

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

Mohammad Manzoor NASERY Tarafından Hazırlanan

**KOMPOZİT KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN TEKRARLI YÜK ETKİSİNDEKİ
DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 16 /04/2019 gün ve 1800 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Üye : Prof. Dr. Selim PUL

Üye : Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU

Üye : Prof. Dr. Sinan ALTIN

Üye : Prof. Dr. Şükrü YETGİN



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, “Kompozit Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Tekrarlı Yük Etkisindeki Davranışlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi” başlığıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Lisans ve lisansüstü eğitimim süresince, birlikte çalıştığım bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, her aşamasında beni destekleyen, daha iyi ve güzel çalışmalar için devamlı teşvik eden çok değerli hocam sayın Prof. Dr. Metin HÜSEM’e şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarımın başından beri takip eden bilgi ve deneyimlerini paylaşarak yol gösteren tez izleme komitesi hocalarım sayın Prof. Dr. Selim PUL ve sayın Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU ile değerlendirme ve önerileri ile tezimin geliştirilmesinde katkılarda bulunan jüri üyeleri hocalarım sayın Prof. Dr. Sinan ALTIN’a ve sayın Prof. Dr. Şükrü YETGİN’e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Akademik hayatım boyunca değerli bilgi ve görüşleri benimle paylaşan ve her zaman beni teşvik eden değerli hocam sayın Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’a teşekkürlerimi sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Doktora eğitimimde Yabancı Uyruklular Lisansüstü Burs Programı ile beni ödüllendiren TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı yönetimine teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Çalışma esnasında destek sağlayan Bülbüloğlu Mühendislik genel müdürü İnş. Yük. Müh. Ziya TEKER’e, İnş. Müh. Muhammed TUTKUN’a, İnş. Müh. Seydi AŞKAR’a desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Çalışma boyunca bana destek olan bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan arkadaşlarım Arş. Gör. Süleyman İstemihan COŞĞUN’a, Arş. Gör. Bayram Ali TEMEL’e, Arş. Gör. Ali Fuat GENÇ’e, Arş. Gör. Fatih Yesevi OKUR’a, Arş. Gör. Serhat DEMİR’e, İnş. Yük. Müh. Mohammad Sameer BAWEREY’e, İnş. Yük. Müh. Mohammad Tordi KARIMI’e ve İnş. Müh. Abbas JAFARI’e müteşekkir olduğumu belirtmek isterim.

Hayatım boyunca beni maddi ve manevi destekleyen Rahmetli Anneme ve Babama şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışma boyunca beni sabırla destekleyen her türlü zorluklara karşı benimle beraber mücadele eden sevgili eşim Morsal NASERY’e, minik prensesim Yusra NASERY’e ve tüm aileme en kalbi duygularıyla teşekkür eder bu çalışmanın yeni çalışmalar için ışık tutmasını temenni ederim.

Mohammad Manzoor NASERY
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Kompozit Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Tekrarlı Yık Etkisindeki Davranışlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Metin HÜSEM’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 03 / 05 / 2019

Mohammad Manzoor NASERY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	X
SUMMARY	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XXIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XXV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Kompozit Çelik-Betonarme Yapılar.....	2
1.2.1. Kompozit Döşemeler	4
1.2.2. Kompozit Kirişler	7
1.2.3. Kompozit Çelik-Betonarme Kolonlar	11
1.2.3.1. Gömme Kompozit Kolonlar	11
1.2.3.2. Kısmi Gömme Kompozit Kolonlar	13
1.2.3.3. Beton Dolgulu Kompozit Kolonlar	14
1.2.3.4. Gömme Beton Dolgulu Kompozit Kolonlar	17
1.2.4. Kompozit Kolon- Kiriş Birleşimleri.....	18
1.2.4.1. Kompozit Kolon- Çelik Kiriş Birleşimleri	19
1.2.4.2. Kompozit Kolon- Betonarme Kiriş Birleşimleri	21
1.2.4.3. Kompozit Kolon- Kompozit Kiriş Birleşimleri.....	22
1.3. Yapıların Dinamik Karakteristikleri.....	23
1.3.1. Modal Analiz	23
1.3.2. Deneysel Modal Analiz Yöntemi	25
1.4. Kompozit Kolon-Kiriş Birleşimleri ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar.....	26
1.5. Literatür Özeti, Amaç ve Kapsam	37
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	39
2.1. Deneysel Elemanları, Tasarım ve Hazırlanması	39

2.1.1.	Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Geleneksel Alın Levhalı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-A).....	42
2.1.2.	Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Kaynaklı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-B)	44
2.1.3.	Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Bulonlu Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-C)	48
2.1.4.	Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-D).....	50
2.1.5.	Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-E)	52
2.1.6.	Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-F)	55
2.1.7.	Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-G).....	57
2.1.8.	Kompozit Kolon-Rijitleştirilmiş Alın Levhalı Çelik Kiriş Birleşimli Deney Elemanı (KKB-H).....	60
2.2.	Deney Elemanların Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	62
2.2.1.	Çelik Özellikleri	62
2.2.2.	Donatı Özellikleri	66
2.2.3.	Agrega Özellikleri	68
2.2.4.	Çimento, Su ve Katkı Maddelerin Özellikleri	69
2.3.	Deney Elemanlarında Kullanılan Beton Karışımlarının Belirlenmesi	69
2.3.1.	Kompozit Kolonlarda Beton Dökümü.....	71
2.3.2.	Deney Elemanlarında Kullanılan Betonların Özellikleri.....	73
2.3.3.	Beton Numunelerin Tek Eksenli Basınç Deneyleri.....	74
2.3.4.	Beton Numunelerin Yarmada Çekme Deneyleri.....	75
2.4.	Deney Düzenegi	76
2.4.1.	Çelik Mafsal	82
2.4.2.	Rijit Kolon	83
2.4.3.	Rijit Yük Aktarma Kirişi	84
2.5.	Tekrarlı Yatay Yüklemede Ölçüm Sistemi ve Kullanılan Aletler.....	84
2.5.1.	Hidrolik Piston.....	85
2.5.2.	Yük Hücresi.....	86
2.5.3.	LPDT(Doğrusal Potansiyometrik Cetvel)	86
2.5.4.	Birim Şekildeğiştirme Ölçer (Straingauge)	87

2.5.5.	Veri Toplama Ünitesi	87
2.6.	Deney Modal Analizinde Ölçüm Sistemi ve Kullanılan Aletler.....	88
2.6.1.	İvmeölçerler.....	89
2.6.2.	Veri Toplama Ünitesi	90
2.7.	Tekrarlı Yatay Yüklemede Kullanılan Protokol.....	91
2.8.	Deney Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	91
2.8.1.	Tekrarlı Yatay Yük-Yerdeğiştirme Eğrilerin Çıkartılması.....	92
2.8.2.	Dayanım Zarf Eğrilerin Çıkartılması.....	92
2.8.3.	Rijitlik Değerlerinin Hesaplanması	92
2.8.4.	Enerji Tüketme Kapasitelerinin Hesaplanması	93
2.8.5.	Deney Modal Analizinden Dinamik Karakteristiklerin Elde Edilmesi.....	94
2.8.6.	Modal Güvence Kriteri (MGK).....	96
2.9.	Sayısal Çalışmalar	97
2.9.1.	Tekrarlı Yatay Yük Etkisi Altında Sayısal Çalışmalar.....	97
2.9.1.1.	Malzeme Modellerinin Özellikleri	97
2.9.1.2.	Modellemede Kullanılan Eleman Tipleri	101
2.9.1.3.	Sınır Şartlarının Belirlenmesi	104
2.9.1.4.	Deney Elemanlarının Modellenmesi	107
2.10.	Dinamik Karakteristiklerin Sayısal Olarak Belirlenmesine	112
2.	BULGULAR VE İRDELEMELER	115
3.1.	Giriş	115
3.2.	Deney Elemanlarının Tekrarlı Yatay Yükleme Altındaki Davranışları	116
3.2.1.	Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Geleneksel Alın Levhalı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-A).....	116
3.2.2.	Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Kaynaklı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-B)	122
3.2.3.	Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Bulonlu Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-C)	127
3.2.4.	Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-D).....	132
3.2.5.	Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-E)	137
3.2.6.	Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-F)	143

3.2.7.	Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-G).....	148
3.2.8.	Kompozit Kolon-Rijitleştirilmiş Alın Levhalı Çelik Kiriş Birleşimli Deney Elemanı (KKB-H).....	153
3.3.	DeneySEL Bulguların Karşılaştırılmalı Olarak İrdelenmesi	158
3.3.1.	Yük Taşıma Kapasiteleri	158
3.3.2.	Rijitliklerin Değerlendirilmesi.....	163
3.3.3.	Enerji Tüketme Kapasitelerinin Değerlendirilmesi	166
3.4.	DeneySEL ve Sayısal Bulguların Karşılaştırılmalı Olarak İrdelenmesi	169
3.4.1.	Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Geleneksel Alın Levhalı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-A).....	169
3.4.2.	Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Kaynaklı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-B)	172
3.4.3.	Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Bulonlu Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-C)	174
3.4.4.	Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-D).....	177
3.4.5.	Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-E)	179
3.4.6.	Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-F)	182
3.4.7.	Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-G).....	184
3.4.8.	Kompozit Kolon-Rijitleştirilmiş Alın Levhalı Çelik Kiriş Birleşimli Deney Elemanı (KKB-H).....	187
3.5.	DeneySEL ve Sayısal Olarak Elde Edilen Dinamik Karakteristiklerin Karşılaştırılmalı Olarak İrdelenmesi	191
3.5.1.	Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Geleneksel Alın Levhalı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-A).....	191
3.5.2.	Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Kaynaklı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-B)	197
3.5.3.	Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Bulonlu Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-C)	202
3.5.4.	Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-D).....	208
3.5.5.	Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-E)	213

3.5.6.	Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-F)	218
3.5.7.	Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-G).....	224
3.5.8.	Kompozit Kolon-Rijitleştirilmiş Alın Levhalı Çelik Kiriş Birleşimli Deney Elemanı (KKB-H).....	229
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	235
5.	KAYNAKLAR.....	239
ÖZGEÇMİŞ		



Doktora Tezi

ÖZET

KOMPOZİT KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN TEKRARLI YÜK ETKİSİNDEKİ
DAVRANIŞLARININ DENEYSSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Mohammad Manzoor NASERY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Metin HÜSEM
2019, 252 Sayfa

Bu tez çalışmasında, sekiz farklı gömme kompozit kolon-çelik kiriş birleşim tipinin davranışları tekrarlı yatay yük etkisi altında deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. İncelenen kompozit kolon-kiriş birleşim tiplerinden, çelik yapılar için literatürde mevcut olan dört birleşim tipine ilave olarak dört yeni birleşim tipi geliştirilmiş ve kompozit elemanlara uygulanmıştır. Geliştirilen bu yeni birleşimlerin yüksek rijitliğe ve enerji tüketme kapasitesine sahip olmasıyla beraber yapım ve montajının kolay olması amaçlanmıştır. Ayrıca, incelenen kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgelerinin, dinamik karakteristikleri olan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranları deneysel ve sayısal olarak belirlenmiştir. Bu amaçla hazırlanan sekiz adet ölçekli gömme kompozit kolon ve çelik kirişe sahip deney elemanları üretilmiştir. FEMA 461 yükleme protokolüne göre deney elemanları tekrarlı yatay yükleme deneylerine tabi tutulmuştur. Sayısal çalışmada tüm deney elemanların sonlu elemanlar modelleri oluşturularak doğrusal olmayan analiz yöntemiyle ABAQUS programında analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her bir deney elemanın dinamik karakteristiklerini elde etmek amacıyla deney elemanların hasarsız ve hasarlı durumları için Deneysel Modal Analiz ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonunda, geliştirilen geçmeli kirişli kompozit kolon-çelik kiriş birleşim detayı, kaynaklı (KKB-B), bulonlu (KKB-C), tek guseli (KKB-F) ve çift guseli (KKB-G) olması durumunda, tekrarlı yatay yük etkisinde, kararlı davranış göstererek birleşim bölgesi göçmesi oluşmamıştır. Dolayısıyla geçmeli kirişli kolon-çelik kiriş birleşim detayı güçlü birleşim performansını göstermiştir. Fabrikasyon imalatı ve montaj kolaylığını da sağlayan geçmeli kirişli birleşim detayı, depreme dayanıklı ve yüksek katlı yapılarda güvenli kullanım koşulunu sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gömme Kompozit Kolon, Kolon-Kiriş Birleşimi, Tekrarlı Yatay Yükleme, Geçmeli Kiriş, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Deneysel Modal Analiz,

PhD Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION THE PERFORMANCES OF COMPOSITE COLUMN-BEAM
CONNECTIONS UNDER CYCLIC LOADING, EXPERIMENTALLY AND THEORICALLY

Mohammad Manzoor NASERY

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Metin HÜSEM
2019, 252 Pages

In this thesis, the behavior of eight different types of concrete encased composite column-beam connections under cyclic loading have been investigated experimentally and numerically. Eight type of connections four of which were newly developed and four of which are currently used in steel structures have been applied to composite elements. The newly developed joints are expected to have high stiffness as well as good energy absorption capacities. In addition, construction work and assembly of these new connections should be easy. Furthermore, dynamic characteristics such as natural frequencies, mod shapes and damping ratios have been calculated experimentally and numerically. For this purpose, eight scaled specimens have been constructed and tested under cyclic loading. FEMA 461 loading protocol was used in lateral cyclic loadings. As for numerical study, finite elements models of all samples were developed and analyzed with ABAQUS program using nonlinear methods. Additionally, in order to determine the dynamic characteristics of each element, Experimental Modal Analysis tests have been conducted to the undamaged and damaged conditions of the samples.

Finally, the developed new type composite column-steel beam connections, which were applied in bolted form (KKB-C), welded form (KKB_B), onside haunch form (KKB-F) and double side haunch forms (KKB-G), have shown favorable performance under lateral cyclic loading tests and there were not any joint failure in these new trough beam connections. Taking this into consideration, composite column-trough steel beam connections have shown stronger joint performances. Thus, with the ease of construction and assembly these new kinds of connection are recommended to use in high rise and earthquake resistant structures.

Key Words: Concrete Encased Composite Column, Column-Beam Connection, Cyclic Loading, Through Beam, Finite Element Method, Experimental Modal Analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Kompozit kolonun en kesit detayı.....	3
Şekil 1.2. Kompozit döşeme detayı.....	5
Şekil 1.3. Kompozit döşemenin geometrik koşulları	6
Şekil 1.4. Kayma elemanın uygulama şekli	7
Şekil 1.5. Kompozit kirişin en kesit şekilleri	7
Şekil 1.6. Kompozit kirişe kayma bağlantı elemanının etkileri (a) kayma bağlantı elemanı olmayan kiriş, (b) tam kayma bağlantı elemanı olan ve (c) kısmi kayma bağlantı elemanına sahip kompozit kiriş	9
Şekil 1.7. Gömme ve kısmi gömme kompozit kiriş enkesit detayları.....	9
Şekil 1.8. Gömme ve kısmi gömme kompozit kirişe imalatları	10
Şekil 1.9. Kompozit kirişte pozitif eğilme momenti için genel plastik gerilme yayılımı	10
Şekil 1.10. Gömme kompozit kolon enkesit detayları	11
Şekil 1.11. Gömme kompozit kolon imalat detayı	12
Şekil 1.12. Kısmi gömme kompozit kolon enkesit ve imalat detayı.....	13
Şekil 1.13. Kısmi gömme kompozit kolon enkesit detayı.....	14
Şekil 1.14. Kısmi gömme kompozit kolonlu yapı	14
Şekil 1.15. Beton dolgulu kompozit kolon enkesit detaylar.....	15
Şekil 1.16. Çelik profilin içi beton doldurulmuş kompozit kolon imalat detayı	15
Şekil 1.17. Kompozit kirişte pozitif eğilme momenti için genel plastik gerilme yayılımı	16
Şekil 1.18. Gömme beton dolgulu kompozit kolonlar	17
Şekil 1.19. Güçlü kolon zayıf kiriş ilişkisi	18
Şekil 1.20. Kompozit kolon kiriş birleşim bölgesinin detayı	19
Şekil 1.21. Kompozit kolon kiriş birleşim bölgesinin detayı	20
Şekil 1.22. Beton dolgulu kompozit kolon-guseli çelik kiriş birleşim bölgesinin kırılma şekli	21
Şekil 1.23. Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşimindeki halka kiriş.....	22
Şekil 1.24. Gömme kompozit kiriş-beton dolgulu kompozit kolon birleşim detayı ve deney sonrası oluşan kırılma şekilleri	22
Şekil 1.25. Betonarme-çelik kompozit kolon-çelik kiriş birleşim detayı.....	26
Şekil 1.26. Beton dolgulu kompozit kolon-betonarme kiriş için önerilen geçiş elemanı	27

Şekil 1.27.	Kompozit kolon- kiriş birleşim detayları (a) içten diyaframlı (b) dıştan diyaframlı ve (c) geçmeli diyaframlı.....	28
Şekil 1.28.	Kompozit kolon kiriş birleşim deney düzeneği.....	29
Şekil 1.29.	Kompozit kolon–betonarme kiriş için geliştirilen birleşim bölgesinin geçiş elemanının detayı	29
Şekil 1.30.	Kompozit kolon-kompozit kiriş için önerilen iç diyaframlı birleşim elemanı	30
Şekil 1.31.	Kesme aktaran kompozit kolon kiriş birleşim tipi (Yang vd., 2015).....	31
Şekil 1.32.	Kompozit kolon-kompozite kiriş için önerilen iç diyaframlı birleşim elemanı	31
Şekil 1.33.	Kompozit kolon–betonarme kirişli çerçeve deney elemanı	32
Şekil 1.34.	..Kompozit kolon-kompozit kiriş birleşimi için önerilen iç diyaframlı birleşim elemanı	32
Şekil 1.35.	Kompozit kolon-betonarme kiriş için önerilen iç diyaframlı birleşim elemanı	33
Şekil 1.36.	Kompozit kolon-betonarme kiriş için önerilen iç diyaframlı birleşim elemanı	34
Şekil 1.37.	Beton dolgulu kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgesinin kırılma şekli (a) sayısal modelde (b) deney elmanın	34
Şekil 1.38.	Gömme kompozit kiriş-beton dolgulu kompozit kolon birleşim detayı ve deney sonrası oluşan kırılma şekilleri	35
Şekil 1.39.	Kompozit kolon-gömme kompozit kiriş birleşim detayı ve deney sonrası oluşan kırılma şekilleri	36
Şekil 2.1.	Örnek bir deney elemanına ait boyutlar, boykesit ve enkesit detayları	40
Şekil 2.2.	KKB-A deney elemanını oluşturan bileşenler	42
Şekil 2.3.	KKB-A birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görüşleri.....	43
Şekil 2.4.	KKB-A elemanına ait imalat görünümleri	43
Şekil 2.5.	Geleneksel çelik çerçevelerde (a) tek katlı, (b) iki katlı ve (c) üç katlı yapım aşamaları ile kolon-kiriş birleşim detayı	44
Şekil 2.6.	. Tasarlanan geçmeli kiriş çerçevelerde (a) tek katlı, (b) iki katlı ve (c) üç katlı yapım aşamaları ile kolon-kiriş birleşim detayı	45
Şekil 2.7.	KKB-B deney elemanını oluşturan bileşenler.....	46
Şekil 2.8.	KKB-B birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görüşleri.....	46
Şekil 2.9.	KKB-B elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları.....	47
Şekil 2.10.	KKB-B elemanına ait imalat görünümleri	47
Şekil 2.11	KKB-C deney elemanını oluşturan bileşenler.....	48
Şekil 2.12.	KKB-C birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görüşleri.....	48

