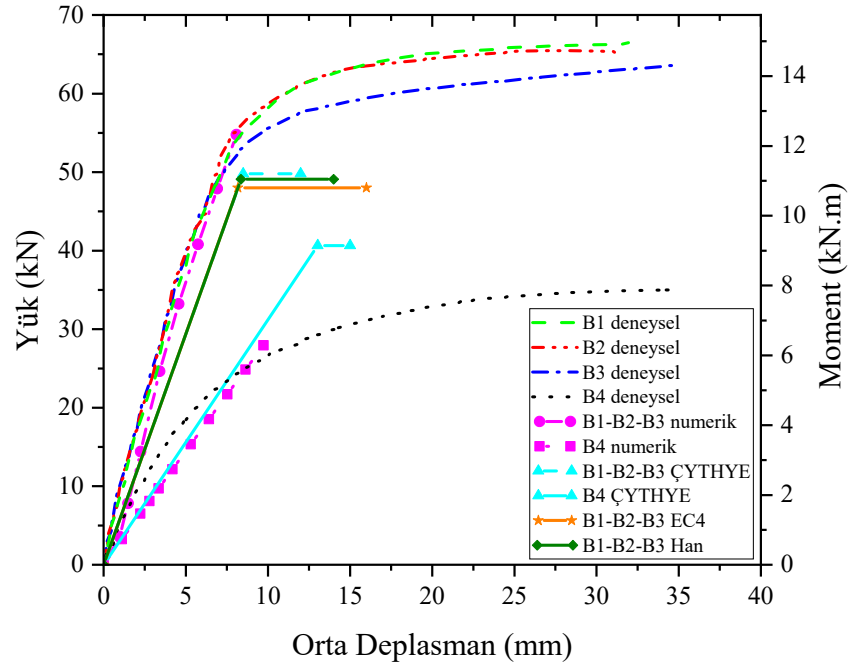
Şekil 50. Kare kesitli BDKE kirişlerin deney sonrası durumları

Dikdörtgen ve kare kesitli İBÇE kirişlerde mesnet noktalarında yerel burkulmalar görülmezken, dairesel kesitli İBÇE kirişte mesnet noktalarında da yerel burkulmalar görülmüştür. Bunun sebebi, yük noktası ile kiriş arasındaki temas yüzeyi kare ve dikdörtgen kesitli İBÇE kirişlerde daha fazla iken, dairesel kesitli kirişlerde daha azdır. Bundan dolayı gerilme artışı fazla olduğundan, dairesel kesitli İBÇE kirişlerin mesnet noktalarında yerel burkulmalar oluşmuştur. Yapılan deneysel çalışma sonucunda İBÇE kirişlerin içeri beton doldurulduğunda yerel burkulmaların önlendiği görülmüştür.

4.4. Analitik, Numerik ve Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması

4.4.1. Dairesel kesitli kirişler

Dairesel kesitli BDKE kirişler için analitik sonuçlar, deneysel sonuçlarla kıyaslandığında ÇYTHYE'nin %96,6 oranla en yakın sonucu verdiği görülmüştür. BDKE'lerin karakteristik eğilme momenti dayanımlarının hesabında EC4 ve Han yöntemi sırasıyla %95,3 ve %93,2 oranlarına ulaşmıştır. Numerik ve deneysel çalışma sonuçları birbiriyle kıyaslandığında, sonlu elemanlar analizinin deneysel sonuçlara %94 oranla yaklaştığı görülmüştür. Dairesel kesitli İBÇE kirişler için analitik ve deneysel sonuçlar kıyaslandığında, analitik sonucun deneysel sonuçlara yaklaşmadığı görülmüştür. Bunun sebebi, deney esnasında gerçekleşen yerel burkulmaların analitik hesaplamalarda göz ardı edilmesidir. Bu sonuçların aksine sonlu elemanlar analizinin deneysel çalışmaya %98,6 gibi bir oranla yaklaştığı görülmüştür. Sonuçlar Şekil 51 ve Tablo 23'te gösterilmiştir. (Deneysel çalışmada verilen değer, B1 – B2 – B3 kirişlerinden elde edilen eğilme momenti dayanımlarının aritmetik ortalamasıdır.)