Şekil 2.13.	KKB-C elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları.....	49
Şekil 2.14.	KKB-C elemanına ait imalat görünüşleri	49
Şekil 2.15.	KKB-D deney elemanını oluşturan bileşenler	50
Şekil 2.16	KKB-D birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görünüşleri.....	51
Şekil 2.17.	KKB-D elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları.....	51
Şekil 2.18.	KKB-D elemanına ait imalat görünüşleri	52
Şekil 2.19.	KKB-E deney elemanını oluşturan bileşenler	53
Şekil 2.20.	KKB-E birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görünüşleri.....	53
Şekil 2.21.	KKB-E elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları	54
Şekil 2.22.	KKB-E elemanına ait imalat görünüşleri	54
Şekil 2.23.	KKB-F deney elemanını oluşturan bileşenler	55
Şekil 2.24.	KKB-F birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görünüşleri.....	56
Şekil 2.25.	KKB-F elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları	56
Şekil 2.26.	KKB-F elemanına ait imalat görünüşleri.....	57
Şekil 2.27.	KKB-G deney elemanını oluşturan bileşenler	58
Şekil 2.28.	KKB-G birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görünüşleri.....	58
Şekil 2.29.	KKB-G elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları.....	59
Şekil 2.30.	KKB-G elemanına ait imalat görüntüleri	59
Şekil 2.31.	KKB-H deney elemanını oluşturan bileşenler	60
Şekil 2.32.	KKB-H birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görünüşleri.....	61
Şekil 2.33.	KKB-H elemanına ait boyutlar, boykesit ve enkesit detayları.....	61
Şekil 2.34.	KKB-H elemanına ait imalat görüntüleri	62
Şekil 2.35.	ASTM A370’de verilen çekme çubuğun geometrik özellikleri (mm)	62
Şekil 2.36.	Çekme çubukların hazırlamasından bazı görüntüler	63
Şekil 2.37.	Çekme çubukların deneylerine ait bazı görüntüler	63
Şekil 2.38.	HEA profillerinden alınan çekme çubuklarına ait gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri ve deney resimleri	64
Şekil 2.39.	IPN profillerinden alınan çekme çubuklarına ait gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri ve deney resimleri	64
Şekil 2.40.	Levhalarından alınan çekme çubuklarına ait gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri ve deney resimleri.....	65
Şekil 2.41.	Donatıların merkezi çekme deneylerine ait bazı görüntüler	66

Şekil 2.42.	8mm çapına sahip nervürlü donatıların gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri	67
Şekil 2.43.	12mm çapına sahip nervürlü donatıların gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri	67
Şekil 2.44.	2500 kN kapasiteli otomatik yükleme makinesi ile basınç deneyi	70
Şekil 2.45.	Betonların hazırlamasında kullanılan betoniye.....	71
Şekil 2.46.	Birinci beton dökümüne ait görüntüler	72
Şekil 2.47.	Betona dökümüne hazır hale getirilen KKB-E, KKB-F, KKB-G ve KKB-H deney elemanları	72
Şekil 2.48.	İkinci beton dökümüne ait bazı görüntüler	72
Şekil 2.49.	Deney elemanların boyama işlemleri	73
Şekil 2.50.	Alınan beton numunelerin hazırlama aşamaları.....	73
Şekil 2.51.	Tek eksenli basınç deneyi ve numuneye yerleştirilen birim şekil değıştirme ölçer.....	74
Şekil 2.52.	Birinci ve ikinci beton dökümlerine ait gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri	75
Şekil 2.53.	Silindir numunelerin yarmada çekme deneyi.....	76
Şekil 2.54.	Deney düzeneği ve yükleme sisteminin perspektif 3D görünüşü	77
Şekil 2.55.	Deney düzeneğin geometrik ölçüleri.....	78
Şekil 2.56.	Deneye hazır hale getirilmiş KKB-E deney elemanı	79
Şekil 2.57.	Deney düzeneğin mesnetlenme detayları	81
Şekil 2.58.	Kolon ve kiriş altındaki mafsalın (a)sabit eleman (b) hareketli eleman ölçüleri,(c) yan (d) ön ve (e) perspektif görünüşleri	82
Şekil 2.59.	Çelik mafsalın imalat görünüşleri.....	83
Şekil 2.60.	Rijit kolon görüntüleri.....	83
Şekil 2.61.	Rijit yük aktarma kiriş.....	84
Şekil 2.62.	Deneyisel çalışmada ölçüm sistemi.....	85
Şekil 2.63.	Hidrolik piston ve güç ünitesi	85
Şekil 2.64.	1000 kN kapasiteli yük hücresi (Loadcell)	86
Şekil 2.65.	Deneyisel çalışmada kullanılan LPDT	86
Şekil 2.66.	Betonda ve çelikte kullanılan birim şekildeğiştirme ölçerler.....	87
Şekil 2.67.	Coda Ai8b veri toplama ünitesi.....	87
Şekil 2.68.	Deneyisel modal analizde ölçüm düzeneği	88
Şekil 2.69.	Piezoelektrik tipi ivmeölçerin iç mekanizması	89
Şekil 2.70.	(a) (a) Tek eksenli (B&K 8340), (b) üç eksenli (B&K 4506 B003) ve (c) tek eksenli (B&K4507 B005) ivmeölçerler	89
Şekil 2.71.	Brüel&Kjaer 3560-C veri toplama ünitesi	90

Şekil 2.72.	Denelerde kullanılan yük protokolu	91
Şekil 2.73.	Tekrarlı yatay yüklemde her bir çevrim için rijitlik değerlerinin hesaplanması	93
Şekil 2.74.	i. çevrimde tüketilen enerji ve depolanan elastik şekildeğiştirme enerjisi.	94
Şekil 2.75.	Dinamik karakteristiklerinin deneysel yöntemlerle belirlenmesine ait akış şeması	96
Şekil 2.76.	Eksenel basınç yüklemesinde, betonun idealleştirilmiş gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi.....	98
Şekil 2.77.	Eksenel çekme yüklemesinde, betonun idealleştirilmiş gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi.....	98
Şekil 2.78.	Rijitlik azalımı parametresi (dc)-elastik olmayan şekildeğiştirme eğrisi	99
Şekil 2.79.	Rijitlik azalımı parametresi (dt)-elastik olmayan şekildeğiştirme eğrisi	99
Şekil 2.80.	Betonarme donatı için kullanılan eleasto plastik malzeme modeli	100
Şekil 2.81.	Mühendislik ve gerçek gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri	101
Şekil 2.82.	(a) C3D8R eleman tipi (b) T3D2) eleman tipi	102
Şekil 2.83.	Tek eksenli basınç ve yarmada çekme deney numunelerinin (a) sonlu elemanlara ayrılmış modelleri (b) sınır şartları ve yükleme şekilleri.....	103
Şekil 2.84.	Basınç deney numunesinin deneysel ve sayısal modellerin kırılma şekilleri	103
Şekil 2.85.	Yarmada çekme deney numunelerinin deneysel ve sayısal kırılma şekilleri	103
Şekil 2.86.	Çelik çekme çubuğunun sonlu eleman modeli, akma şekli, kompa şekli ve deneysel kopma şekli	104
Şekil 2.87.	Deney elemanın ve sayısal modelin yerdeğiştirme şekilleri	105
Şekil 2.88.	(a) Sınır şartları için tanımlanan referans düğüm noktası (b) MPC elemanların tanımlanmış modeli	106
Şekil 2.89.	(a) Gerçek ve (b) MPC elemanlı modellerin yerdeğiştirme şekilleri	106
Şekil 2.90.	Gerçek ve MPC'li modellerin 100mm itmede yük-yerdeğiştirme eğrileri ..	107
Şekil 2.91.	KKB-A deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri.....	108
Şekil 2.92.	KKB-B deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri.....	108
Şekil 2.93.	KKB-C deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri.....	109
Şekil 2.94.	KKB-D deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri.....	109
Şekil 2.95.	KKB-E deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri.....	110
Şekil 2.96.	KKB-F deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri.....	110

Şekil 2.97.	KKB-G deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri.....	111
Şekil 2.98.	KKB-H deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri.....	111
Şekil 2.99.	KKB-H deney elemanına ait sonlu elemana ayrılmış sayısal model	112
Şekil 2.100.	SAP2000 programında oluşturulan KKB-A deney elemanına ait sayısal model.....	113
Şekil 2.101.	(a) KKB-A, (b) KKB-B, (c) KKB-C, (d) KKB-D, (e) KKB-E, (f) KKB-F, (g) KKB-G ve (h) KKB-H SAP2000 programında oluşturulan deney elemanına ait sayısal modeller.....	114
Şekil 3.1.	Kolon-kiriş birleşim yüzeylerin adlandırılması.....	115
Şekil 3.2.	KKB-A deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü	117
Şekil 3.3.	Deney sırasında KKB-A deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları.....	118
Şekil 3.4.	KKB-A deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri	120
Şekil 3.5.	Deney sonunda KKB-A deney elemanında oluşan hasar durumları.....	121
Şekil 3.6.	KKB-B deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü	122
Şekil 3.7.	Deney sırasında KKB-B deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları.....	123
Şekil 3.8.	KKB-B deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri	125
Şekil 3.9.	Deney sonunda KKB-B deney elemanında oluşan hasar durumları.....	126
Şekil 3.10.	KKB-C deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü	127
Şekil 3.11.	Deney sırasında KKB-C deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları.....	128
Şekil 3.12.	KKB-C deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri	130
Şekil 3.13.	Deney sonunda KKB-C deney elemanında oluşan hasar durumları	131
Şekil 3.14.	KKB-D deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü	132
Şekil 3.15.	Deney sırasında KKB-D deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları.....	133
Şekil 3.16.	KKB-D deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri	135
Şekil 3.17.	Deney sonunda KKB-D deney elemanında oluşan hasar durumları.....	136
Şekil 3.18.	KKB-E deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü.....	137
Şekil 3.19.	Deney sırasında KKB-E deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları.....	138
Şekil 3.20.	KKB-E deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri	141
Şekil 3.21.	Deney sonunda KKB-E deney elemanında oluşan hasar durumları	142
Şekil 3.22.	KKB-F deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü	143

Şekil 3.23.	Deney sırasında KKB-F deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları.....	144
Şekil 3.24.	KKB-F deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri.....	146
Şekil 3.25.	Deney sonunda KKB-F deney elemanında oluşan hasar durumları	147
Şekil 3.26.	KKB-G deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü	148
Şekil 3.27.	Deney sırasında KKB-G deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları.....	149
Şekil 3.28.	KKB-G deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri	151
Şekil 3.29.	Deney sonunda KKB-G deney elemanında oluşan hasar durumları.....	152
Şekil 3.30.	KKB-H deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü	153
Şekil 3.31.	Deney sırasında KKB-H deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları.....	154
Şekil 3.32.	KKB-H deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri	156
Şekil 3.33.	Deney sonunda KKB-H deney elemanında oluşan hasar durumları.....	157
Şekil 3.34.	Deney elemanların yatay yük-yatay yerdeğiştirme ile dayanım zarfı eğrileri	159
Şekil 3.35.	Deney elemanlarının karşılaştırılmalı dayanım zarfı eğrileri.....	160
Şekil 3.36.	Deney elemanların rijitlik-yerdeğiştirme eğrileri.....	164
Şekil 3.37.	Deney elemanların karşılaştırılmalı rijitlik-yerdeğiştirme eğrileri.....	165
Şekil 3.38.	Deney elemanlarının enerji tüketimi-yerdeğiştirme eğrileri	167
Şekil 3.39.	Deney elemanlarının karşılaştırılmalı enerji-yerdeğiştirme eğrileri	168
Şekil 3.40.	KKB-A elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri	169
Şekil 3.41.	KKB-A elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar	169
Şekil 3.42.	KKB-A elemanında oluşan plastik şekildeğiştirmeler	171
Şekil 3.43.	KKB-A elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa).....	171
Şekil 3.44.	KKB-B elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri	173
Şekil 3.45.	KKB-B elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar	173
Şekil 3.46.	KKB-B elemanında oluşan yanal burkulma ve plastik şekildeğiştirmeler ..	173
Şekil 3.47.	KKB-B elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa).....	174
Şekil 3.48.	KKB-C elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri	175
Şekil 3.49.	KKB-C elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar	175
Şekil 3.50.	KKB-C elemanında oluşan yanal burkulma ve plastik şekildeğiştirmeler ..	176
Şekil 3.51.	KKB-C elemanında oluşan gerilme dağılımları (MPa).....	176

Şekil 3.52.	KKB-D elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri	178
Şekil 3.53.	KKB-D elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar	178
Şekil 3.54.	KKB-D elemanında oluşan plastik Şekildeğiştirmeler	178
Şekil 3.55.	KKB-D elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa).....	179
Şekil 3.56.	KKB-E elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri	180
Şekil 3.57.	KKB-E elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar.....	180
Şekil 3.58.	KKB-E elemanında oluşan yanal burkulma ve plastik Şekildeğiştirmeler...	181
Şekil 3.59.	KKB-E elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa)	181
Şekil 3.60.	KKB-F elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri	183
Şekil 3.61.	KKB-F elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar.....	183
Şekil 3.62.	KKB-F elemanında oluşan yanal burkulma ve plastik Şekildeğiştirmeler...	183
Şekil 3.63.	KKB-F elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa)	184
Şekil 3.64.	KKB-G elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri	185
Şekil 3.65.	KKB-G elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar	185
Şekil 3.66.	KKB-G elemanında oluşan yanal burkulma ve plastik Şekildeğiştirmeler ..	186
Şekil 3.67.	KKB-G elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa).....	186
Şekil 3.68.	KKB-H elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri	188
Şekil 3.69.	KKB-H elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar	188
Şekil 3.70.	KKB-H elemanında oluşan plastik Şekil değiştirmeler	188
Şekil 3.71.	KKB-H elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa).....	189
Şekil 3.72.	Deney elemanlarına ait, deneysel ve sayısal olarak elde edilen dayanım zarfı eğrileri	190
Şekil 3.73.	Hasarsız KKB-A elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünömler	192
Şekil 3.74.	Hasarsız KKB-A elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	192
Şekil 3.75.	Hasarsız KKB-A elemanına ait kararlılık diyagramı	192
Şekil 3.76.	KKB-A elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod Şekli	192
Şekil 3.77.	Hasarlı KKB-A elemanının çevresel titreşim testinden bazı görünömler..	193
Şekil 3.78.	Hasarlı KKB-A elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	193
Şekil 3.79.	Hasarlı KKB-A elemanına ait kararlılık diyagramı	194

Şekil 3.80.	KKB-A elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	194
Şekil 3.81.	KKB-A elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	195
Şekil 3.82.	KKB-A elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi	196
Şekil 3.83.	KKB-A elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği.....	196
Şekil 3.84.	Hasarsız KKB-B elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünümeler	197
Şekil 3.85.	Hasarsız KKB-B elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	197
Şekil 3.86.	Hasarsız KKB-B elemanına ait kararlılık diyagramı	198
Şekil 3.87.	KKB-B elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	198
Şekil 3.88.	Hasarlı KKB-B elemanının çevresel titreşim testinden bazı görünümeler ..	199
Şekil 3.89.	Hasarlı KKB-B elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	199
Şekil 3.90.	Hasarlı KKB-B elemanına ait kararlılık diyagramı.....	199
Şekil 3.91.	KKB-B elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	200
Şekil 3.92.	KKB-B elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	200
Şekil 3.93.	KKB-B elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi	201
Şekil 3.94.	KKB-B elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği.....	202
Şekil 3.95.	Hasarsız KKB-C elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünümeler	203
Şekil 3.96.	Hasarsız KKB-C elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	203
Şekil 3.97.	Hasarsız KKB-C elemanına ait kararlılık diyagramı	203
Şekil 3.98.	KKB-C elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	204
Şekil 3.99.	Hasarlı KKB-C elemanının çevresel titreşim testinden bazı görünümeler ..	204
Şekil 3.100	Hasarlı KKB-C elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	205
Şekil 3.101.	Hasarlı KKB-C elemanına ait kararlılık diyagramı.....	205
Şekil 3.102.	KKB-C elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	205

Şekil 3.103. KKB-C elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	206
Şekil 3.104. KKB-C elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi	207
Şekil 3.105. KKB-C elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği.....	207
Şekil 3.106. Hasarsız KKB-D elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünüşler	208
Şekil 3.107. Hasarsız KKB-D elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	208
Şekil 3.108. Hasarsız KKB-D elemanına ait kararlılık diyagramı	209
Şekil 3.109. KKB-D elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	209
Şekil 3.110. Hasarlı KKB-D elemanının çevresel titreşim testinden bazı görünüşler ..	210
Şekil 3.111. Hasarlı KKB-D elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	210
Şekil 3.112. Hasarlı KKB-D elemanına ait kararlılık diyagramı	210
Şekil 3.113. KKB-D elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	211
Şekil 3.114. KKB-D elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	211
Şekil 3.115. KKB-D elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi	212
Şekil 3.116. KKB-D elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği.....	213
Şekil 3.117. Hasarsız KKB-E elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünüşler	214
Şekil 3.118. Hasarsız KKB-E elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	214
Şekil 3.119. Hasarsız KKB-E elemanına ait kararlılık diyagramı.....	214
Şekil 3.120. KKB-E elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	215
Şekil 3.121. Hasarlı KKB-E elemanının çevresel titreşim testinden bazı görünüşler ..	215
Şekil 3.122. Hasarlı KKB-E elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	216
Şekil 3.123. Hasarlı KKB-E elemanına ait kararlılık diyagramı.....	216
Şekil 3.124. KKB-E elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	216
Şekil 3.125. KKB-E elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	217

Şekil 3.126. KKB-E elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi	218
Şekil 3.127. KKB-E elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği.....	218
Şekil 3.128. Hasarsız KKB-F elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünümeler	219
Şekil 3.129. Hasarsız KKB-F elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	219
Şekil 3.130. Hasarsız KKB-F elemanına ait kararlılık diyagramı.....	220
Şekil 3.131. KKB-F elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	220
Şekil 3.132. Hasarlı KKB-F elemanının çevresel titreşim testinden bazı görünümeler ..	221
Şekil 3.133. Hasarlı KKB-F elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	221
Şekil 3.134. Hasarlı KKB-F elemanına ait kararlılık diyagramı	221
Şekil 3.135. KKB-F elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	222
Şekil 3.136. KKB-F elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	222
Şekil 3.137. KKB-F elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi	223
Şekil 3.138. KKB-F elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği.....	224
Şekil 3.139. Hasarsız KKB-G elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünümeler	225
Şekil 3.140. Hasarsız KKB-G elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	225
Şekil 3.141. Hasarsız KKB-G elemanına ait kararlılık diyagramı	225
Şekil 3.142. KKB-G elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	226
Şekil 3.143. Hasarlı KKB-G elemanının çevresel titreşim testinden bazı görünümeler ..	226
Şekil 3.144. Hasarlı KKB-G elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	227
Şekil 3.145. Hasarlı KKB-G elemanına ait kararlılık diyagramı	227
Şekil 3.146. KKB-G elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	227
Şekil 3.147. KKB-G elemanının hasarsız durumu için sayısal olarak elde edilen ilk üç mod şekli	228
Şekil 3.148. KKB-G elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi	229

Şekil 3.149. KKB-G elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği.....	229
Şekil 3.150. Hasarsız KKB-H elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünümler	230
Şekil 3.151. Hasarsız KKB-H elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	230
Şekil 3.152. Hasarsız KKB-H elemanına ait kararlılık diyagramı	230
Şekil 3.153. KKB-H elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	231
Şekil 3.154. Hasarlı KKB-H elemanının çevresel titreşim testinden bazı görünümmler ..	231
Şekil 3.155. Hasarlı KKB-H elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri.....	232
Şekil 3.156. Hasarlı KKB-H elemanına ait kararlılık diyagramı	232
Şekil 3.157. KKB-H elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli	232
Şekil 3.158. KKB-H elemanının hasarsız durumu için sayısal olarak elde edilen ilk üç mod şekli	233
Şekil 3.159. KKB-H elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi	234
Şekil 3.160. KKB-H elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği.....	234