Şekil 51. Dairesel kesitli kirişlerin karşılaştırılması

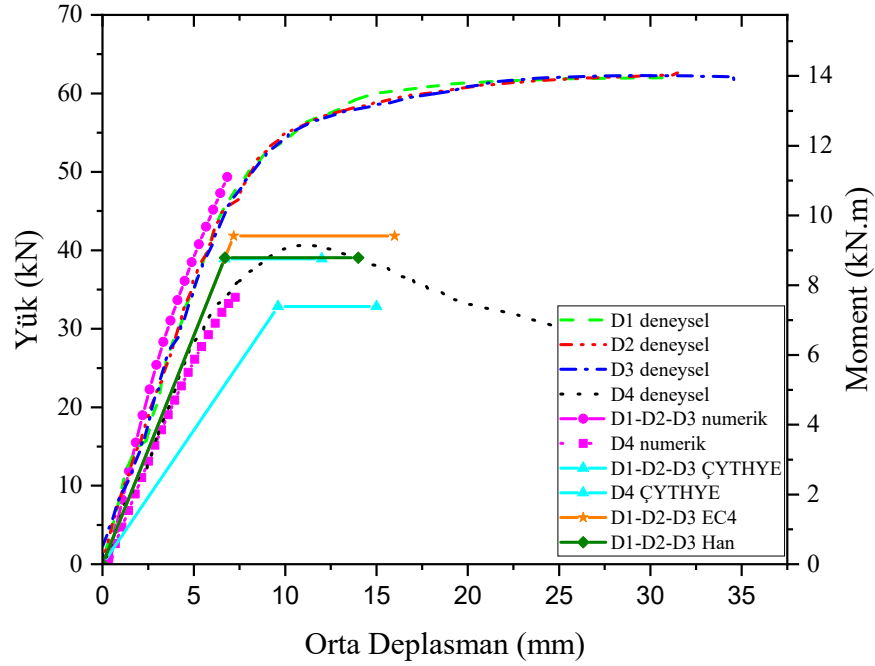
Tablo 23. Dairesel kesitli kirişlerin karşılaştırılması

Eleman Adı	ÇYTHYE (kN.m)	EC4 (kN.m)	Han (kN.m)	Numerik (kN.m)	Deneysel (kN.m)
B1 – B2 – B3	11,20	11,05	10,8	12,32	11,59
B4	9,14	-	-	6,29	6,38

4.4.2. Dikdörtgen kesitli kirişler

Dikdörtgen kesitli BDKE kirişler için analitik sonuçlar, deneysel sonuçlarla kıyaslandığında ÇYTHYE'nin %83,3 oranla en uzak sonucu verdiği görülmüştür. BDKE'lerin karakteristik eğilme momenti dayanımlarının hesabında EC4 ise %83,6 oran ile ÇYTHYE'ye benzer şekilde uzak bir sonuç verirken Han yöntemi yaklaşık %89,5 oranla en yakın sonuca ulaşmıştır. Numerik ve deneysel çalışma sonuçları birbiriyle kıyaslandığında, numerik sonuçlar dairesel kesitli BDKE'ler gibi deneysel sonuçlardan daha yukarıda çıkmamış ancak deneysel sonuçlara %94,7 oranla yaklaştığı görülmüştür. Dikdörtgen kesitli İBÇE kirişler için analitik ve deneysel sonuçlar kıyaslandığında, analitik sonuçların deneysel sonuçlara %98,1 oranıyla yaklaştığı görülmüştür. Dairesel kesitli İBÇE'lerde görüldüğü gibi sonuçların uzak çıkmamasının sebebi, deney esnasında