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Deney elemanların isimleri ve kısaltmaları	41
Tablo 2.2. Profil ve levhaların mekanik özellikleri	65
Tablo 2.3. Kompozit kolonlarda kullanılan nervürlü donatıların mekanik özellikleri	68
Tablo 2.4. Beton üretiminde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri.....	68
Tablo 2.5. Agreganın granülometrik bileşimi.....	68
Tablo 2.6. Beton üretiminde kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	69
Tablo 2.7. Deneme beton karışım oranları.....	70
Tablo 2.8. Deneme betonların basınç deney sonuçları	70
Tablo 2.9. Deney elemanların hazırlanmasında kullanılacak betonun karışım oranları....	71
Tablo 2.10. Üretilen betonların basınç dayanımları ve elastisite modülü.....	74
Tablo 2.11 Üretilen betonların kırılma yükü ve çekme dayanımları	76
Tablo 2.12. B&K 8340 ve B&K 4507 B 005 tipi tek eksenli ivmeölçerler ile B&K 4506 B003 tipi üç eksenli ivmeölçerlere ait bazı özellikler	90
Tablo 2.13. Doğrusal elastik analizde kullanılan malzeme özellikleri	113
Tablo 3.1. Deney sonuçların maksimum yük ve maksimum yerdeğiştirme değerleri.....	162
Tablo 3.2. KKB-A elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları.....	195
Tablo 3.3. KKB-B elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları.....	201
Tablo 3.4. KKB-C elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları.....	206
Tablo 3.5. KKB-D elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları.....	212
Tablo 3.6. KKB-E elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları.....	217
Tablo 3.7. KKB-F elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları.....	223
Tablo 3.8. KKB-G elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları.....	228
Tablo 3.9. KKB-H elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları.....	233

SEMBOLLER DİZİNİ

A_c	Beton enkesit alanı
A_s	Bulonun enkesit alanı
A_s	Yapısal çelik çekirdek enkesit alanı
A_{sr}	Boyuna donatı alanı
A_{srs}	Simetrik eksenindeki boyuna donatı alanı
b_b	Kayma elemanın alt ucundaki kalınlık
C	Beton döşemenin basınç kuvveti dayanımı
$[C]$	Sönüm matrisi
CDP	Beton plastikleşme hasar modeli (Concrete Damage Plasticity Model)
CMP	Genel metal plastisite modeli (Classic metal plasticity model)
C3D8R	3 boyutlu sürekli katı eleman tipi
d	Silindirin ölçülen çapı
d_1	Beton basınç bloğu ağırlık merkezi ile çelik enkesitin üst kotu arasındaki uzaklık
d_2	Çelik ağırlık merkezi ile enkesitin üst kotu arasındaki uzaklık
d_3	Çelik enkesitin üst kotu ile ağırlık merkezinin arasındaki uzaklık
dc	Rijitlik azalım parametresi (basınç)
DMA	Deneysel Modal Analiz
dt	Rijitlik azalım parametresi (çekme)
e	Dışmerkezlik
E	Elastisite modülü
E_h	Çevrimsel enerji
E_s	Elastik şekil değiştirme enerjisi
F	Kuvvet
f_{bo}	İki eksenli gerilme durumunda akma gerilmesi
f_{cd}	Beton tasarım basınç dayanımı
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{co}	Eksenel basınç gerilmesi altında akma gerilmesi
f_{ctm}	Numunelerin yarmada çekme dayanımı

F_p	Öngerme kuvveti
F_{sd}	Beton çeliğin tasarım dayanımı
$\{F(t)\}$	Kuvvet vektörü
F_u	Bulonun kopma dayanımı
F_y	Boru ve kutu enkesitli elemanın karakteristik akma gerilmesi
F_{yd}	Yapısal çeliğin tasarım akma dayanımı
F_{ysr}	Beton çeliğin karakteristik akma gerilmesi
GFTAA	Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma
h	Silindirin ölçülen uzunluğu
h_n	Plastik ve tarafsız eksen arasındaki mesafe
H_r	hadve yüksekliği
$[K]$	Rijirlik matrisi
K_c	Akma yüzeyinin şeklini belirleyen parametre (CDP)
k_e	Etkili rijitlik
LPDT	Doğrusal potansiyometrik cetvel
M	Karakteristik eğilme momenti dayanımı
$[M]$	Kütle matrisi
M_D	Karakteristik eğilme momenti dayanımı
MGK	Modal Güvence Kriteri
M_n	Karakteristik eğilme momenti dayanımı
M_{pb}^*	Kiriş ucundaki plastik eğilme momenti
M_{pc}^*	Kolon ucundaki plastik eğilme momenti
MPC	Multiple Point constraint
N	Normal kuvvet
NIH	Nonlinear isotropic hardening model
OMA	Operational Modal Analysis
P	Kırılma anındaki maksimum yük
P_A	Bileşik eğilmede A noktasında aksenal yük
P_D	Bileşik eğilmede D noktasında aksenal yük
PTE	Plastik tarafsız eksen
P_{yt}	Tüm çelik enkesitin çekme kuvveti dayanımı
r_i	Kutu profil köşe yayın yarıçapı

SAB	Stokastik Altalan Belirleme
t	Kutu ve boru profil et kalınlığı
T3D2	2 düğüm noktalı linear 3 boyutlu cubuk eleman tipi
TE	Tarafsız eksen
w_c	Beton dolgulu kompozit kolonda beton enkesit alanı
w_{px}	X-ekseni etrafında plastik mukavemet momenti
w_r	Şekil verilmiş çelik sacın ortalama hadve genişliği
$\{x(t)\}$	Yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{x}(t)\}$	Hız vektörü
$\{\ddot{x}(t)\}$	İvme vektörü
a	Beton basınç bloğun derinliği
β	Açı
δ	Yerdeğiştirme
ε	Birim şekildeğiştirme
ε_g	Gerçek birim şekildeğiştirme
ϕ_{aj}	Deneysel mod şekil vektörü
ϕ_{xi}	Analitik veya sayısal mod şekil vektörü
σ	Gerilme
σ_g	Gerçek gerilme
ω	Açısal frekans
ψ	Dilatasyon açısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

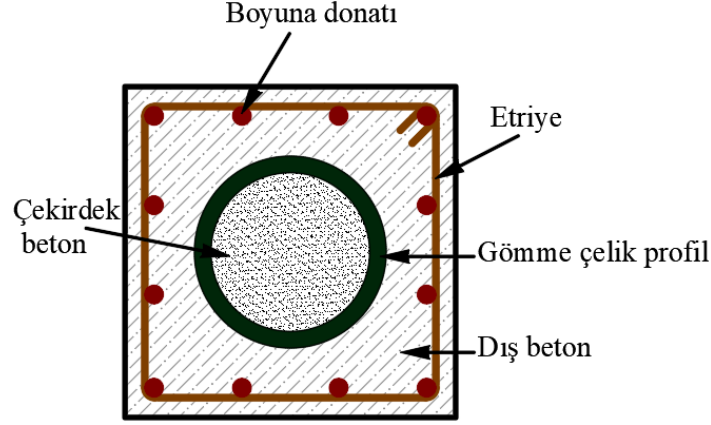
Dünya nüfusundaki hızlı artışla birlikte insanlar şehir merkezlerine ve sanayi bölgelerine yerleşme eğilimi göstermektedirler. Bu eğilim, sınırlı alanlara sahip yerleşim yerlerinde en verimli yapılaşmanın nasıl olacağı konusunda yapı sektörünü yeni arayışlara yöneltmektedir. Yüksek yapı yapma fikri ise bu arayışlara karşı akla gelen en yaygın çözümlerden biridir. Ancak, sınırlı arazilerden maksimum verim almak için inşa edilen yüksek yapılar beraberinde bazı problemler getirmektedir. Yapıların yüksekliği arttıkça düşey yükleri de artmaktadır. Bu durumda da deprem gibi yatay yüklere karşı yapının hassasiyeti artmaktadır.

Yapılarda yatay ve düşey yüklerin büyük kısmını taşıyan ana taşıyıcı sistemlerde genellikle ahşap, betonarme, çelik ve çelik-betonarme kompozit malzemeleri kullanılmaktadır. Yapının kullanım amacı, bulunduğu bölgenin depremsellik durumu, oturduğu zemin, toplam yüksekliği ve maruz kalacağı dış etkiler, taşıyıcı sistemin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Taşıyıcı sistem seçimi sırasında bazı hallerde betonarme, bazı hallerde ise çelik avantajlı olabilmektedir. Ancak betonarme taşıyıcı sisteme sahip yüksek yapılarda alt katlardaki düşey taşıyıcı elemanların enkesitleri aşırı derece büyümekte ve yapılardaki kullanım alanı kısıtlanmaktadır. Ayrıca yapının ağırlığının artmasından dolayı gelecek olan deprem yükleri de önemli derecede artmaktadır. Yüksek katlı çelik yapılarda ise her ne kadar betonarme binalara göre ağırlığı az olsa da, yüksek sıcaklıklardaki düşük dayanımı ve korozyona karşı çok hassas olması bazen büyük problemlere yol açmaktadır (Liang, 2015). Yüksek yapılardaki yapı ağırlığını azaltmak ve daha faydalı kullanım alanını elde etmek için deprem, yangın ve korozyona karşı dayanıklı, beton ile çeliğin avantajlarını birleştirerek geliştirilen çelik-betonarme kompozit sistemi son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Johnson, 2004). Beton ve çeliğin beraber kullanılması ile üretilen kompozit elemanlar, yapılara daha fazla dayanım, rijitlik, süneklik ve dayanıklılık sağlamaktadır (Patidar, 2012; Fakharifar vd., 2014). Çelik-betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip yapıların davranışı; sistemi oluşturan beton, donatı ve çelik malzemesinin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Ajel vd., 2015).

Kompozit yapıların yapılmasına 1920'li yılların sonlarında başlanarak günümüze kadar devam edilmektedir. Yapılan kompozit çelik-betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılar birçok gerçek deprem geçirdiklerinde, stabilitelerinde herhangi bir problem çıkmamıştır. Günümüzdeki modern yapılarda kompozit çelik-betonarme taşıyıcı sistemine sahip inşa edilen gökdelenler, köprüler, stadyumlar, iskeleler ve büyük endüstri yapılarının sayısı göz ardı edilmeyecek kadar çoktur (Liang, 2015).

1.2. Kompozit Çelik-Betonarme Yapılar

Kompozit çelik-betonarme yapı elemanlarında temel amaç, çelik malzemesinin zayıf yönlerini (korozyon, kalifiye işçilik, bakım masrafları, yüksek maliyet) beton malzemesi ile takviye ederek, betonun zayıf yönünü (düşük çekme mukavemeti) çelik malzemesi ile takviye ederek, oluşturulan kompozit elemanın çekme, basınç, kesme ve eğilme yüklemelerine karşı yüksek taşıma gücüne sahip olmasının sağlanmasıdır. Kompozit elemanların yüksek taşıma gücü, yangın ve korozyon dayanımlarından dolayı çok katlı ve geniş açıklığa sahip yapılarda tercih edilmektedir (Taranath vd., 2016; Ren vd., 2018). Ayrıca kompozit olarak inşa edilen yapılarda, elemanların zayıf yönleri birbirlerinin güçlü yönleri ile takviye edildiği için, yapının kullanım ömrü boyunca, elemanlarının dayanımında azalma minimuma inmektedir (Essopjee, 2015). Çelik malzemesinden üretilmiş kolon elemanı ile beton ve çelikten üretilmiş kompozit kolon davranışı, deneysel ve numerik olarak karşılaştırıldığında, kompozit kolon dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir (Lacki, 2018). Kompozit yapıların dinamik davranışlarının öğrenilebilmesi için, literatürde farklı yüklemeler altında bulunan kompozit elemanların deneysel davranışı ve nümerik çalışmaları (Spacone ve El-Tawil, 2004; Taufik vd., 2018) bulunmaktadır. Şekil 1.1'de yapılarda genellikle düşey taşıyıcı eleman olarak uygulanan, kompozit kolon elemanın örnek en kesit detayı verilmiştir.



Şekil 1.1. Kompozit kolonun en kesit detayı

Kompozit taşıyıcı sistemlerde, çerçevedeki elemanların eğilme ve kesme kuvvetine karşı malzemenin lineer-elastik olarak davrandığı kabulüyle, kompozit sistem davranışı belirlenmeye çalışılmaktadır. Kompozit bir elemanda, beton malzemesinin oluşturduğu kısımda meydana gelen çatlama ve sünme, çelik malzemesinin üstün özellikleri ile karşılanmaktadır. Ayrıca kompozit elemanı oluşturan çelik elemanın atalet yarıçapının küçük olmasından dolayı, elemanın narinlik değerinin artması ve burkulmanın meydana gelmesi, çevresel etkilerden dolayı oluşan korozyon (Lacki, 2018), ve yangın tehlikesi beton tarafından bertaraf edilmektedir (Piquer ve Hernández, 2016).

Kompozit elemanın sahip olduğu dayanım, kompoziti oluşturan çelik ve beton elemanın kesit dayanımlarının birleştirilmesiyle hesaplanmaktadır. Ancak hesaplamada, çelik ve beton malzemesi arasındaki etkileşim ihmal edilmektedir. Ayrıca kompozit elemanların Euler burkulma yükü hesaplarında, beton için azaltılmış beton rijitliği katsayısı, çelik için ise güvenlik faktörü kullanılmaktadır. Kullanılan bu kabuller, asimetrik kesitler ve eksensel kuvvete maruz kalmayan kesme kuvveti etkisi altındaki bulunan kolonlar için uygulanabilmektedir (Zhang, 2004).

Günümüzde hızla yaygınlaşan çelik-betonarme kompozit sistemlerin yapım ve hesapları ile ilgili, AIK (2009), AISC 360-10(2010), AS2327.1 (2003), ASCE (1994), BSI5400 (2005), Eurocode-4 (2004), JSCE (2007), gibi uluslararası yönetmeliklerde kompozit yapılarla ilgili tasarım ve yapım şartları mevcuttur. Türkiye’de, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin (TBDY, 2018) 9. bölümünü oluşturan 'Deprem Etkisi Altında Çelik Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı için Özel Kurallar' bölümünde kompozit elemanlar hakkında kurallar bulunmaktadır. Ayrıca Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları

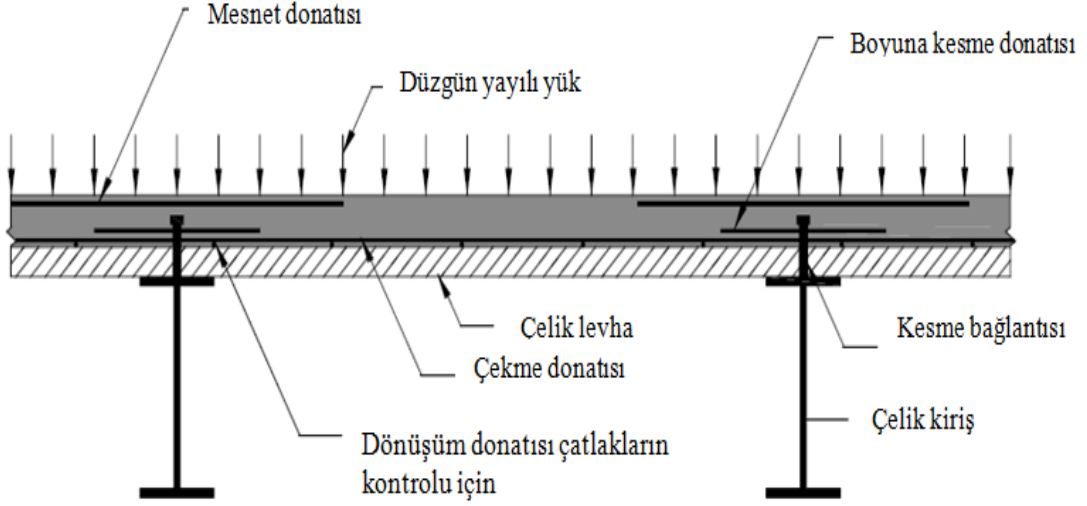
(ÇYTHYE, 2016) adlı çelik yönetmelikte de kompozit yapı elemanların yapım ve hesaplama ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

Genelde yapılarıdaki kompozit çelik-betonarme taşıyıcı elemanlar, kompozit döşemeler, kompozit kirişler, kompozit kolonlar ve kompozit kolon-kiriş birleşimler olarak dört gruba ayrılmaktadır.

1.2.1. Kompozit Döşemeler

Kompozit döşemeler, genel olarak trapez sac veya düz çelik levha ile oluşturulan döşemelerin üzerine beton dökülerek elde edilen, üstü düz altı ise düz veya trapez şeklinde olan döşeme sistemidir. Kompozit döşeme sistemlerinde, kiriş elemanı üzerine kayma elemanları veya başka bir deyişle kayma kaması kaynatılarak, çelik kiriş ve beton döşeme sisteminin beraber çalışmasını sağlamaktadır. Bir kompozit döşeme plağı, soğukta veya sıcakta katlanarak biçimlendirilmiş çelik saçtan oluşmaktadır. Bu sistemin normal betonarme döşemelere göre ağırlığı %30 oranında hafif ve işçiliği ise daha kolaydır. Çelik saç plak, kompozit döşeme için kalıp görevi görmekte, kendi ağırlığını ve inşaat sürecindeki hareketli yükleri taşımaktadır. Beton dayanımını kazanıp kompozit döşeme olarak çalışmaya başladığında, işletme yüklerini taşıyan saç plak, görevini tamamen ya da büyük ölçüde tamamlamış olmaktadır (Kana, 1994). Kompozit döşemeler, basit veya sürekli mesnet olarak inşa edilebilmektedir.

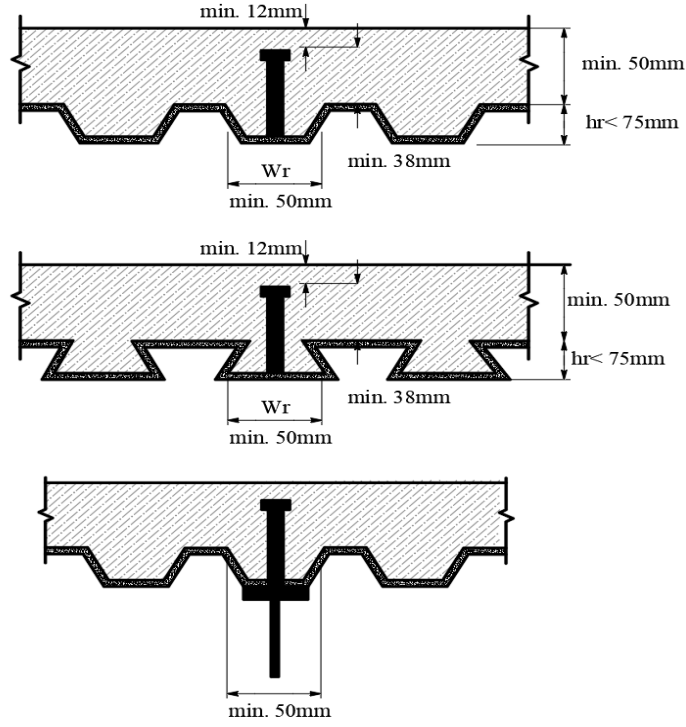
Kompozit döşemede kullanılan çelik sac, bazı durumlarda betonarme döşemede kullanılan alt donatıdan daha fazla çekme yükünü karşılamaktadır. Mesnet bölgesindeki donatılar ise çatlakların oluşmaması ve mesnet momentlerini karşılaması için gerekli olmaktadır. Şekil 1.2.'de gösterilen dönüşüm donatısı olarak adlandırılan donatı ise, sıcaklık değişimi ve büzülmeden dolayı oluşacak çatlakların kontrolünü sağlamak için yerleştirilmektedir (Liang, 2015).



Şekil 1.2. Kompozit döşeme detayı (Liang, 2015)

Kompozit döşemede kullanılan çelik sac üzerindeki kesme bağlantı elemanı olan kayma elemanları, beton ve çelik arasındaki aderansı ve kayma dayanımını artırmak için kullanılmaktadır. Kesme kamalarının çelik kiriş üzerine yerleştirilirken, birçok yönetmelikte geometrik sınırlandırmalar getirilmiştir. Ülkemizde 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (ÇYTHYE, 2016) adlı yönetmelikte kompozit döşemeler ile ilgili ana koşullar aşağıda verilmektedir (Şekil 1.3).

- Kayma elemanın üstünde net beton örtü kalınlığı 12 mm'den az olamaz.
- Beton döşemenin kalınlığı, sandviç panelin üstünden en az 50 mm olmalıdır.
- Çelik sac kayma elemanları yardımıyla, çelik kiriş boyunca en fazla 450 mm mesafeyle mesnetlenecektir.
- Kayma elemanların alt ucundaki kalınlığı (b_b) 20 mm'den fazla olmaması gerekmektedir.
- Çelik sac hadve yüksekliği en fazla 75 mm ve ortalama hadve genişliği 50mm olmalıdır.