gerçekleşen yerel burkulmaların, akma noktasına kadar, dikdörtgen kesitli İBÇE kirişlerde, dairesel kesitli İBÇE'lerin aksine fazla gözükmemesidir. Sonlu elemanlar analizinin deneysel çalışmaya %98,3 gibi bir oranla yaklaştığı görülmüştür. Sonuçlar Şekil 52 ve Tablo 24'te gösterilmiştir. (Deneysel çalışmada verilen değer, D1 – D2 – D3 kirişlerinden elde edilen eğilme momenti dayanımlarının aritmetik ortalamasıdır.)



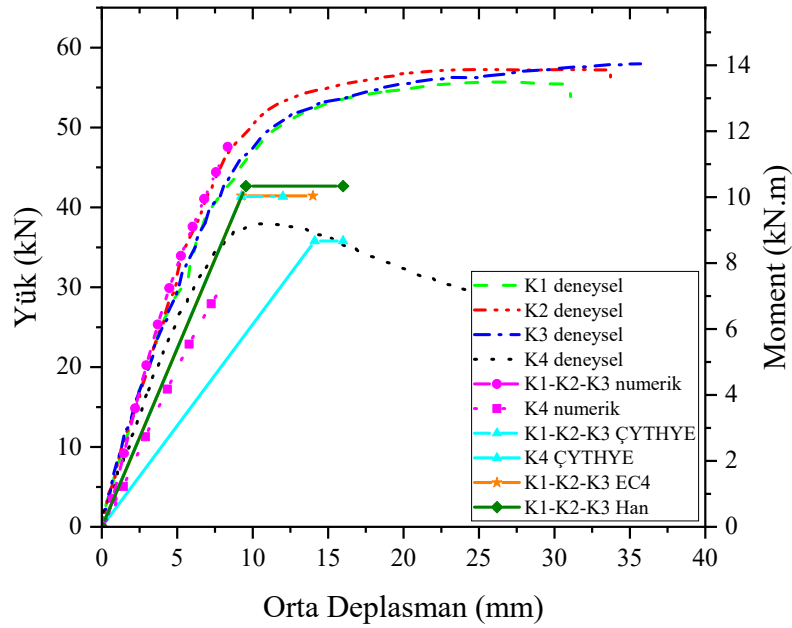
Şekil 52. Dikdörtgen kesitli kirişlerin karşılaştırılması

Tablo 24. Dikdörtgen kesitli kirişlerin karşılaştırılması

Eleman Adı	ÇYTHYE (kN.m)	EC4 (kN.m)	Han (kN.m)	Numerik (kN.m)	Deneysel (kN.m)
D1 – D2 – D3	8,76	8,79	9,41	11,10	10,51
D4	7,39	-	-	7,66	7,53

4.4.3. Kare kesitli kirişler

Kare kesitli BDKE kirişler için analitik sonuçlar, deneysel sonuçlarla kıyaslandığında ÇYTHYE'nin %86,9 oranla en uzak sonucu verdiği görülmüştür. BDKE'lerin karakteristik eğilme momenti dayanımlarının hesabında EC4 ise %87,1 oran ile ÇYTHYE'ye benzer şekilde uzak bir sonuç verirken Han yöntemi dikdörtgen kesitli BDKE'lere benzer şekilde %89,6 oranla en yakın sonuca ulaşmıştır. Numerik ve deneysel çalışma sonuçları birbiriyle kıyaslandığında, numerik sonuçlar deneysel sonuçlara %100 oranla yaklaştığı görülmüştür. Kare kesitli İBÇE kirişler için analitik ve deneysel sonuçlar kıyaslandığında, analitik sonuçların deneysel sonuçlara %83,5 oranıyla yaklaştığı görülmüştür. Sonlu elemanlar analizinin, deneysel çalışmaya %99,3 gibi bir oranla yaklaştığı görülmüştür. Sonuçlar Şekil 53 ve Tablo 25'te gösterilmiştir. (Deneysel çalışmada verilen değer, K1 – K2 – K3 kirişlerinden elde edilen eğilme momenti dayanımlarının aritmetik ortalamasıdır.)