Şekil 1.3. Kompozit döşemenin geometrik koşulları (ÇYTHYE, 2016)

Kayma bağlantı elemanı olarak kullanılan kesme kamaları, kompozit elemanlarda beton ve çeliğin birlikte, tek bir yapı elemanı gibi hareket etmesini sağlayan ara bağlantı elemanlarıdır (Şekil 1.4). Kayma bağlantı elemanları, beton ve çelik sacın temas yüzeyinde oluşan boyuna kaymalarını önlemektedir. Kompozit döşemelerde bulunan kayma bağlantı elemanın üç mekanizması vardır. Birincisi, iki malzeme arasında kimyasal bağı oluşturmak, ikincisi mekanik olarak çelik sac yüzeyine preslenerek kilitlenmek, üçüncü mekanizma ise bitiş ankrajı olarak çelik yüzey ile beton arasındaki sürtünmeyi artırmak ve bu iki yapısal malzeme arasındaki aderansı maksimum düzeye çıkartmaktır. Eğer çelik yüzey ve beton arasında kayma bağlantı elemanı yoksa elemanlar arasındaki aderans yok denecek kadar az olmakta ve yüklemeler altında kompozit döşemeyi oluşturan elemanlar birlikte hareket edemeyip, her bir yapı elemanı ayrı ayrı hareket etmektedir.

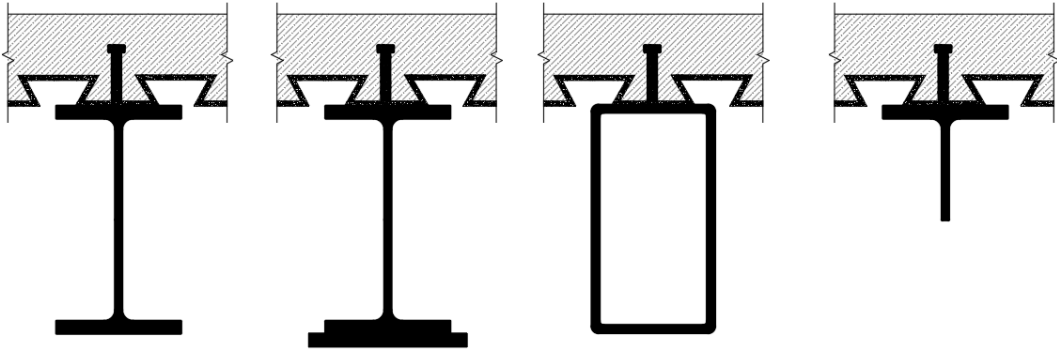
Kompozit köprülerin döşemesi oluşturulurken, kayma bağlantı elemanları yüksek dayanımlı beton malzemesi ile beraber kullanılmaktadır (Nie ve Cai, 2003; Focacci vd., 2015; Qi vd., 2017). Dolayısıyla hem taşıdığı yük olarak, hem de birleştirdiği malzemenin özelliğinden dolayı kayma bağlantı elemanlarının geometrik özelliklerini belirlemek üzere, farklı yüklemeler altında birçok araştırma yapılmıştır (Viest, 1956; Oehlers, 1990; Shim vd., 2004; Huo vd., 2017).



Şekil 1.4. Kayma elemanın uygulama şekli (URL-1)

1.2.2. Kompozit Kirişler

Betonarme döşeme plaklar ile çelik kirişlerinin ortak çalıştırılmasıyla oluşturulan kompozit kirişler, I, U, H, T ve kutu profillerden inşa edilebilmektedir (Şekil 1.5). Kompozit kirişler, üzerlerine serbestçe oturan betonarme plağı yalnız başlarına taşımaya çalışan çelik kirişlere göre çok daha ekonomiktirler. Kompozit kirişte, eğilmeden dolayı oluşan çekme gerilmesi çelik profil tarafından, basınç gerilmesi ise betonarme plak tarafından ya da betonarme plak ve çelik profilin ortak çalışması ile taşımaktadır. Bu özellik sayesinde kompozit kirişi oluşturan çelik profil, eğilmeden dolayı oluşan basınç gerilmesini taşımaktan ya bütünüyle ya da büyük ölçüde kurtularak kesit boyutlandırmasında büyük ekonomik tasarruf sağlanmaktadır (Damar, 2006). Betonarme döşeme ve çelik kirişin ortak çalışması sonucu olarak kompozit kirişi oluşturan betonarme tabla, ölü yük olmaktan çıkıp basınç bileşenini taşıyan yararlı bir elemana dönüşmektedir. Ayrıca kompozit kirişi oluşturan beton ve çeliğin beraber çalışması, kuvvet çiftinin moment kolunun da büyümesini sağlamakta, bu da ekonomik fayda getirmektedir.

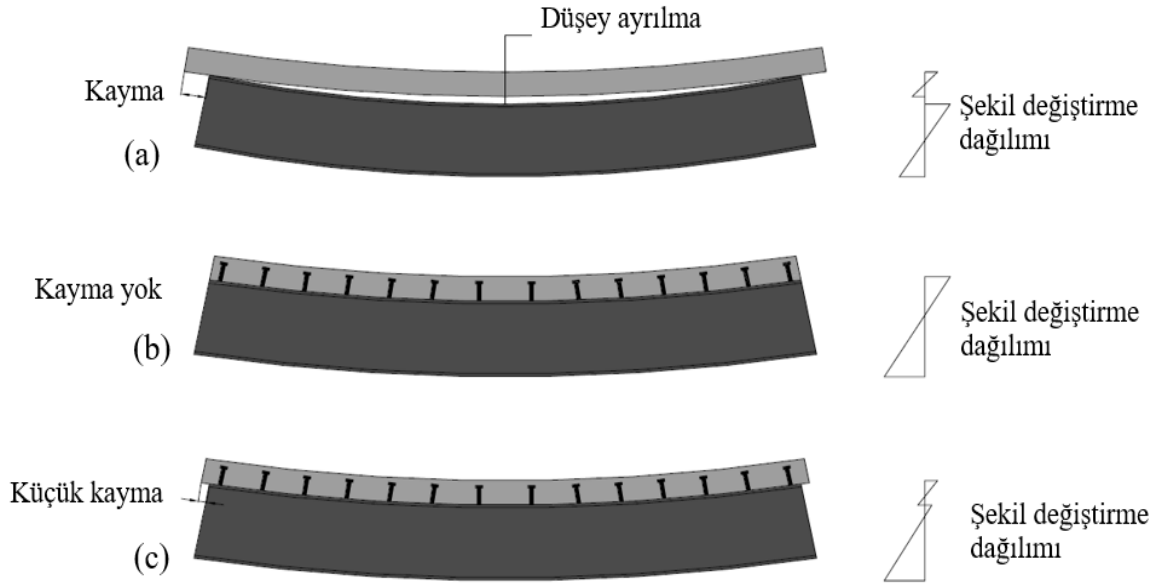


Şekil 1.5. Kompozit kirişin en kesit şekilleri

Kompozit döşemelerde olduğu gibi, kompozit kirişlerde de elemanlar arasındaki bütünlük kayma bağlantı elemanı ile sağlanmaktadır. Kayma bağlantı elemanı, sadece betonarme döşeme ile çelik kiriş birleşim yüzeyindeki boyuna kesmeyi değil, aynı zamanda elemanlar arasında oluşan düşey ayrılma ve boyuna kaymayı da engellemektedir. Dolayısı ile kompozit kirişin dayanımı, betonarme döşeme ve çelik kiriş arasındaki kayma bağlantı elemanların dayanımına bağlıdır. Sürekli kompozit kiriş, basit kiriş ile karşılaştırıldığında daha avantajlı olduğu gözükmemektedir. Çünkü sürekli kompozit kirişte, mesnet bölgeleri rijit olduğundan, kirişteki eğilme rijitliği artmakta ve gelen momenti karşıladığı için çelik kesitinin küçültme imkanını sağlamaktadır (Liang, 2015).

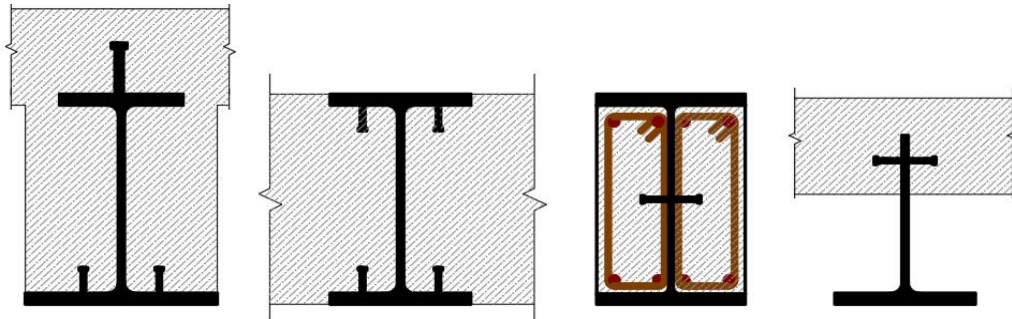
Betonarme döşeme ile çelik kiriş arasında kayma bağlantı elemanı yok ise yüklemeye maruz kalan kirişte her bileşen ayrı çalışmaktadır. Şekil 1.6a'da görüldüğü gibi kompozit kirişte kayma ve düşey ayrılma meydana gelmekte, bu durum ise yapısal davranış açısından istenmeyen bir durum olmaktadır. Kayma bağlantı elemanı olmayan kompozit kirişin nihai dayanımı ise sadece çelik kirişin plastik dayanımı olarak kabul edilmekte, betonarme döşemenin katkısı ihmal edilmektedir.

Kompozit kirişlerde kayma bağlantı şartlara uygun olarak yerleştirildiğinde, kompozit kirişi oluşturan betonarme ve çelik profil birlikte hareket etmekte, kesme mukavemeti, moment taşıma kapasitesi ve tekrarlı yük etkisi altındaki yapısal davranış çok daha iyi sonuçlar göstermektedir (Şekil 1.6b). Doğru olarak hesaplanmış ve yerleştirilmiş kayma bağlantı elemanlı kompozit kiriş davranışı, betonarme yapılarıdaki tablalı kiriş davranışına benzemektedir (Görkem, 2002). Bilindiği üzere betonarme kirişlerde tablalı kesit taşıma kapasitesi dikdörtgen kesitli kirişe göre daha fazladır. Kayma bağlantılı kompozit kirişlerde, kayma bağlantı elemanı olmayan ya da yanlış monte edilmiş olanlara göre daha üstün performans göstermektedir. Kayma bağlantı elemanı olan ancak küçük kaymaların meydana geldiği kompozit kirişlerde, Şekil 1.6c'de gösterildiği gibi yükleme altında şekil değiştirme dağılımı bozulmakta ancak düşey ayrılma meydana gelmemektedir (Liang, 2005).



Şekil 1.6. Kompozit kiriş kayma bağlantı elemanının etkileri (a) kayma bağlantı elemanı olmayan kiriş, (b) tam kayma bağlantı elemanı olan ve (c) kısmi kayma bağlantı elemanına sahip kompozit kiriş (Liang, 2015)

Yangın ve korozyon hassasiyeti yüksek olan yapılarda, kompozit kirişler, gömme ve yarı gömme olarak inşa edilmektedir. Gömme kompozit kirişin normal kompozit kirişten en büyük farkı ise, çelik profilin tamamen betonarme içine gömülerek oluşturulmasıdır. Yarı gömme kompozit kirişlerde sadece başlıklar arasındaki boşluğa pasif donatı yerleştirilerek kirişin yangın ve korozyon dayanımı artmakla beraber lokal burkulma durumları da engellenmiştir (Jungbluth, 1980; Sahmaran vd., 2008; Wang, 2014; Buchanan ve Abu, 2017). Şekil 1.7’de gömme ve kısmi gömme kompozit kirişlerin enkesit detayları, Şekil 1.8’de ise her iki tip kompozit kirişin imalatına ait görünümler verilmiştir.



Şekil 1.7. Gömme ve kısmi gömme kompozit kiriş enkesit detayları



Şekil 1.8. Gömme ve kısmi gömme kompozit kirişe imalatları (URL-2)

Eğilme etkisindeki kompozit kirişin moment taşıma kapasitesi ise bağıntı 1.1 ve 1.2 yardımıyla hesaplanabilmektedir. Eğilme etkisindeki kompozit kirişte oluşan genel plastik gerilme dağılımı Şekil 1.9’da verilmektedir.

$$M_n = C(d_1 + d_2) + P_{yt}(d_3 - d_2) \quad (1.1)$$

$$a = \frac{C}{0.85 f_{ck} b} \quad (1.2)$$

Burada;

C : Beton döşemenin basınç kuvveti dayanımını,

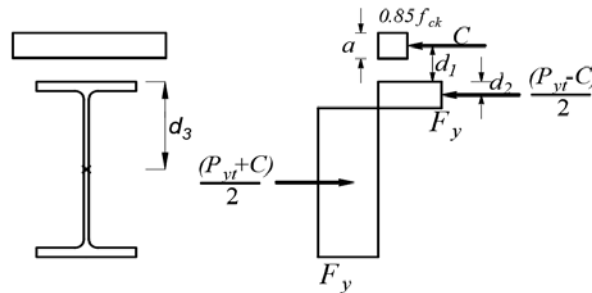
P_{yt} : Tüm çelik enkesitin çekme kuvveti dayanımını,

d_1 : Beton basınç bloğu ağırlık merkezi ile çelik enkesitin üst kotu arasındaki uzaklığı,

d_2 : Çelik ağırlık merkezi ile enkesitin üst kotu arasındaki uzaklığı,

d_3 : Çelik enkesitin üst kotu ile ağırlık merkezinin arasındaki uzaklığı,

a : Beton basınç bloğunun derinliğini ifade etmektedir.



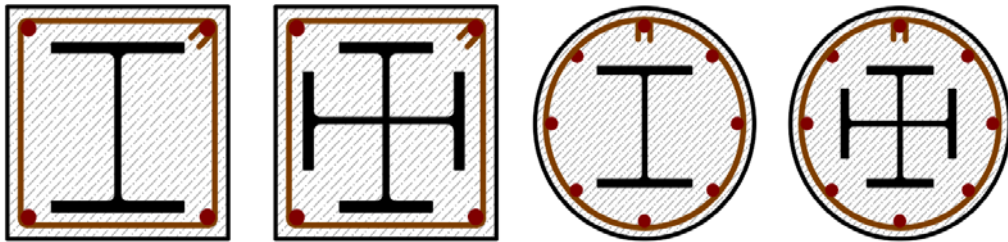
Şekil 1.9. Kompozit kirişte pozitif eğilme momenti için genel plastik gerilme yayılımı (ÇYTHYE, 2016)

1.2.3. Kompozit Çelik-Betonarme Kolonlar

Çelik-betonarme kompozit kolonların dayanım, rijitlik, yüksek süneklik ve büyük enerji tüketme kabiliyeti gibi yapısal performansından dolayı yüksek yapılar, köprü ayakları, iskeleler ve stadyumlar gibi yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, kompozit elemanların inşaat sektöründe kullanılması, ilk olarak kompozit kolonlar ile başlamıştır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan kompozit kolonlar kendi içinde dört sınıfa ayrılmaktadırlar.

1.2.3.1. Gömme Kompozit Kolonlar

Gömme kompozit kolonlar, beton içine tamamen gömülmüş çelik profilin betonarme kesit ile beraber çalışarak oluşturulan kompozit kolon türüdür. Gömme kompozit kolonlar genellikle I, H ve X kesitine sahip profillerden oluşturularak kare, dikdörtgen ve dairesel geometriye sahip olabilmektedir (Şekil 1.10). Gömme kompozit kolonlarda, çelik ile beton arasındaki aderansı artırmak için çelik profillere kayma bağlantı elemanları kaynatılmaktadır (Ataei, 2015). Gömme kompozit kolonların en büyük avantajı, çelik profil beton içinde tamamen gömülü olduğundan dolayı yangın dayanımı oldukça yüksektir. Çelik profilin tamamı beton tarafından sınırlandırıldığı için, burkulma dayanımı önemli derecede artırılmaktadır. Ayrıca yapısal çelik elemanın tamamı beton ile kaplandığı için korozyon sorunu ortadan kaldırmış olmaktadır (Zhang, 2004). Dolayısıyla yangın dayanımı yüksek, korozyondan daha az etkilenen ve eğilme rijitliği açısından çok rijit olan gömme kompozit kolonlar, deprem riski olan bölgelerde yüksek katlı ve geniş açıklıklı yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Liang 2009). Yangın performansı istenen gömme kompozit kolonlarda beton örtü kalınlığı en az 5 cm olmak zorundadır (Arda, 2000).



Şekil 1.10. Gömme kompozit kolon enkesit detayları



Şekil 1.11. Gömme kompozit kolon imalat detayı (URL-3)

Gömme kompozit kolonlarda pasif donatı kullanılması zorunludur. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları yönetmeliğinde gömme kompozit kolonlarında boyuna donatı, etriye ve çelik oranıyla ilgili sınırlandırmalar mevcuttur. Buna göre, gömme kompozit kolonda pasif donatı olarak kullanılması durumunda boyuna donatı oranı minimum 0.004, etriye olarak 10 mm çapındaki donatı kullanılması halinde maksimum 300 mm aralıklar ile gömme kompozit yapı elemanında bulundurma zorunluluğu getirilmektedir. Ayrıca gömme kompozit yapı elemanlarına, beton içine gömülmüş çelik profil enkesit alanı toplam yapı elemanın enkesit alanının %1'nden az olamaz (ÇYTHYE, 2016). Gömme kompozit kolonlarda gömülmüş çelik profil ve betonarme kesit beraber çalışarak gelecek olan çekme ve basınç yüklerini daha iyi bir şekilde karşılamaktadır. Bu tür kompozit kolonların taşıma kapasitelerinin belirlemede, beton, çelik ve donatı özellikleri dikkate alınarak hesaplama yapılmaktadır. Eksenel basınca maruz gömme kompozit kolunun taşıyabileceği yük bağıntı 1.3 ile hesaplanabilmektedir.

$$P_A = A_s F_y + A_{sr} F_{ysr} + 0.85 f_{ck} A_c \quad (1.3)$$

Kuvvetli eksen etrafında bileşik eğilme etkisindeki gömme kompozit kolonun taşıyabileceği eksenel yük ve moment kapasitesi aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanabilmektedir.

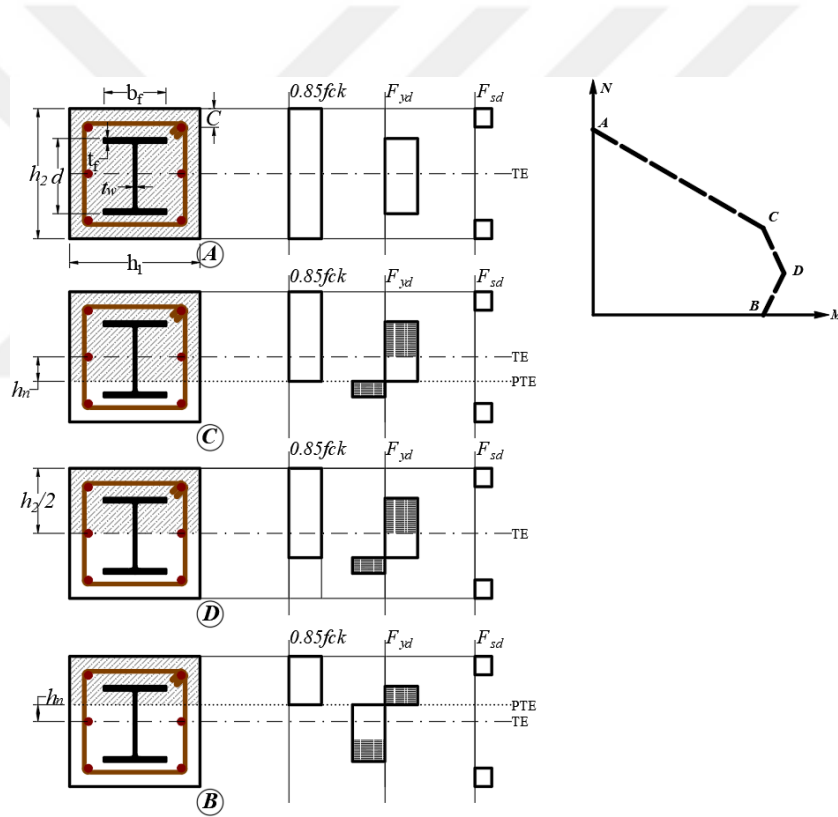
$$P_D = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2} \quad (1.4)$$

$$M_D = W_{px} F_y + W_r F_{ysr} + W_c / 2 (0.85 f_{ck}) \quad (1.5)$$

$$W_r = (A_{sr} - A_{srs}) [(h_2/2) - C] \quad (1.6)$$

$$W_c = (h_1 h_2^2 / 4) - W_{px} - W_t \quad (1.7)$$

Kuvvetli eksen etrafında bileşik eğilmeye maruz kalan gömme kompozit kolonda oluşan gerilme dağılımı 1.12’de verilmiştir.