Şekil 53. Kare kesitli kirişlerin karşılaştırılması

Tablo 25. Kare kesitli kirişlerin karşılaştırılması

Eleman Adı	ÇYTHYE (kN.m)	EC4 (kN.m)	Han (kN.m)	Numerik (kN.m)	Deneysel (kN.m)
K1 – K2 – K3	9,31	9,33	9,60	10,71	10,71
K4	8,05	-	-	6,77	6,72

Yukarıda bahsedilen elde edilen bütün sonuçlar kıyaslandığında dairesel kesitli BDKE kirişler için ÇYTHYE, EC4 ve Han yönteminin, karakteristik eğilme momenti hesabında deneysel sonuçlara çok yaklaştığı görülmüştür. Dikdörtgen ve kare kesitli BDKE kirişler için, dairesel kesitli BDKE'ler gibi standart ve yöntemlerin yakın sonuçlar verdiği ve her zaman güvenilir tarafta kaldığı görülmüştür. Deneysel ve numerik sonuçlar kıyaslandığında, akma noktasına kadar sonlu elemanlar analizinin BDKE kirişler için çok yakın ve güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

4.4.4. Aynı çelik kesit alanına sahip İBÇE ve BDKE kirişler

Tablo 26’da özetlenen aynı çelik kesit alanına sahip İBÇE kirişlerin deneysel sonuçları kendi aralarında kıyaslandığında, kare ve dairesel kesitli İBÇE kirişlerin malzemesine göre daha düşük akma dayanımına sahip olan dikdörtgen kesitli İBÇE kiriş, en yüksek eğilme momenti dayanımına sahiptir. Bunun nedeni dikdörtgen kesitli İBÇE kirişin, dairesel kesitli İBÇE kirişe göre daha düşük atalet momentine sahip olmasına rağmen, daha az yerel burkulmaya uğramasıdır. BDKE kirişlerin deneysel sonuçları kendi aralarında kıyaslandığında, dairesel kesitli BDKE kiriş, diğer kirişlere göre daha yüksek eğilme momentine sahiptir. Bunun sebebi, yerel burkulmaların beton sayesinde önlenmesi ve atalet momentinin diğer elemanlardan fazla olmasıdır. Atalet momenti kare kesitli BDKE elemana göre daha yüksek olmasına rağmen dikdörtgen kesitli BDKE kiriş, kare kesitli BDKE kirişe göre daha düşük eğilme momenti dayanımına sahiptir. Bunun sebebi, dikdörtgen kesitli BDKE kirişin daha düşük akma dayanımına sahip olması olabilir.

Tablo 26. İBÇE ve BDKE kirişlerin analitik, numerik ve deneysel sonuçları

Eleman Adı	ÇYTHYE (kN.m)	EC4 (kN.m)	Han (kN.m)	Numerik (kN.m)	Deneysel (kN.m)
B1 – B2 – B3	11,20	11,05	10,8	12,32	11,59
B4	9,14	-	-	6,29	6,38
D1 – D2 – D3	8,76	8,79	9,41	11,10	10,51
D4	7,39	-	-	7,66	7,53
K1 – K2 – K3	9,31	9,33	9,60	10,71	10,71
K4	8,05	-	-	6,77	6,72