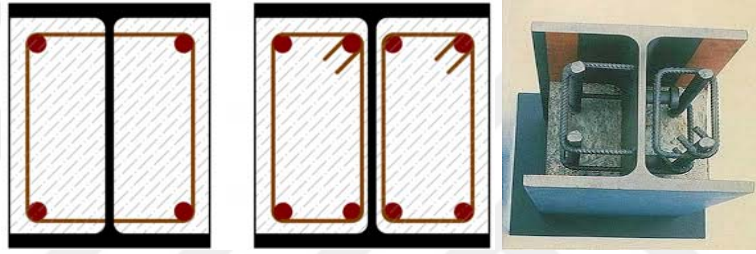


Şekil 1.12. Kısmi gömme kompozit kolon enkesit ve imalat detayı (ÇYTHYE, 2016)

1.2.3.2. Kısmi Gömme Kompozit Kolonlar

Kısmi gömme kompozit kolonlar, gömme kompozit kolonların basitleştirilmiş halidir. Bu tip kolonlar, genellikle I ve H kesitine sahip profillerden oluşturulmaktadır. Kısmi gömme kompozit kolonlarda, çelik profil tamamen beton içine gömülmeyp sadece başlıklar

arası boşluklar beton ve pasif donatı ile güçlendirilmektedir. Kısmi gömme kompozit kolonlar daha çok sanayi tip yapılarda ve yangına karşı korumalı yapılarda kullanılmaktadır (Moliner, 2013; Guo, 2017). Şekil 1.13'te görüldüğü gibi en az iki adet boyuna donatı ve 300 mm'yi aşmayacak mesafelerde etriyeler yerleştirilmek zorunluluğu çeşitli yönetmeliklerde getirilmiştir. Beton ile çelik arasındaki aderansı sağlamak için çelik profilin gövdesine dik şekilde kayma elemanları kullanılmaktadır. Kısmi gömme kompozit kolonun en büyük avantajları, çelik profilin burkulma boyunu kısaltmak, yanal stabilitesini artırmak, eğilme rijitliği ve yangın dayanımını yükseltmektir (Begum vd., 2013). Kısmi gömme kompozit kolonlu bir yapı örneği Şekil 1.14'te verilmektedir.



Şekil 1.13. Kısmi gömme kompozit kolon enkesit detayı (URL-4)

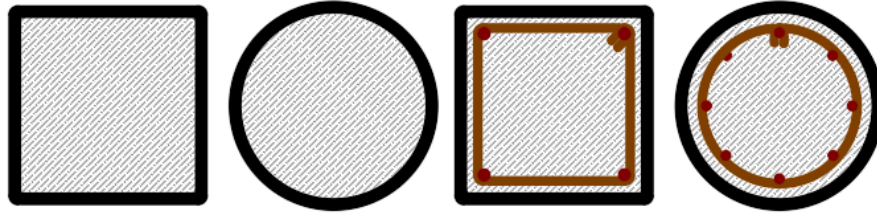


Şekil 1.14. Kısmi gömme kompozit kolonlu yapı (URL-4)

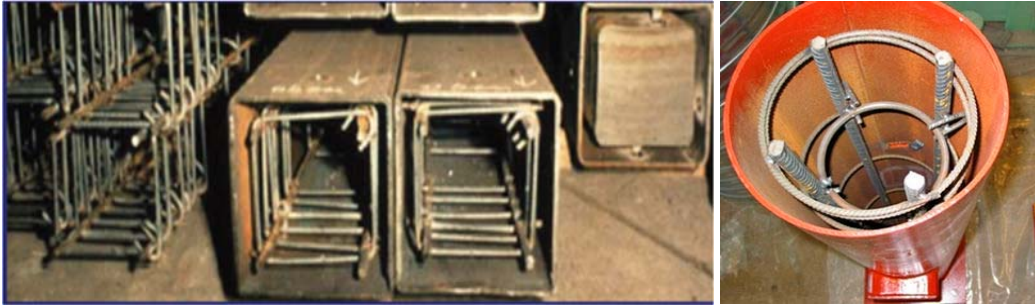
1.2.3.3. Beton Dolgulu Kompozit Kolonlar

Beton dolgulu kompozit kolonlar, genelde içi boş kutu veya boru kesitine sahip çelik profillerin içine beton doldurularak oluşturulan kompozit kolon türüdür (Şekil 1.15). İçi

beton ile doldurulan çelik kolonun, yük taşıma kapasitesi artmakta, yanal stabilitesi ve özellikle basınç yüklemesi altında lokal burkulma problemi önemli derecede azalmaktadır (Han vd., 2014). Beton dolgulu kompozit kolonlarda, pasif donatı konulma zorunluluğu yönetmeliklerde belirtilmemiştir. Fakat kompozit kolonun maruz kalacağı yük ve yangın dayanımına bağlı olarak boyutlandırma sırasında mühendisin tercihinin bırakılmıştır (Mago ve Hicks, 2016; Krishan, 2017). Günümüzde taşıma kapasitesi yüksek olan kompozit kolonlara ihtiyaç git gide artmaktadır. Beton dolgulu kompozit kolonlar, gömme ve kısmi gömme kompozit kolonlara göre, kolay imalat açısından daha avantajlı olsa da, korozyon ve yangın dayanımı açısından daha zayıftır. Bu tip kolonların inşası ile ilgili bazı detaylar Şekil 1.16'de görülmektedir.



Şekil 1.15. Beton dolgulu kompozit kolon enkesit detaylar



Şekil 1.16. Çelik profilin içi beton doldurulmuş kompozit kolon imalat detayı (Hanswille, 2008)

Beton dolgulu kompozit kolonların taşıma kapasiteleri hesaplanırken yapısal çelik ve beton malzeme özelliklerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Eksenel basınca maruz beton dolgulu kompozit kolonun taşıyabileceği yük bağıntı 1.8, bileşik eğilme etkisindeki kolonun taşıma kapasitesi ise bağıntı 1.9-1.11 yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bileşik eğilme etkisindeki beton dolgulu kompozit kolonda oluşan plastik gerilme durumları Şekil 1.17'de verilmiştir (ÇYTHYE, 2016).

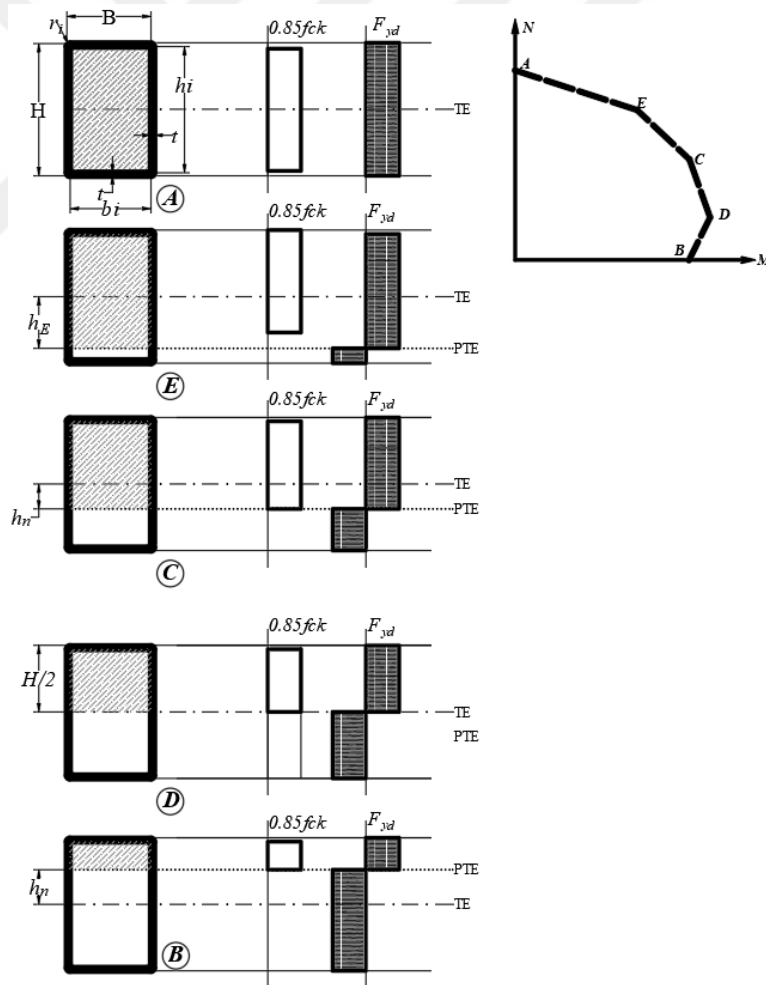
$$P_A = A_s F_y + 0.85 f_{ck} A_c \quad (1.8)$$

Kuvvetli eksen etrafında bileşik eğilme etkisindeki gömme kompozit kolonun taşıyabileceği eksen yük ve moment kapasitesi aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$P_D = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2} \quad (1.9)$$

$$M_D = W_{px} F_y + W_c / 2 (0.85 f_{ck}) \quad (1.10)$$

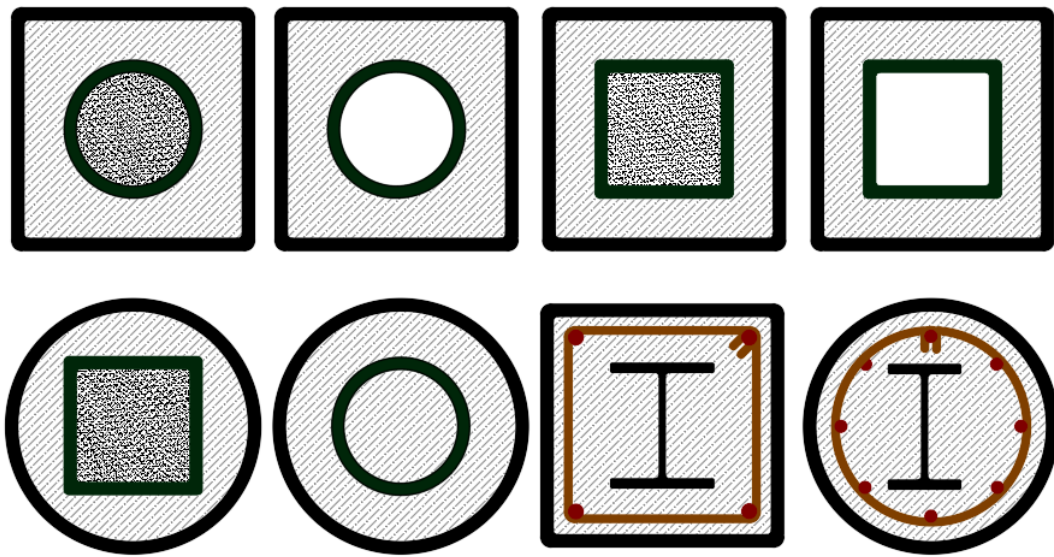
$$W_c = (h_1 h_2^2 / 4) - 0.192 r_i^3 \quad (1.11)$$



Şekil 1.17. Kompozit kirişte pozitif eğilme momenti için genel plastik gerilme yayılımı (ÇYTHYE, 2016)

1.2.3.4. Gömme Beton Dolgulu Kompozit Kolonlar

Gömme beton dolgulu kompozit kolonlar, gömme ve beton dolgulu kompozit kolonların birleştirilmiş halidir. Bu tip kolonlar, betonarme kolonun içine kutu veya boru profil gömülerek oluşturulmaktadır. Gömülen profilin içi tamamen beton ile doldurulmakta, veya en iteki tüpün içi boş bırakılmaktadır (şekil 1.18). Ayrıca bu tip kompozit kolonlar beton dolgulu gömme durumlarında da oluşturulabilmektedir. Bu durumda elik profilin içine ekstra bir elik profil gömülerek oluşturulmaktadır (Han vd., 2014). Gömme beton dolgulu kompozit kolonlarda, ekirdeğın beton ile doldurup doldurulmayacağı, kolondan beklenen taşıma kapasitesine bağlıdır. Ayrıca ekirdek ve dıştaki beton dayanım sınıfları aynı olabileceği gibi farklı dayanıma sahip betonları da kullanılabilir (An ve Han, 2014). Gömme beton dolgulu kompozit kolonların, gömme kompozit kolon, kısmi gömme kompozit kolon ve beton dolgulu kompozit kolonlardan ana farkı ise pasif donatı bulundurulmamasıdır. Gömme beton dolgulu kompozit kolonlarda, yangın dayanım oldukça yüksektir (Kodur, 1999). Ayrıca bu kompozit kolon türü, eğilme rijitliği açısından kompozit kolonların arasında en rijit olsa da, işçiliği diğer kompozit kolonlara göre daha zordur. Dolayısıyla, yüksek dayanım ve aşırı yanal rijitliğe ihtiyaç duyulduğu durumlarda kullanılmaktadır. Günümüzde, gömme dolgulu kompozit kolonlar daha çok geniş açıklıklı köprü ayakların yapımında tercih edilmektedir.

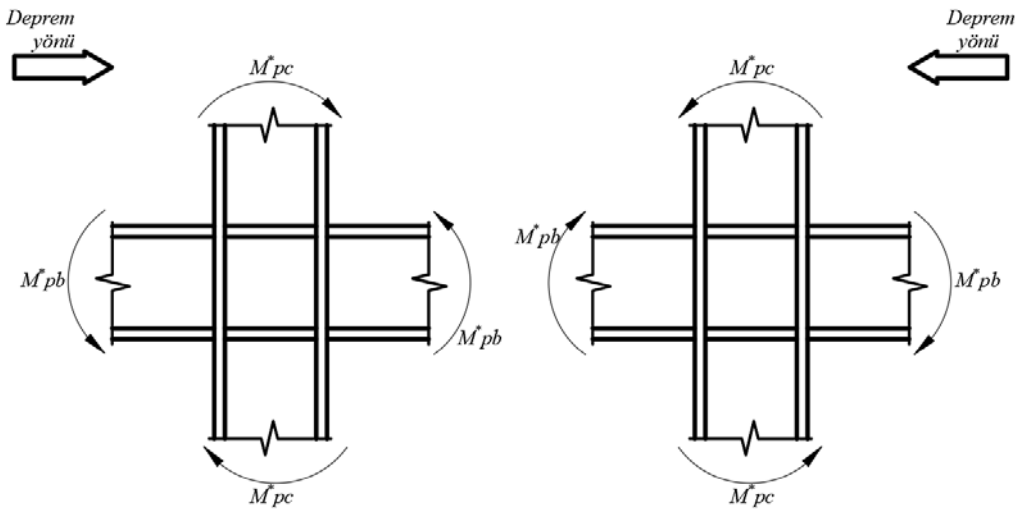


şekil 1.18. Gömme beton dolgulu kompozit kolonlar

1.2.4. Kompozit Kolon-Kiriş Birleşimleri

Yapıların deprem gibi yatay yük etkisi altında, en çok zorlanan bölgelerin başına kolon-kiriş birleşim bölgesi gelmektedir. Son zamanlarda yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılan kompozit taşıyıcı sistemlerin kolon-kiriş birleşim bölgesinin de yatay yüklemelere karşı performansı büyük önem arz etmektedir. Çünkü kolon-kiriş birleşim bölgesinin hasar alması durumunda, bazen yapı onarılmayacak düzeyde hasar alabilmektedir. Dolayısıyla yapılarda deprem gibi yatay yüklenme durumunda kolon-kiriş birleşim bölgesinden istenen en önemli özelliklerden biri, plastik mafsallın kolonlar yerine kirişlerde oluşmasıdır. Ayrıca nihai dayanımda da birleşim bölgesi kırılması istenmemektedir. Bu özellikler göz önünde bulundurularak hazırlanan birçok uluslararası yönetmelikte kolonun kirişten güçlü olma koşulu zorunlu hale getirilmiştir. Kolonların güçlü olma koşulu Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY, 2018) de mevcuttur. Binada kolon ve kiriş boyutlandırması yapılırken, bağıntı 1.12’de gösterildiği gibi, bir kolonun üst ve alt bölgelerindeki toplam eğilme momentlerinin kapasitesi, o kolona bağlanan tüm kirişlerin eğilme moment kapasitesinden daha fazla olmak zorundadır (Şekil 1.19). Güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisi olan bu özellik sayesinde deprem sonrası yapı hasar görse dahi göçme moduna geçmeyip içindeki canlıların can güvenliği sağlanmış olmalıdır.

$$\frac{M_{pc}^*}{M_{pb}^*} > 1.0 \quad (1.12)$$



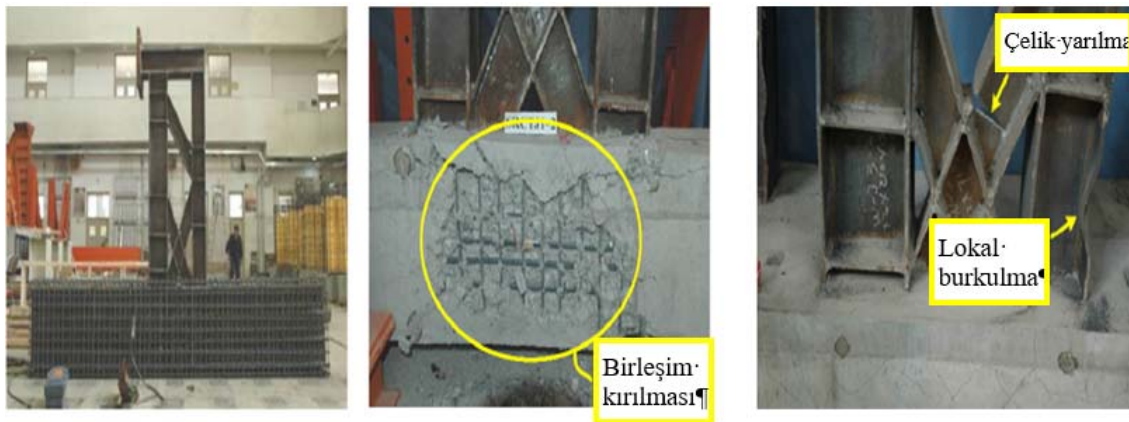
Şekil 1.19. Güçlü kolon zayıf kiriş ilişkisi (TBDY, 2018)

Kompozit yapı elemanlarında, genellikle kolon-kiriş birleşim bölgeleri moment aktaran ve kesme aktaran olarak iki ana gruba sınıflandırılmaktadır. Ayrıca kompozit taşıyıcı sistemlerde kullanılan kolon-kiriş birleşimleri, aşağıda verilen üç sınıfa ayrılmaktadır.

1. Kompozit kolon-çelik kiriş birleşimleri
2. Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşimleri
3. Kompozit kolon-kompozit kiriş birleşimleri

1.2.4.1. Kompozit Kolon-Çelik Kiriş Birleşimler

Kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgesinde, kolonun gömme veya beton dolgulu kompozit olmasından dolayı iki farklı durum söz konusudur. Yüksek katlı yapılarda ve geniş açıklıklarda kirişin çelik ve kolonun kompozit olması daha avantajlıdır (Denavit vd., 2016). Gömme kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgesinde genellikle moment aktaran birleşimler kullanılmaktadır (Kamaris vd., 2016). Çünkü birleşim bölgesine gelen çelik kiriş gömme profile bağlandıktan sonra, kolonun dış yüzeyine kadar beton içine gömülerek ankastre mesnetlenme şekli oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde gömme kompozit kolon-çelik kiriş birleşimi için birçok birleşim tipi önerilmektedir. Ayrıca çelik kiriş dolu gövdeli olması gibi kafes sistemden de oluşturularak kompozit kolona birleştirilebilmektedir (Şekil 1.20). Bu tip birleşimlerde yatay yük etkisinde, birleşim bölgesinin kırılması ve çoğu zaman çelik kirişte lokal burkulmalar meydana gelmektedir (Tao vd., 2013)



Şekil 1.20. Kompozit kolon kiriş birleşim bölgesinin detayı (Tao vd., 2013)

Gömme kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgelerinde, küçük yatay yüklemelerde birleşim bölgesinin betonu çatlamaya başlamakta ve yüklemesiyle beraber çatlaklar genişlenmektedir. Yüklemenin ileriki aşamalarında ise kompozit kolonun betonunda ezilmeler meydana geldikten sonra yük tamamen çelik kiriş, gömme profil ve gövde betonuna aktarılmaktadır (Şekil 1.21). Bu durumda kirişte lokal burkulmalar, yanal burkulmalar ve bazen pekleşen kirişlerde gevrek kırılmalar meydana gelmektedir (Liao vd., 2014).