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında aynı çelik kesit alanına ve aynı et kalınlığına sahip dairesel kesitli, dikdörtgen kesitli ve kare kesitli beton dolgulu kompozit kirişler ve içi boş çelik kirişler, analitik, numerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu tez çalışması için sınırlı sayıda deney elemanının test edilmesinden elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- İçi boş çelik kirişlere yük uygulandığında kare kesitli ve dikdörtgen kesitli kirişlerin yük noktaları altında yerel burkulmalara uğradığı gözlenmiştir. Dairesel kesitli çelik kirişlerde ise sadece yük noktaları altında değil aynı zamanda mesnet noktalarında da yerel burkulmaların oluştuğu gözlenmiştir.
- Yapılan analitik, numerik ve deneysel çalışmalar sonucunda içi beton dolgulu kompozit kirişlerin, içi boş çelik kirişlere göre daha yüksek eğilme momenti dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Bundan dolayı BDKE kirişlerde çeliğin akması İBÇE kirişlere göre daha geç gerçekleşmektedir.
- Dairesel kesitli BDKE kirişler için deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar, ülkemizde yürürlükte olan ÇYTHYE ile, uluslararası standartlardan olan EC4 ile ve Han tarafından geliştirilen yöntemle kıyaslandığında ÇYTHYE'nin %96,6, EC4'ün %95,3 ve Han yönteminin %93,2 oranda deneysel sonuçlara yaklaştığı gözlenmiştir.
- Dairesel kesitli İBÇE kirişler, numerik analiz sonuçlarıyla kıyaslandığında %98,6 ve dairesel kesitli BDKE kirişler, numerik analiz sonuçlarıyla karşılaştırıldığında %94 oranda yaklaştığı gözlenmiştir.
- Dikdörtgen kesitli BDKE kirişler için deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar, ÇYTHYE, EC4 ve Han yöntemiyle kıyaslandığında ÇYTHYE'nin %83,3, EC4'ün %83,6 ve Han yönteminin %89,5 oranda deneysel sonuçlara yaklaştığı gözlenmiştir.
- Dikdörtgen kesitli İBÇE kirişler, numerik analiz sonuçlarıyla kıyaslandığında %98,3 ve dikdörtgen kesitli BDKE kirişler, numerik analiz sonuçlarıyla karşılaştırıldığında %94,7 oranda yaklaştığı görülmüştür. Dikdörtgen kesitli İBÇE

kirişlerin analitik ve deneysel sonuçları kıyaslandığında %98,1 oranında yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır.

- Kare kesitli BDKE kirişler için deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırıldığında ÇYTHYE'nin %86,9, EC4'ün %87,1 ve Han yönteminin %89,6 oranla yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
- Kare kesitli İBÇE kirişler için deneysel ve numerik sonuçlar kıyaslandığında %99,3 oranda yakın çıktığı, kare kesitli BDKE kirişler için deneysel ve numerik sonuçların %100 oranda tuttuğu gözlenmiştir.
- Aynı çelik kesit alanına sahip BDKE kirişler kendi aralarında kıyaslandığında en yüksek eğilme momenti dayanımının dairesel kesitli BDKE kirişlerde olduğu gözlenmiştir.
- Tüm kirişlerin ANSYS Workbench yazılımında, elastik bölge için, analizlerinin doğru sonuç verdiği görülmüştür.

İleriki çalışmalarda verilerin farklı parametreler kullanılarak çalışmanın çeşitlendirilmesi önem arz etmektedir.

- Malzemenin plastik bölgeleri ANSYS Workbench yazılımında tanımlanabilir.
- Farklı et kalınlığında ve farklı D/t ve B/t oranlarında kirişler seçilerek deneysel çalışmanın çeşitliliği artırılabilir.
- Dolgu elemanı olarak farklı dayanım değerlerine sahip beton kullanılabilir.
- Bu çalışmanın kapsamı, tersinir – tekrarlanır yükler altında deneyler, eksenel ve eğilme etkisinin birlikte uygulandığı deneyler yapılarak genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- Abed, F. H., Abdelmageed, Y. I. ve Kerim Ilgun, A. (2018). Flexural response of concrete-filled seamless steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 149, 53–63.
- Aghayere, A. O. ve Vigil, J. (2008). *Structural Steel Design, A Practice-Oriented Approach*. New York: Pearson.
- Al-Ani, Y. R. (2018). Finite element study to address the axial capacity of the circular concrete-filled steel tubular stub columns. *Thin-Walled Structures*, 126, 2–15.
- Altunışık, A. C., Günaydın, M., Genç, A. F. ve Okur, F. Y. (2018). *İnşaat Mühendisliğinde Ansys Uygulamaları*. Trabzon, Türkiye.
- Amerika Federal Adliyesi. (2019). Erişim adresi: <http://www.uscourts.gov>. Erişim tarihi: 6 Aralık 2019.
- Ansys Workbench. (1970). Erişim adresi: www.ansys.com. Erişim tarihi: 12 Aralık 2019.
- Arda, T. S. ve Yardımcı, N. (2000). *Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı* (1. bs.). İstanbul, Türkiye: Birsen Yayın Evi.
- Arivalagan, S. ve Kandasamy, S. (2010). Finite Element Analysis on the Flexural Behaviour of Concrete Filled Steel Tube Beams. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 48(2), 505–516.
- Caiyuanba Yangtze Köprüsü. (2019). Erişim adresi: https://www.tylin.com/en/projects/caiyuanba_yangtze_river_bridge. Erişim tarihi: 6 Aralık 2019.
- Chen, Y., Feng, R. ve Gong, W. (2018). Flexural behavior of concrete-filled aluminum alloy circular hollow section tubes. *Construction and Building Materials*, 165, 173–186.
- ÇYTHYE (2018). *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Türkiye.

- Elchalakani, M., Zhao, X. L. ve Grzebieta, R. H. (2001). Concrete-filled circular steel tubes subjected to pure bending. *Journal of Constructional Steel Research*, 57(11), 1141–1168.
- Ersoy, U., Özcebe, G. ve Canbay, E. (2019). *Betonarme I* (9. bs.). İstanbul, Türkiye: Evrim Yayınları.
- Gho, W. M. ve Liu, D. (2004). Flexural behaviour of high-strength rectangular concrete-filled steel hollow sections. *Journal of Constructional Steel Research*, 60(11), 1681–1696.
- Teknik Destek Grubu. (2020). Erişim adresi: <https://tdg.com.tr>. Erişim tarihi: 10 Ağustos 2020.
- 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. ve Bjorhovde, R. (2014). Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members. *Journal of Constructional Steel Research*, 100, 211–228.
- Han, L. H., Lu, H., Yao, G. H. ve Liao, F. Y. (2006). Further study on the flexural behaviour of concrete-filled steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(6), 554–565.
- Han, L. H., Xu, W., He, S. H. ve Tao, Z. (2015). Flexural behaviour of concrete filled steel tubular (CFST) chord to hollow tubular brace truss: Experiments. *Journal of Constructional Steel Research*, 109, 137–151.
- Hassanein, M. F., Kharoob, O. F. ve Taman, M. H. (2017). Experimental investigation of cementitious material-filled square thin-walled steel beams. *Thin-Walled Structures*, 114(August 2016), 134–143.
- Kadioğlu, N., Engin, H. ve Bakioğlu, M. (1989). *Mukavemet Problemleri Cilt 2*. İstanbul, Türkiye: Beta Basın Yayım Dağıtım A.Ş.
- Li, G., Liu, D., Yang, Z. ve Zhang, C. (2017). Flexural behavior of high strength concrete filled high strength square steel tube. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 732–744.