Şekil 1.21. Kompozit kolon kiriş birleşim bölgesinin detayı (Liao vd., 2014)

Kompozit kolon-çelik kiriş birleşimlerinde, kesme aktaran birleşimler daha çok beton dolgulu kompozit kolonlarda kullanılmaktadır. Bu tip birleşimler moment aktarmayıp sadece aksel yük ve kesme kuvveti taşıyabilmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle kesme aktaran birleşimler bulonlu olup kiriş başlıkları birleşim bölgesinde serbesttir.

Bazı durumlarda kesme aktaran birleşimlerde kirişin alt başlığı serbest olup çelik bir üçgen guse ile güçlendirilmektedir (Şekil 1.22). Bu tip birleşimler ise kesmenin yanı sıra çelik gusenin taşıma kapasitesine kadar moment de taşıyabilmektedir. Bu tip birleşimlerde, birleşim bölgesinin yük taşıma kapasitesi çeliğin yük taşıma kapasitesinden fazla olması durumunda aşırı yüklemelerde çelik kirişte lokal ve yanal burkulmalar oluşabilmektedir (Lu vd., 2017).



Şekil 1.22. Beton dolgulu kompozit kolon-guseli çelik kiriş birleşim bölgesinin kırılma şekli (Lu vd., 2017)

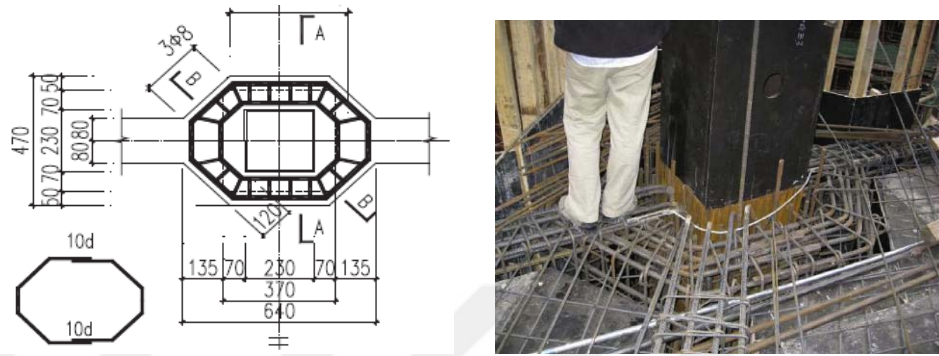
1.2.4.2. Kompozit Kolon-Betonarme Kiriş Birleşimleri

Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşimi, en çok gömme beton dolgulu kompozit kolon-kiriş birleşimlerinde kullanılmaktadır. Geleneksel betonarme kolon-kiriş birleşim bölgesinden farkı ise kolonun ve birleşim bölgesinde çelik profilin olmasıdır. Yapılan araştırmalara göre birleşim bölgesinde betonarme kirişin sürekliliği birleşim bölgesinin rijitliğini artırmaktadır. Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim bölgesi için geçiş elemanları ve diyafram elemanları birçok araştırmacı tarafından önerilmektedir.

Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşimlerinde kullanılan diyafram elemanları genellikle kolon-kiriş birleşim bölgesinin yük taşıma kapasitesini artmakta ve yapının yatay rijitliğini artırmaktadır. Buna ilave olarak söz konusu birleşim elemanları kolon kiriş birleşim bölgesinin aksenal yük taşıma kapasitesini ve kesme dayanımını artırmaktadır. Deprem riski yüksek olan bölgelerde birçok yönetmelikte yapıların yüksek süneklilik düzeyine göre boyutlandırılması zorunludur. Süneklilik düzeyi yüksek olan yapılarda güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisi ve kolon kiriş birleşim bölgesinin kesme kuvveti taşıma kapasiteleri önemlidir. Dolayısıyla dış veya iç diyaframlı kolon-kiriş birleşimler bu iki şartı normal birleşimlere göre rahatlıkla sağlamakta ve deprem riski yüksek olan bölgelerde kullanılması önerilmektedir.

Pan vd., (2013) yaptıkları çalışmada gömme beton dolgulu kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim bölgesi için halka kirişi tasarlamışlardır (Şekil 1.23). Tasarlanan bu halka kiriş betonarme olup kompozit kolon içindeki çelik profil etrafından dönmektedir. Bu birleşim tipinde betonarme kirişin boyuna donatıları çelik profile kadar devam etmektedir. Yaptıkları çalışmada dört adet ölçekli halka kirişli kolon-kiriş birleşimli deney elemanını deneysel ve

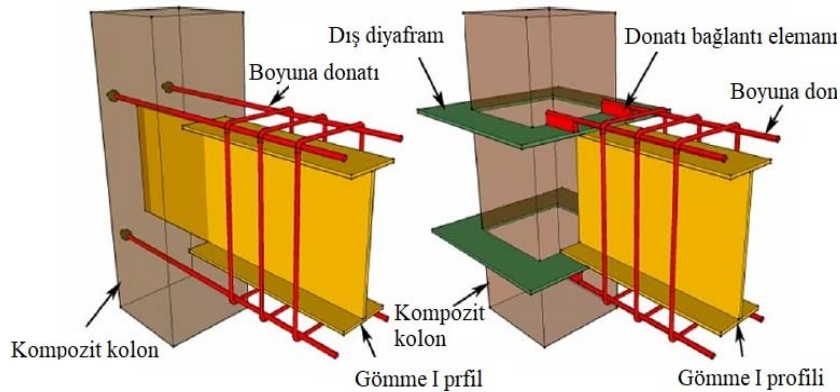
sayısal olarak incelemişler. Çalışma sonucu tasarlanan bu halka kiriş, kolon-kiriş birleşim bölgesinin taşıma kapasitesini artırdığını ve tekrarlı yatay yük altında ise güçlü kolon zayıf kiriş özelliğini gösterdikleri ifade edilmiştir. Fakat tasarlanan bu sistemin enerji yutma kapasitesinin düşük olduğu belirtilmiştir.



Şekil 1.23. Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşimindeki halka kiriş (Pan vd., 2013)

1.2.4.3. Kompozit Kolon-Kompozit Kiriş Birleşimleri

Kompozit kolon-kompozit kiriş birleşimleri daha çok yangın ve korozyon korumalı yapılarda kullanılmaktadır. Özellikle kirişlerin gömme ve yarı gömme olduğu durumlarda bu tip birleşim bölgelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kompozit kolon-kompozit kiriş birleşimlerinde de kompozit kolon-betonarme kiriş birleşimlerinde olduğu gibi, dış, geçmeli diyafram ve iç diyaframlı birleşim tipleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 1.24).



Şekil 1.24. Gömme kompozit kiriş-beton dolgulu kompozit kolon birleşim detayı ve deney sonrası oluşan kırılma şekilleri (Zhou ve Yi, 2019)

1.3. Yapıların Dinamik Karakteristikleri

Yapıların dinamik karakteristikleri olarak bilinen doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı, o yapının dinamik yüklemelere karşı davranışını belirleyen parametrelerin başında gelmektedir. Bir yapının dinamik karakteristiklerinin bilinmesi, deprem gibi yer hareketi sırasında yapı davranışının nasıl olacağına dair ön fikir vermekte ve depreme dayanıklı yapı tasarımı projelendirme sırasında yol gösterebilmektedir.

Son zamanlarda, mevcut yapıların dış etkilere ve servis yüklerine karşı davranışını takip eden yapı sağlığı izleme yöntemi özel yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Ulusoy vd., 2012). Bu yöntem ile yapının dinamik karakteristikleri titreşime dayalı periyodik olarak takip edilmekte ve yapıda oluşan herhangi bir olumsuzluk durumunda müdahale olanağı sağlanabilmektedir (Dinçer vd. 2015).

Bir yapının periyoduyla bulunduğu zeminin hakim periyodunun çakışması durumunda yapıda rezonans olayı meydana gelmektedir (Keçeli ve Cevher, 2018). Rezonans olayında yapı sonsuz titreşime maruz kalacağından, yapıda oluşan iç kuvvetler aşırı derecede büyür. Dolayısıyla yapının ağır hasar görmesine veya göçmesine sebep olur. Bu durumun oluşmaması için projelendirme sırasında yapının periyodu ve zeminin hakim periyodu belirlenir; periyodu kısa yani sert zeminlerde uzun periyotlu yapılar, yumuşak ve hakim periyodu uzun zeminlerde rijit veya başka bir deyişle kısa periyotlu yapılar tasarlanarak rezonans gibi tehlikeli durumların oluşmasının önüne geçilebilir (Kaynak, 2012). Dolayısı ile yapının dinamik karakteristiklerinin projelendirme aşamasında belirlenmesi ve ona göre projelendirme yapılması önemlidir. Yapıların veya yapı elemanların dinamik karakteristikleri Modal Analiz yöntemiyle belirlenebilmektedir.

1.3.1. Modal Analiz

Çok serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi kütle, sönüm ve rijitlik parametrelerine bağlıdır. Bağlantı 1.13'te; çok serbestlik dereceli bir sistemin hareket denkleminin genel hali verilmiştir. Burada, $[M]$ kütle matrisini, $[C]$ sönüm matrisini, $[K]$ rijitlik matrisini, $\{x(t)\}$ yerdeğiştirme vektörünü, $\{\dot{x}(t)\}$ hız vektörünü, $\{\ddot{x}(t)\}$ ivme vektörünü ve $\{F(t)\}$ kuvvet vektörünü göstermektedir.

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{F(t)\} \quad (1.13)$$

Bir yapının dinamik karakteristikleri olarak bilinen doğal frekans ve mod şekilleri sönümsüz serbest titreşime ait hareket denklemleri ile belirlenebilmektedir. Serbest titreşim hareketinde, dış kuvvetin olmadığı kabul edilmektedir. Dolayısıyla sistemin zamana bağlı sönümsüz serbest titreşim hareket denklemleri bağıntı 1.14'teki gibi yazılabilmektedir. Denklem 1.14'ün çözümü için denklem 1.15 dönüşümü kullanılmakta ve 1.16'de verilen denklem elde edilmektedir. Bu denklemin çözümü için bağıntı 1.17'deki gibi karakteristik determinantı yazılarak sıfırdan farklı değerler için çözümlenebilmektedir. 1.17 denkleminin çözümünden n serbestlik derecesi kadar sönümsüz doğal açısal frekans (özdeğer) $(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n)$ elde edilmektedir. Elde edilen doğal frekansların küçükten büyüğe doğru sıralandığında, değerce en küçük frekans incelenen yapının hakim frekansı ve bu hakim frekansa karşılık gelen mod şekli ise (özvektör) hakim mod şekli olarak adlandırılmaktadır (Chopra, 2007).

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{0\} \quad (1.14)$$

$$\{x(t)\} = \{X\}e^{i\omega t} \quad (1.15)$$

$$([K] - \omega^2 [M])\{x\}e^{i\omega t} = \{0\} \quad (1.16)$$

$$\det|[K] - \omega^2 [M]| = 0 \quad (1.17)$$

Günümüzde yapıların ve yapı elemanlarının dinamik karakteristikleri veya diğer adıyla modal parametreleri olan doğal frekans, mod şekli sönüm oranları üç farklı yöntem ile belirlenebilmektedir. Bu yöntemler her türlü yapı ve yapı elemanlarına uygulanabilmektedir. Söz konusu yöntemler aşağıda verilmiştir.

1. Deneysel yöntemle dinamik karakteristiklerin belirlenmesi
2. Sayısal yöntemle dinamik karakteristiklerin belirlenmesi
3. Analitik yöntemle dinamik karakteristiklerin belirlenmesi

1.3.2. Deneysel Modal Analiz Yöntemi

Yapıların ve yapı elemanların dinamik karakteristikleri olan mod şekilleri, doğal frekansları ve sönüm oranlarını, titreşime dayalı deneysel ölçümler ile belirleyen yöntem Deneysel Modal Analiz Yönetimi (DMA) denilmektedir. Deneysel Modal Analiz yöntemiyle her türlü yapının dinamik karakteristikleri belirlenebilmektedir. DMA yönetiminin en büyük avantajlardan biri tahribatsız olmasıdır. Dolayısıyla ölçümde oluşan bir aksilik yaşanması veya tekrar ölçülmesi gereken durumlarda yapıya zarar vermeden rahatlıkla ölçüm tekrarlanabilmektedir. Titreşim kaynağına bağlı olarak DMA yöntemi iki sınıfa ayrılmaktadır;

- a) Çevresel titreşim yöntemi.
- b) Zorlanmış titreşim yöntemi

Deneysel Modal analiz yöntemi günümüzde yığma, betonarme, çelik, ahşap ve kompozit yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ren ve Peng, 2005; Gentile ve Gallino, 2008; Siringoringo ve Fujino, 2008; Yin vd., 2009; Amiri ve Sabbagh, 2011; Shakib ve Parsaeifard, 2011; D'Ambrisi vd., 2012; Votsis vd., 2012; Sevim vd., 2013; Roia vd., 2014; Altunişik vd., 2016; Lacanna vd., 2016; Compan vd., 2017; Brownjohn vd., 2018; Ercan, 2018; Gunaydin vd., 2018; , Kalkan vd., 2018; Bao ve Shi, 2019; Gara vd., 2019; Lacanna vd., 2019).

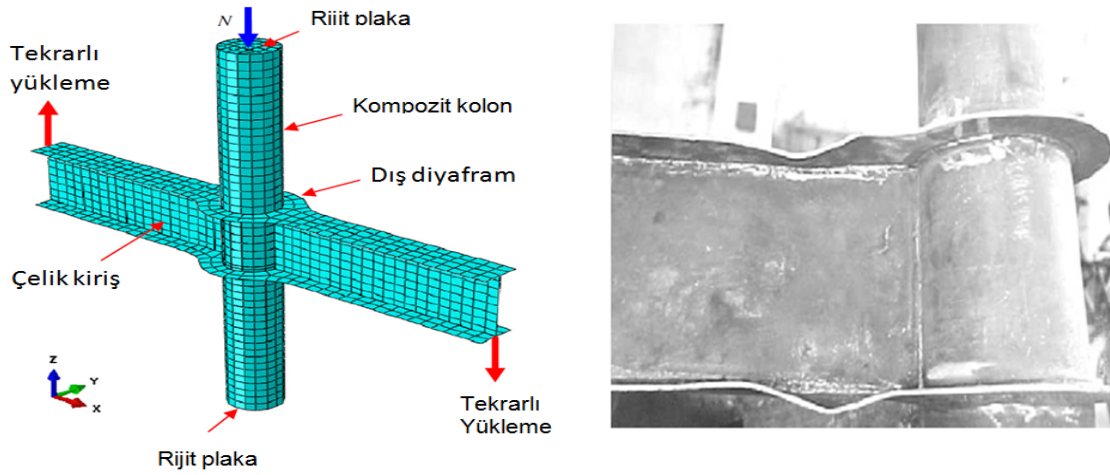
Yapılarda servis ömrü boyunca aşırı yüklenme, ısı değişiminden dolayı oluşan genleşme ve büzülme, farklı oturma, deprem, patlama, darbe ve dinamik titreşim gibi etkilerden dolayı birçok çeşit hasar oluşabilmektedir (Pathirage vd., 2018). Oluşan hasarın tipi, miktarı ve yeri yapının güvenliği için büyük önem arz etmektedir (Nozari vd., 2017). Günümüzde yapıda oluşan hasarın tahmini tespiti için birçok yöntem geliştirilmiştir. Titreşime dayalı hasar tespitleri genellikle dinamik karakteristikleri olan doğal frekans, mod şekli, sönüm oranı ve kütle, rijitlik gibi yapısal parametrelerin değişimine bağlıdır (Lamarche vd., 2008; Chellini vd., 2010; Ye vd., 2012; Altunişik vd., 2017; Grip vd., 2017). Deneysel Modal Analiz yardımıyla yapıdan periyodik olarak alınan ölçümler ile dinamik karakteristiklerin değişimleri üzerinden rijitlik azalımı ve hasar tahmini yapılabilmektedir.

Deneysel Modal Analiz yönetimiyle ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcut olmasına rağmen, çelik-betonarme kompozit yapılar üzerine yapılan çalışmaların sayısı oldukça azdır (Jaishi vd., 2007; Chellini vd., 2010; Polanco vd., 2016; Hüsem vd., 2018; Malveiro vd., 2018).

1.4. Kompozit Kolon-Kiriş Birleşimleri ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar

Son yıllarda yaygın olarak kullanılan kompozit taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesi amacıyla araştırmacılar tarafından deneysel ve sayısal olarak birçok çalışma yapılmaktadır. Kompozit kolon-kiriş birleşimlerinin tekrarlı yatay yük etkisindeki davranışlarının incelemesi başlığıyla yapılan bu çalışma konusu ile ilişkili olan güncel literatür aşağıda verilmektedir.

Zhang vd., (2012) yaptıkları çalışmada, tekrarlı yatay yük etkisinde, beton dolgululu kompozit kolon ile I profilden oluşan çelik kiriş elemanının oluşturduğu birleşim bölgesini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çelik kiriş, kompozit kolonun profiline rijitleştirici levhalardan oluşturulan dış diyafram birleşim elemanı ile kaynaklı olarak birleştirilmiştir (Şekil 1.25). Çalışma sonucu dış diyafram ile güçlendirilen birleşim bölgesinin taşıma kapasitesi kirişin taşıma kapasitesinden büyük olmasından dolayı plastik mafsallığın kirişte oluşmasını sağlamaktadır. Bu durum ise güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisini göstererek depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılması önerilmiştir.

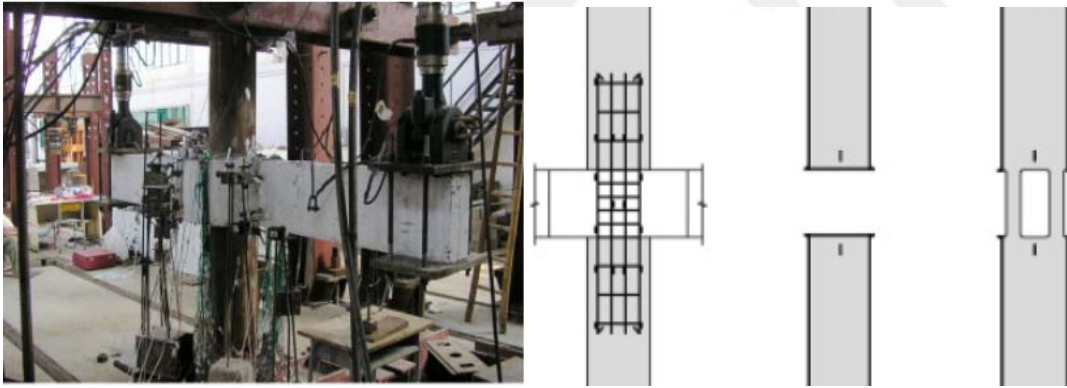


Şekil 1.25. Betonarme-çelik kompozit kolon-çelik kiriş birleşim detayı (Zhang vd., 2012)

Yang, ve Tan (2013) yaptıkları çalışmada, kompozit kolon-kompozit kiriş birleşim bölgesinin kırılma şekli ve süneklik düzeyini incelemiştir. Deneysel çalışmada kullanılan kolon-kiriş birleşimine sahip olan çerçevelerin, statik yüklemeye altındaki eğilme davranışı incelenmiştir. Çalışmada kolon-kiriş birleşim bölgesi bayrak levhasıyla güçlendirilmiş, böylece birleşimin taşıma gücünde artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bayrak levhası

kullanılan birleşim bölgesi sünek davranış göstererek, bayrak levhalarının birleşimin enerji yutma kapasitesinde artış sağladığı ifade edilmiştir.

Chen vd., (2014) yaptıkları çalışmada, kompozit kolon çelik kiriş birleşim bölgesine dairesel bir geçiş elemanı veya dairesel kiriş önermişlerdir. Önerilen geçiş elemanı iki farklı durumda deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Birinci durumda, , çelik kolon-betonarme kiriş ile birleştiği geçiş bölgesinde, süreksiz olup betonarme kirişin donatıları karşı tarafa kadar devam etmektedir. Yani çelik profil süreksiz ve betonarme kiriş süreklidir. İkinci durumda çelik kolon-betonarme kiriş birleşim bölgesinde, çelik kolon kısmi olarak kesilerek boşluklar oluşturulmuştur (Şekil 1.26). Çalışma sonucunda, önerilen dairesel kolon-kiriş birleşim bölgesinin, tekrarlı ve eksenel yük altındaki dinamik davranışı güçlü kolon-zayıf kiriş ve güçlü birleşim-zayıf eleman ilkelerine uygun olduğu gözlemlenmiştir. Kirişte oluşabilecek kırılmalar birleşim bölgesinde bulunan geçiş elemanı tarafından karşılandığı tebit edilmiştir. Ayrıca kirişteki donatı oranı arttıkça geçiş bölgesinin dayanımı artmakta, bu durum birleşim bölgesinin sünekliliği azalmakta ve bunun sebebi olarak, kiriş donatılarının birleşim bölgesinde karşıya geçmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

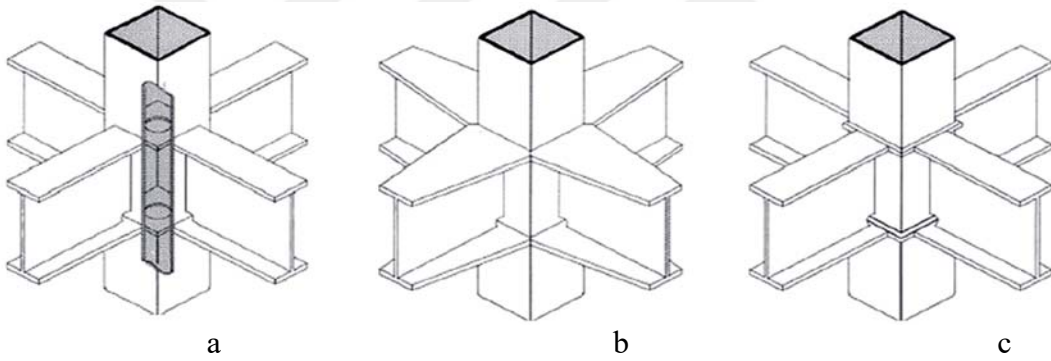


Şekil 1.26. Beton dolgulı kompozit kolon-betonarme kiriş için önerilen geçiş elemanı (Chen vd., 2014)

Wang vd., (2014) yaptıkları çalışmada çalışmasında, düşük tekrarlı yük etkisi altında bulunan içi beton dolgulı kompozit kolon ile H kesite sahip çelik kirişin birleşim noktasının kırılmasını incelenmiştir. Birleşim bölgesinin tam olarak doğru çalışması için kiriş ve kolon elemanlarının birleştirileceği noktalara boşluk açılarak kaynak yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, kullanılan kiriş elemanlarında oluşan plastik mafıllar, birleşimin sünekliliğini artırmaktadır. Ayrıca birleşimde bulunan boşluklar H kesite sahip çelik kiriş

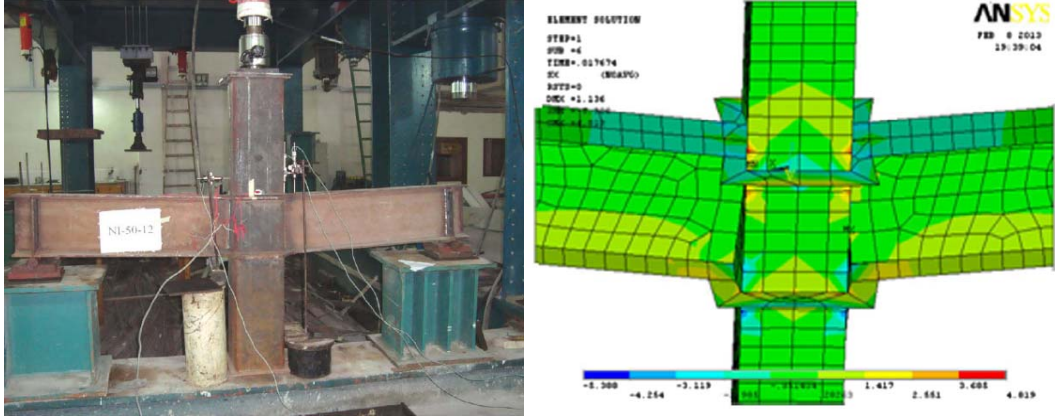
elemanında plastik mafsall oluşumunu sağlamaktadır. Birleşimde bulunan elemanların bu davranışı güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisini gösterdiği vurgulanmıştır.

Qin vd., (2014) yaptıkları çalışmada, beton dolgulu dikdörtgen kesitli kompozit kolon içten yapılan rijit birleşim detayının üç farklı şekilde tekrarlı yatay yük etkisi altında deneysel olarak incelemişlerdir (Şekil 1.27). Çalışma sonucunda üç tip kırılma olduğu gözlemlenmiştir. Bunlardan ilki kaynak bölgesinde çekme kırılması, ikincisi kaynağın pekleştirdiği bölgede çekme kırılması, üçüncü kırılma tipi ise kirişteki yanal burkulmadan kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Çalışmadan elde edilen moment-eğrilik grafikleri tekrarlı yükler altında, herhangi bir kısalma olmadan, stabil çevrimsel yük davranışı göstermektedir. Ayrıca kullanılan konik birleşim ve rijitleştirici levhalar, birleşim bölgesinin moment taşıma kapasitesini artırdığı özellikle kompozit çerçevelerde bu birleşimlerin kullanılmasının gerektiği vurgulanmıştır.



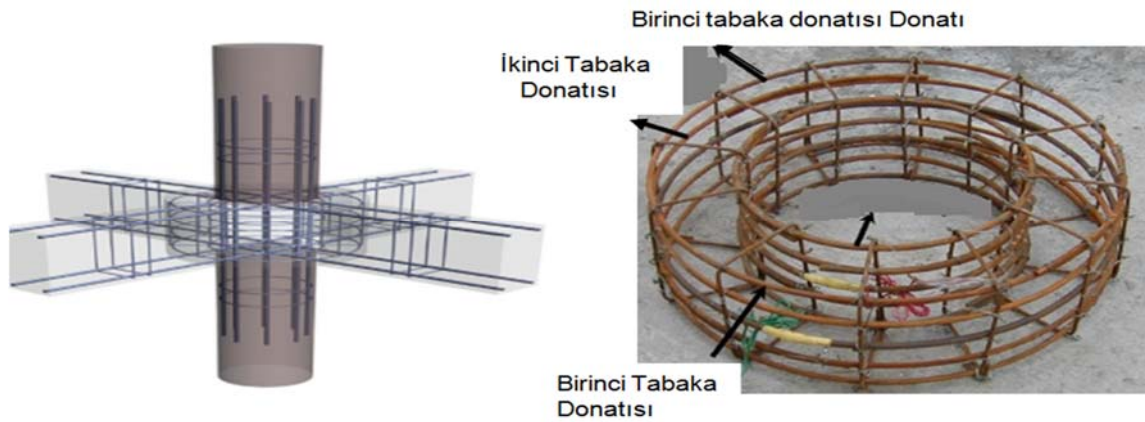
Şekil 1.27. Kompozit kolon- kiriş birleşim detayları (a) içten diyaframlı (b) dıştan diyaframlı ve (c) geçmeli diyaframlı (Qin vd., 2014)

Dessouki vd., (2015) yaptıkları çalışmada, ilk olarak çelik kirişin dikdörtgen çelik kolona direk kaynatılarak oluşturulan birleşimin moment taşıma kapasitesini incelemişlerdir (Şekil 1.28). Daha sonra aynı birleşimi dıştan rijit diyafram ile güçlendirilerek kolon-kiriş birleşim bölgesinin taşıma kapasitelerini karşılaştırmışlardır. Yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmalar sonucu dıştan diyaframla güçlendirilen birleşimin taşıma kapasitesi %22-%33 oranında arttığı ifade edilmiştir. Ayrıca dıştan diyafram ile güçlendirilen birleşime sahip dikdörtgen çelik kolonun içi beton doldurularak, başka bir deyişle beton dolgulu kompozit kolona dönüştürüldükten sonra moment taşıma kapasitesi %65 civarında arttığını yaptıkları çalışmalarda ifade etmişlerdir.



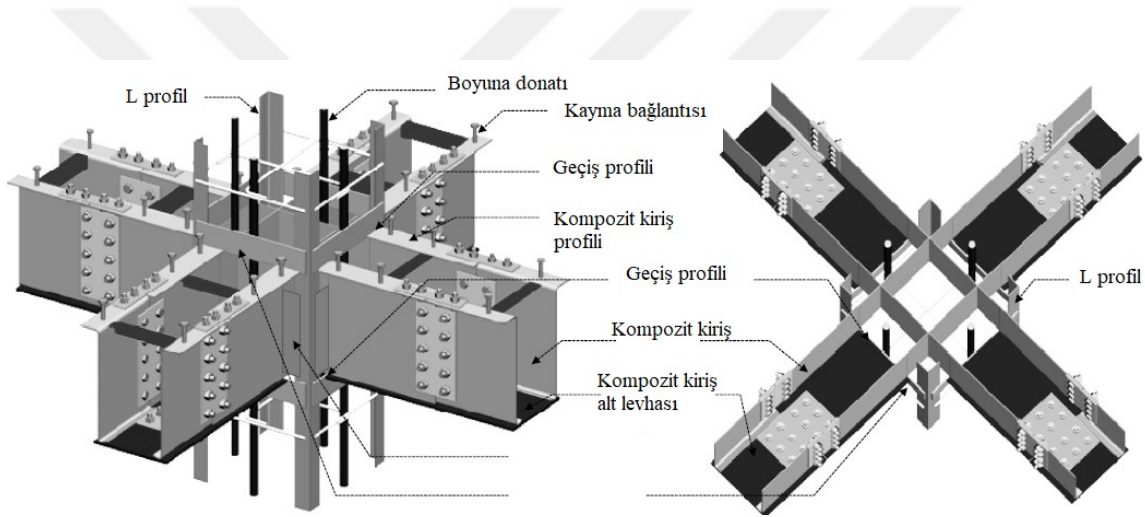
Şekil 1.28. Kompozit kolon kiriş birleşim deney düzeneği (Dessouki vd., 2015)

Chen vd., (2015) daha önce geliştirdikleri dairesel geçiş elemanın aksenal yük altında performansını incelemişlerdir. Bu çalışmada kompozit kolonun çelik profil birleşim bölgesinde tamamen süreksizdir. Çalışma sonucunda, birleşim bölgesine geçiş elemanı yerleştirilmiş kompozit kolon elemanının aksenal yük taşıma kapasitesi, beton dolgululu kompozit kolondan daha fazla olduğu görülmüştür. Yük aktarımında, geçiş bölgesine yerleştirilen fret donatılı geçiş elemanın yüksekliğinin önemli bir faktör olduğunu göstermektedir (Şekil 1.29). Ayrıca çalışmada belirlenen ampirik bir bağıntı ile bu tip birleşimlerin maksimum aksenal yük taşıma kapasitesi belirtilmiştir. Geliştirilen bu tip birleşimlerin daha çok kompozit kolon-betonarme kiriş bölgesinde ve kirişsiz betonarme döşemelerdeki birleşimlerde uygulanmasının önemli olduğu vurgulanmıştır.



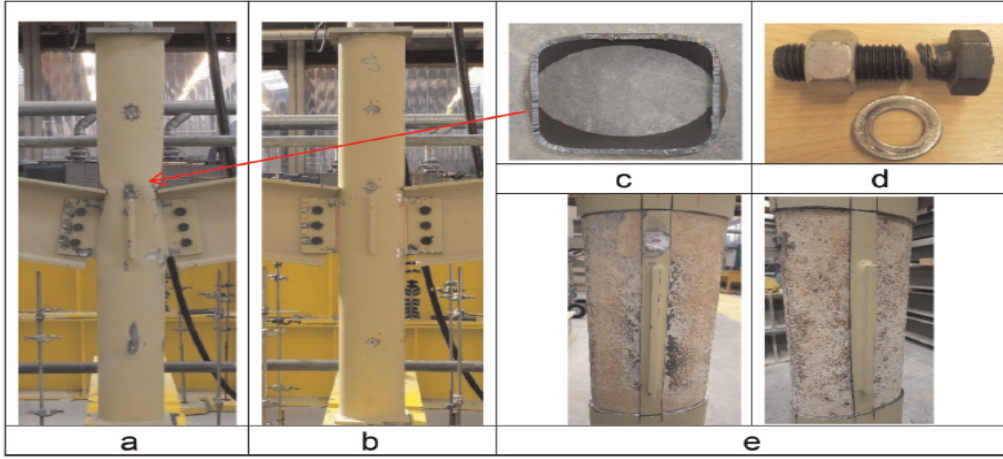
Şekil 1.29. Kompozit kolon –betonarme kiriş için geliştirilen birleşim bölgesinin geçiş elemanının detayı (Chen vd., 2015)

Hawang vd., (2015) yaptıkları çalışmada, tekrarlı yük etkisi altında bulunan U kesitli profilden oluşan kompozit kiriş ile dört köşesinde yerleştirilen L profillerden oluşturulan kompozit kolonun, birleşim bölgesinin taşıma gücü, şekildeğiştirme ve enerji tüketme kapasitesi incelenmiştir (Şekil 1.30). Deneyler sonucu taşıma gücü, enerji yutma kabiliyeti ve şekildeğiştirmesi AISC (2010)'de tanımlanan orta düzeyli moment taşıyan çerçeveye eşdeğer sonuçlar verilmiştir. Ayrıca AISC (2010)'da bulunan kesme tasarım dayanımı, öngörülenden 1.53-2.23 katsayı değerinden daha fazla alındığında, birleşimde oluşacak gevrek kırılmanın önleyebileceği ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan birleşimlerin, özellikle büyük açıklıkları geçebilen kirişlerin kompozit kolonlar ile bağlandığı yerlerde uygulanmasının doğru olduğu belirtilmiştir.



Şekil 1.30. Kompozit kolon-kompozit kiriş için önerilen iç diyaframlı birleşim elemanı (Hawang vd., 2015)

Yang vd., (2015) yaptıkları çalışmada, içi beton dolu ve içi boş oval kesite sahip kolon-çelik kiriş birleşim bölgesini incelemişlerdir (Şekil 1.31). Çalışma sonucu içi boş oval kesite sahip çelik kolonun kırılması, birleşim bölgesine yakın bir yerde ve içe doğru yanıl burkulma olarak gözlemlenmiştir. Beton dolgulu oval kesite sahip kompozit kolonlarda ise, birleşim bölgesinde oluşan dönme beton tarafından engellenmekte, ancak birleşimde bulunan cıvatalarda kesme kırılması görülmektedir. Ayrıca tüm birleşimlerde beton dolgulu kompozit kolonların taşıma kapasitesinin daha yüksek olduğu ifade edilmiştir.



Şekil 1.31. Kesme aktaran kompozit kolon-kiriş birleşim tipi (Yang vd., 2015)

Liv vd., (2017) yaptıkları deneysel çalışmada, kompozit kolon kompozit kiriş birleşimlerini deneysel olarak incelemiştir. Tasarladıkları birleşim tipinde çelik kiriş başlıklarında azalma olup beton dolgulu kompozit kolona diyafram ile bağlanmıştır. Ayrıca kompozit kirişleri betonarme döşemeye sahiptirler (Şekil 1.32). Çalışma sonucu başlıklarında azalma olan kompozit birleşim bölgesinin sismik davranışı FEMA-350 (2001) ve Eurocode 8 (2005) gibi uluslararası yönetmeliklerde verilen şartları sağlamaktadır. Ayrıca deprem riski olan bölgelerde bu tip birleşimlerin, tasarım sırasında betonarme döşemenin dikkate alınarak kullanılması önerilmiştir.



Şekil 1.32. Kompozit kolon-kompozite kiriş için önerilen iç diyaframlı birleşim elemanı (Li vd., 2017)

Liv vd. (2018) yaptıkları çalışmada beton dolgulu kompozit kolonlara ve betonarme kirişe sahip çerçeveyi tekrarlı yatay yük etkisinde incelemiştir. Burada çelik profil ile

betonarme kiriş birleşim bölgesinde boşluklar açılarak kirişin boyuna donatısı kolonun dış yüzüne kadar devam ettirilmiştir (Şekil 1.33). Çalışma sonucu, betonarme kiriş kompozit kolonun birleşim bölgesinden kırılmıştır. Daha sonra kompozit kolonda lokal burkulmalar meydana gelmiştir. Dolayısıyla plastik mafsalın kirişte olduğu ve güçlü kolon zayıf kiriş ilişkisini sergilediğini belirtmişler.



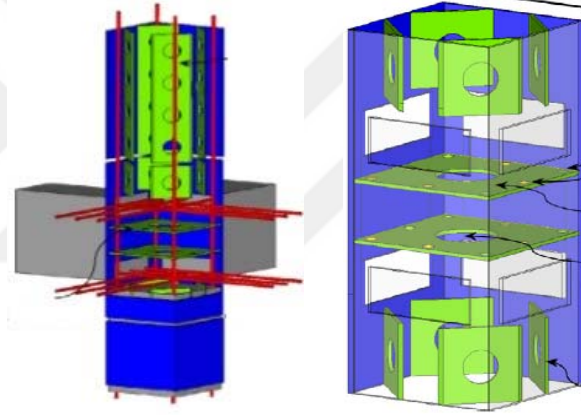
Şekil 1.33. Kompozit kolon –betonarme kirişli çerçeve deney elemanı (Liv vd., 2018)

Wang vd., (2018) yaptıkları çalışmada, kompozit kolon-bulon birleşimli alın levhalı kompozit kiriş birleşim bölgesini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir (Şekil 1.34). Çalışma sonucu, yarı rijit cıvata birleşimli deney elemanların yüksek süneklığe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu tip birleşimde maksimum taşıma kapasitesinin %40'ına kadar elastik davrandığı ve %80'ine kadar de montaj yapılabileceği belirtilmiştir. Dolayısıyla bu tip birleşimin en büyük avantajlarından birinin orta düzey hasar gördükten sonra sökülüp yerine yeni kirişin monte edebilme özelliği ifade edilmiştir.



Şekil 1.34. Kompozit kolon-kompozit kiriş birleşimi için önerilen iç diyaframlı birleşim elemanı (Wang vd., 2018)

Zhou vd., (2018) yaptıkları çalışmada, beton dolgulu kompozit kolon-betonarme kiriş birleşimi için iç diyaframlı birleşim bölgesi geliştirmişlerdi (Şekil 1.35). Çalışma kapsamında, geliştirilen bu birleşim diyaframında, levha kalınlığının diyafram boylarına oranı, diyaframda kullanılan malzeme kalınlıkları ve eksenel yük durumuna göre tekrarlı yatay yük etkisinde incelemiştir. Ayrıca geliştirilen bu birleşimi Chen vd., (2014)'in geliştirdikleri dairesel geçiş elemanı ile karşılaştırmışlar. Çalışma sonucu, tüm dört deney elemanında kırılmalar kirişte oluştuğunu ve güçlü kolon zayıf kiriş ilişkisini sergiledikleri ifade edilmiştir. Üstelikle bu tip iç diyaframlı birleşimin süneklik düzeyi dairesel geçiş elemanına göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu birleşimin bir diğer avantajı ise kolon-kiriş birleşim bölgesinin görüntüsünü bozacak herhangi bir kalınlık ve ek bölgenin olmamasıdır.