- Liang, Q. Q. ve Fragomeni, S. (2010). Nonlinear analysis of circular concrete-filled steel tubular short columns under eccentric loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 66(2), 159–169.
- Lu, Y. Q. ve Kennedy, D. J. L. (1994). Flexural behaviour of concrete-filled hollow structural sections. *Canadian journal of civil engineering*, 21(1), 111–130.
- Moon, J., Kim, J. J., Lee, T. H. ve Lee, H. E. (2014). Prediction of axial load capacity of stub circular concrete-filled steel tube using fuzzy logic. *Journal of Constructional Steel Research*, 101, 184–191.
- Nakanishi, K., Kitada, T. ve Hiroshi, N. (1999). Experimental study on ultimate strength and ductility of concrete filled steel columns under strong earthquake. *Journal of Constructional Steel Research*, 51, 297–319.
- Ovalı, İ. ve Esen, C. (2017). *Ansys Workbench*. İstanbul, Türkiye: KODLAB.
- Ren, Q. X., Han, L. H., Lam, D. ve Li, W. (2014). Tests on elliptical concrete filled steel tubular (CFST) beams and columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 99, 149–160.
- Sancioğlu, S., İlgün, A., Çarbaş, S. ve Akın, S. K. (2019). Beton Dolgulu Çelik Kirişlerin Eğilme Etkisinin Analitik Olarak İncelenmesi. 8. *Uluslararası Çelik Yapılar Sempozyumu* içinde (ss. 416–421). Konya, Türkiye.
- Shah, D., Vakil, M. D. ve Patel, M. N. (2014). Parametric Study of Concrete Filled Steel Tube Column, 2(2), 1678–1682.
- SpaceClaim. (2007). Massachusetts: SpaceClaim Corporation. Erişim adresi: <http://www.spaceclaim.com/en/default.aspx>. Erişim tarihi: 06 Aralık 2019.
- Thai, S., Thai, H. T., Uy, B. ve Ngo, T. (2019). Concrete-filled steel tubular columns: Test database, design and calibration. *Journal of Constructional Steel Research*, 157, 161–181.
- 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.
- TS EN ISO 6892-1 (2020). TS EN ISO 6892-1 Metalik malzemeler - Çekme deneyi - Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, Türkiye.
- Wang, R., Han, L.-H., Nie, J.-G. ve Zhao, X.-L. (2014). Flexural performance of rectangular CFST members. *Thin-Walled Structures*, 79, 1–19.
- Xu, W., Han, L. H. ve Li, W. (2016). Performance of hexagonal CFST members under axial compression and bending. *Journal of Constructional Steel Research*, 123, 162–175.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sadrettin SANCIOĞLU
Doğum Yeri – Tarihi : Konya – 02.07.1994
E-Posta Adresi : sadrettin.sancioğlu@karatay.edu.tr

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : 2017, KTO Karatay Üni., Müh. Fak. İnş. Müh. Böl.
Yüksek Lisans Öğrenimi : 2020, KTO Karatay Üni. Fen Bil. Ens. İnş. Müh. ABD
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

Yayınlar

- **Sancioğlu, S.,** Ilgun, A., (2018), “Hangar Tipi Çelik Endüstri Yapılarında Optimum Çerçevenin Belirlenmesi”, *International Conference on Science and Technology 2018 – ICONST2018, (430-437), 5-9 Eylül 2018, Prizren, Kosova.*
- Cubukcu, A., **Sancioğlu, S.,** Demir, V., Sevimli, M.F., (2019), “Sea Water Level Estimation Using Six Different Artificial Neural Networks Training Algorithm”, *International Civil Engineering and Architecture Conference 2019 – ICEARC2019, (716-725), 17-20 Nisan 2019, Trabzon, Türkiye.*
- **Sancioğlu, S.,** Aribas, S., Bayram, B., Simsek, M., Carbas, S., (2019), “Çelik Bir Binada Kullanılan Çapraz Tiplerinin Deprem Etkisi Altında Analizi”, *8. Uluslararası Çelik Yapılar Sempozyumu, (422-430), 24-26 Ekim 2019, Konya, Türkiye.*
- **Sancioğlu, S.,** Ilgun, A., Carbas, S., Akin, S.K., (2019), “Beton Dolgulu Çelik Kirişlerin Eğilme Etkisinin Analitik Olarak İncelenmesi”, *8. Uluslararası Çelik Yapılar Sempozyumu, (416-421), 24-26 Ekim 2019, Konya, Türkiye.*
- **Sancioğlu, S.,** Uray, E., Erkan, I.H., (2019), “Taguchi Metodu ile Endüstriyel Çelik Yapıların Tasarım Kriterlerinin Araştırılması”, *8. Uluslararası Çelik Yapılar Sempozyumu, (440-448), 24-26 Ekim 2019, Konya, Türkiye.*
- Bayram B., **Sancioğlu S.,** Çarbas S., (2019), “Çelik Bir Yapıda Dışmerkez Diyagonal Çaprazların Etkisi”, *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 1(1), (128-145). (Kontrol No: 5606895)*
- Aribas S., **Sancioğlu S.,** Carbas, S., (2019), “Dışmerkez V Çaprazların Çelik Bir Yapı Üzerinde İncelenmesi” *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 1(1), (79-97). (Kontrol No: 5606627)*

- Uray, E., **Sancioglu, S.**, Erdem, D., Cubukcu, A., (2016), "Çimento ile Stabilizasyonda Optimum Çimento Oranının Belirlenmesi", *1. Ulusal Genç Geoteknik Mühendisleri Sempozyumu, (145-152), 12 Ekim 2016, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.*
- Ilgun, A., Can H., Bayram, B., Aribas, S., Zia, A.J., **Sancioglu, S.**, (2019), "Eksenel Yük Etkisi Altında İnce Cidarlı Çelik Kolonların Deneysel Olarak İncelenmesi", *7. Yapı Mekaniği Laboratuvarları Çalıştayı, (187-192), 4-5 Ekim 2019, Konya, Türkiye.*
- **Sancioglu, S.**, Bayram, B., Carbas, S., (2019), "Dışmerkez Diyagonal Çaprazların Sismik Yükler Altında Çelik Yapılara Etkisi", *1. Ulusal Mühendislik ve Teknoloji Kongresi, (8), 17-19 Ekim 2019, Karaman, Türkiye.*
- **Sancioglu, S.**, Simsek, M., Carbas, S., (2019), "TDBY 2018'e Göre Dış Merkez Çaprazlı Yüksek Süneklikli Moment Aktaran Çelik Çerçevelerde Düşey Deprem Etkisi", *1. Ulusal Mühendislik ve Teknoloji Kongresi, (7), 17-19 Ekim 2019, Karaman, Türkiye.*
- **Sancioglu, S.**, Aribas, S., Carbas, S., (2019), "Moment Aktaran Çelik Çerçevesel Yapılarda Dışmerkez Çaprazların TBDY2018'e Göre İncelenmesi", *1. Ulusal Mühendislik ve Teknoloji Kongresi, (10), 17-19 Ekim 2019, Karaman, Türkiye.*

Diğer Faaliyetler

- Ulusal Yapı Mekaniği Laboratuvarları Çalıştayı – Yerel Yürütme Kurulu Üyesi
- 8. Uluslararası Çelik Yapılar Sempozyumu – Düzenleme Kurulu Üyesi

İŞ DENEYİMİ

Stajlar

:

- 2012, Stajyer Teknisyen, İnova Müh. Mak. Dan. San. Tic. Ltd. Şti.
- 2015, Stajyer Mühendis, Adem Bulut İnşaat
- 2016, Stajyer Mühendis, KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı

Çalıştığı Kurumlar

:

- 2015 – 2016, Usta Öğretici, Karatay Halk Eğitim Müdürlüğü
- 2017 – 2018, İnşaat Mühendisi, Ali Işıldar Çelik Yapı ve İnşaat San. Tic. A.Ş.
- 2018 – Devam Ediyor, Lisansüstü Proje Asistanı, KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Tarih: 28 Eylül 2020