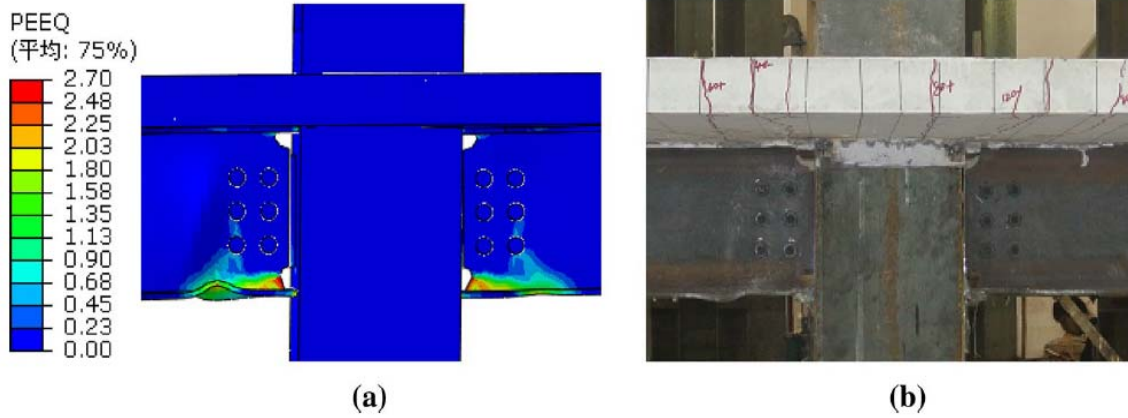
Şekil 1.35. Kompozit kolon-betonarme kiriş için önerilen iç diyaframlı birleşim elemanı (Zhou vd., 2018)

Ma vd., (2019) yaptıkları çalışmada, beton dolgulu gömme kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim bölgesini sabit eksenel yük ve tekrarlı yük etkisinde incelemişler (Şekil 1.36). Çalışma sonucu birleşim bölgesinde dört tip kırılmaların oluştuğu ifade edilmiştir. Bu kırılmalar; kirişte eğilme kırılması, kirişin eğilme altında kesme kırılması, kolonda eksenel yük altında eğilme kırılması ve birleşim bölgesinin kesme kırılması olarak gruplandırılmıştır. Özet olarak eğilme kırılmalarında kesme kırılmalarına göre süneklik düzeyin yüksek, enerji tüketme kapasitesinin daha fazla ve dayanım kaybının az olduğu ifade edilmiştir.



Şekil 1.36. Kompozit kolon-betonarme kiriş için önerilen iç diyaframlı birleşim elemanı (Ma vd., 2019)

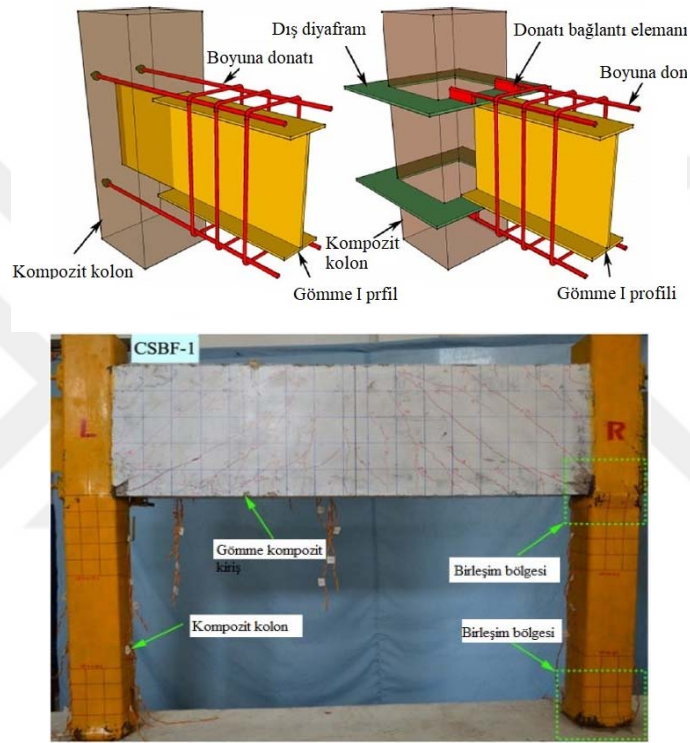
Xu vd., (2019) yaptıkları çalışmada sadece kesme aktaran kompozit kolon-çelik kiriş birleşimlerinin sayısal modeller üzerinde tekrarlı yatay yük etkisi altında incelemeler yapmışlardır. Çalışmalar sonucu, kompozit döşemesi olmayan elemanların hepsinde kaynaklarda kırılmalar olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu tip birleşimlerde kaynakların standartlara uygun olması önerilmektedir. Kompozit döşemeli numunelerde, kompozit döşemenin birleşim bölgesinin taşıma kapasitesi üzerine bükük etkisinin olduğu ortaya konulmuştur. Çünkü gelen yükün hepsi birleşim bölgesine aktarmadan kompozit döşeme tarafından karşılandığını ifade etmişlerdir (Şekil 1.37).



Şekil 1.37. Beton dolgulu kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgesinin kırılma şekli (a) sayısal modelde (b) deney elmanın (Xu vd., 2019)

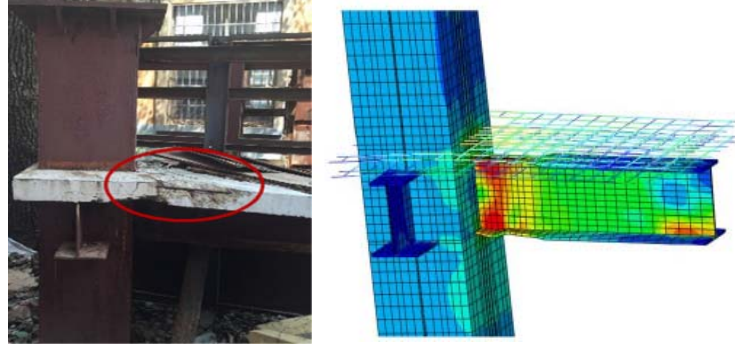
Zhou ve Yi (2019) yaptıkları çalışmada, beton dolgulu kompozit kolon-gömme kompozit kiriş birleşimlerini tekrarlı yatay yük etkisinde incelemişlerdir. Çalışmada oluşturulan çerçevelerde iki tip kolon-kiriş birleşim detayı kullanılmıştır (Şekil 1.38)

Yaptıkları deneysel ve sayısal çalışma sonucu, kolon ve kirişin rijitliği ile eksenel yük taşıma kapasitesi kompozit çerçevelerin yük taşıma kapasitesini doğrudan etkilediği ifade edilmiştir. Buna karşın gömme kompozit kirişlerde iç diyafram ve doğrudan bağlantı gibi birleşim detayının taşıma kapasitesi üzerindeki etkisinin az olduğu belirtilmiştir. Ayrıca beton dolgulu kompozit kolonlu çerçevelerde asıl enerji tüketme kapasitesi çelik profilin özelliğine bağlı olduğu da çıkartılan sonuçlar arasında yer almaktadır.



Şekil 1.38. Gömme kompozit kiriş-beton dolgulu kompozit kolon birleşim detayı ve deney sonrası oluşan kırılma şekilleri (Zhou ve Yi, 2019)

Zhou vd., (2019) yaptıkları çalışmada, geliştirdikleri kompozit kolon- geçmeli kompozit kiriş birleşim elemanı tekrarlı yatay yükleme durumunda deneysel ve sayısal olarak incelemişler (Şekil 1.39). Geçmeli kirişlerde en büyük problemlerden biri, beton dökmesi sırasında kolon-kiriş birleşim bölgesinin tamamen doldurulamamasıdır. Çalışma kapsamında, bu problemin ortadan kaldırılması için gömme çelik kiriş başlıklarında daralma yapılmıştır. Çalışma sonucu, geliştirilen birleşim elemandaki çelik profilin üst başlığında daraltma, başlığın 0.4 oranından, alt ve üst başlıktaki daraltmanın toplamı çelik profil başlığına oranı 0.8'den büyük olmayacağı ifade edilmiştir.



Şekil 1.39. Kompozit kolon-gömme kompozit kiriş birleşim detayı ve deney sonrası oluşan kırılma şekilleri (Zhou vd., 2019)

Yukarıda özetle sunulan çalışmaların yanında, gömme kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgesinin tekrarlı yük etkisinde dış ve iç diyafram olması durumu, kaynaklı birleşim olması durumu, birleşim bölgesinin kalınlığı ve genişliği gibi parametrelerin etkinliği ile ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır (Kang vd., 2001; Beutel vd., 2002; Hajjar, 2002; Ricles vd., 2002; Cheng vd., 2003; Ricles vd., 2004; Choi vd., 2006; Cheng vd., 2007; Wu vd., 2007; Choi vd., 2008; Han vd., 2008; Shin vd., 2008; Li vd., 2009; Nogueiro vd., 2009; Pachoumis vd., 2009; Choi vd., 2010; Han vd., 2010; Park vd., 2010; Han vd., 2011; Li ve Han, 2011; Sheet vd., 2013; Tizani vd., 2013; Jia vd., 2014; Wang vd., 2014; Campian vd., 2015; Lee vd., 2015; Qian vd., 2016; Ma vd., 2017; Wang vd., 2017; Ding vd., 2018; Ma vd., 2018; Lai vd., 2019; Wang ve Sun, 2019). Ayrıca kompozit kolon-çelik-kiriş birleşimin aksenal yük, eğilme etkisinde, eksantrik yükleme ve kesme kuvveti etkisindeki davranışları deneysel ve sayısal olarak araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Kim vd., 2011; An ve Han, 2014; Cai vd., 2018; Chen vd., 2018; Li vd., 2018, Zhou vd., 2018).

Kompozit kolon-betonarme kiriş ile ilgili yapılan çalışmalar genel olarak incelendiğinde normal betonarme kolon-kiriş birleşim bölgesine göre, tekrarlı yük altında yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme kabiliyeti ve rijitlik gibi yapısal performansları daha etkindir (Nie vd., 2008, Han vd., 2009, Park vd., 2012, Zhang vd., 2012, Gan vd., 2018, Zhou vd., 2019,). Kompozit kolon-kompozit kiriş birleşimlerin olması ile ilgili tekrarlı yük, aksenal taşıma kapasitesi ve monotonik yükleme durumlarına bağlı olarak deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır (Chen vd., 2005, Lam ve Fu, 2005, Salvatore vd., 2005, Chen vd., 2007, Wang ve Li, 2007, Nie vd., 2008, Vasdravellis vd., 2009, Piluso vd., 2012, Ataei ve Bradford, 2016, Wang vd., 2016, Gao vd., 2017, Wang vd., 2018, Demonceau ve Ciutina, 2019, Eslami vd., 2019).

1.5. Literatür Özeti, Amaç ve Kapsam

Dünya nüfusun hızlı artışıyla beraber sınırlı olan arazilerden maksimum verim alabilmek için yüksek yapıların yapılma ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Fakat yapının yüksekliği artıkça ağırlığı artmakta ve deprem gibi yatay yüklerden daha fazla etkilenmektedir. Yüksek yapıların ağırlığı ve düşey taşıyıcı elemanların kısıtladığı alan gibi dezavantajlarını minimuma indirmek için deprem, yangın ve korozyona karşı dayanıklı beton ile çeliğin avantajlarını birleştirerek geliştirilen çelik-betonarme kompozit sistemleri son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Normal betonarme, çelik ve ahşap yapılarda olduğu gibi, çelik-betonarme kompozit sisteme sahip yapılarda da, deprem sırasında en önemli bölgelerden biri kolon-kiriş birleşim bölgesidir. Literatür incelendiğinde kompozit kolon-kiriş birleşim bölgesi için araştırmacılar tarafından birçok birleşim detayı geliştirilmiştir. Fakat geliştirilen bu detayların avantajları ve dezavantajları mevcut olup kullanım alanlarında farklılık göstermektedir. Kolon-kiriş birleşim bölgesinin rijitlik, süneklik, enerji tüketme kabiliyeti gibi yapısal performansının iyi olması ile birlikte imalatın ve montajın da kolay olması gerekmektedir.

Kompozit kolon-kiriş birleşimleri ile ilgili yapılan çalışmalardan; birleşim bölgelerinin kiriş ve kolonlardan daha güçlü olması gerekliliği ortaya konmaktadır. Zira birleşimlerin güçlü olması durumunda plastik mafsallı kirişte oluşmakta ve depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkesinden olan güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesini sağlamaktadır. Konu ile ilgili literatürde sunulan deneysel çalışmalarda, kaynaklı birleşimlerin çoğunlukla kaynak bölgesinden göçtüğü, daha güçlü birleşimlerde ise kirişlerde yanal burkulmanın olduğu, levhalar kullanılarak birleşim bölgesinde diyafram etkisi oluşturan birleşimlerin nispeten daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada; literatürde var olan mevcut birleşimlerin durumlarının incelenmesi ve montaj kolaylığını sağlayacak güçlü yeni tip birleşimlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, sekiz farklı gömme kompozit kolon-çelik kiriş birleşim tipinin davranışları tekrarlı yatay yük etkisi altında deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. İncelenen kompozit kolon-kiriş birleşim tiplerinden, çelik yapılar için literatürde mevcut olan dört birleşim tipine ilave olarak dört yeni birleşim tipi geliştirilmiş ve kompozit elemanlara uygulanmıştır. Geliştirilen bu yeni birleşimlerin yüksek rijitliğe ve enerji tüketme kapasitesine sahip olmasıyla beraber yapım ve montajının kolay olması amaçlanmıştır. Ayrıca, incelenen

kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgelerinin, dinamik karakteristikleri olan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranları deneysel ve sayısal olarak belirlenmiştir.

Bu kapsamda, sekiz farklı birleşim uygulanarak sekiz adet gömme kompozit kolon ve çelik kirişe sahip deney elemanları tasarlanıp üretilmiştir. Deneysel çalışmalarla birlikte sonlu elemanlar yöntemiyle deney elemanlarının modelleri oluşturulmuş, çevrimsel tekrarlı yatay yük etkisinde lineer olmayan analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir. Çalışmada, deney elemanlarının doğal frekans ve mod şekli olan Modal Parametreleri deneysel olarak belirlenmiş, sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın amaç ve kapsamı doğrultusunda, kompozit yapılar ve kolon-kiriş birleşimleri ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar Bölüm 1’de, deney elemanların tasarımı, hazırlanması, tekrarlı yatay yükleme altında gerçekleştirilen deneyleri ve modal analiz ölçümleri Bölüm 2’de sunulmuştur. Çalışmalardan elde edilen bulgular ve irdellemeler Bölüm 3’te, sonuç ve öneriler ise Bölüm 4’te verilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kompozit kolon-kiriş birleşimlerinin tekrarlı yatay yük etkisi altındaki davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi amacıyla, yapılan bu çalışmada sekiz farklı kolon-kiriş birleşim tipi incelenmiştir. Ayrıca, söz konusu kolon-kiriş birleşim bölgelerinin, dinamik karakteristikleri olan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranları deneysel ve sayısal olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, çelik yapılar için literatürde mevcut olan dört birleşim tipine ilave olarak dört yeni birleşim tipi geliştirilmiş ve kompozit elemanlara uygulanmıştır.

Bu bölümde, çalışma kapsamında planlanan deney elemanları, deney elemanlarının hazırlanmasında kullanılan malzemeler ve özellikleri, deney elemanların detay ve üretimi, deney düzeneği ve deneylerde kullanılan aletler ile numuneler üzerine gerçekleştirilen deneyler verilmektedir.

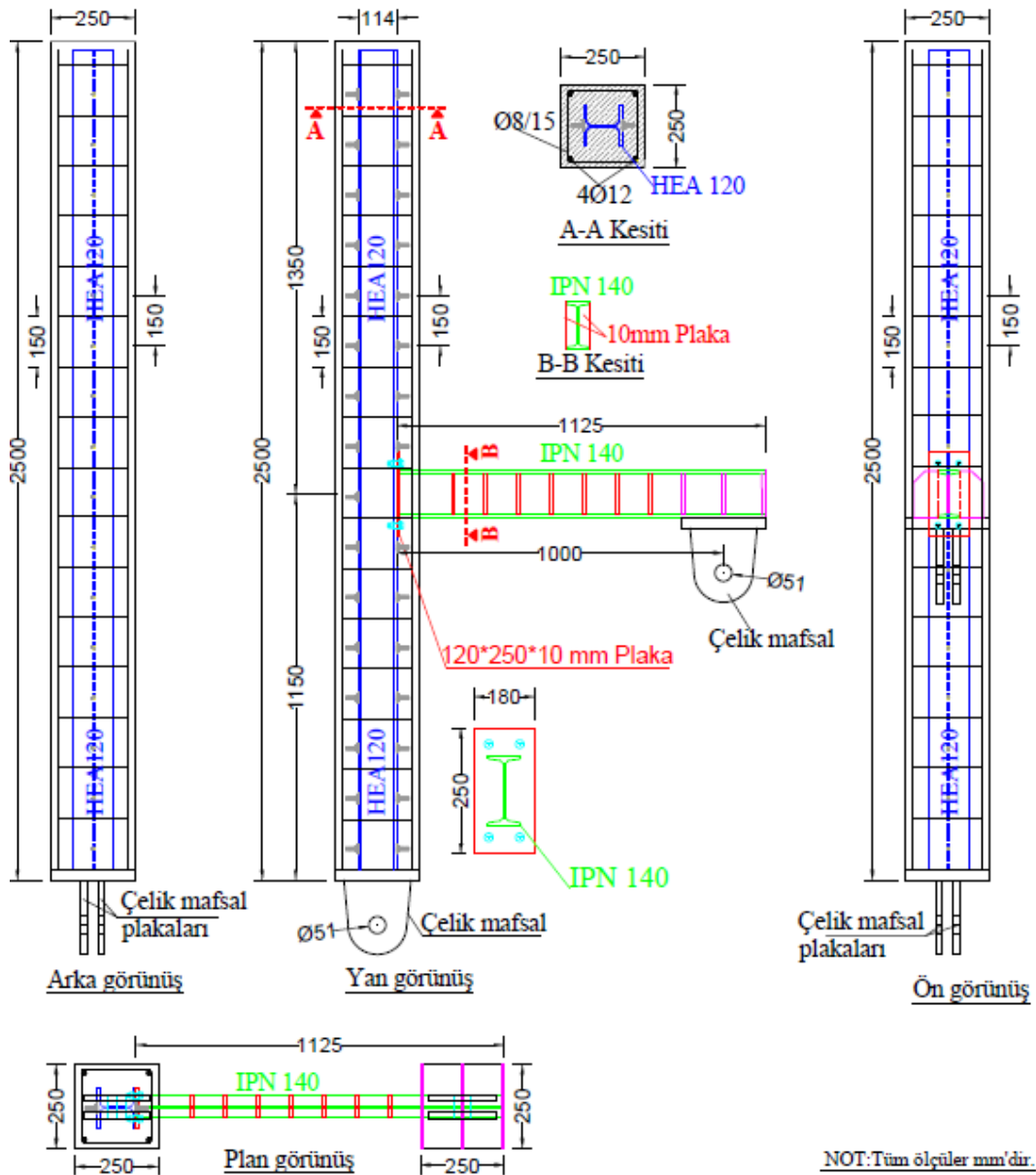
2.1. Deney Elemanları, Tasarım ve Hazırlanması

Kompozit kolon kiriş birleşimlerinin tekrarlı yük etkisindeki davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi amacıyla sekiz ayrı kolon-kiriş birleşim tipi kullanılarak, hazırlanan deney elemanları Tablo 2.1'de kısaltmaları ile birlikte verilmiştir. Deney elemanları kompozit kolon ve çelik kirişten oluşmaktadır. Deney sırasında gelen yatay yükü, birleşim bölgesine aktarmak için kompozit kolon alt bölgesi ile çelik kirişin uç bölgesine çelik mafsaallar yerleştirilmiştir. Kompozit kolon içine gömülen çelik profil HEA 120 ve çelik kiriş IPN140 profilinden oluşturulmuştur.

Çalışma konusu kolon-kiriş birleşim bölgesi olduğundan deneysel çalışma sırasında birleşim bölgesi nihai taşıma kapasitesine erişinceye kadar, kirişte hasar oluşmaması istenmiştir. Bunun için çelik kiriş, gövdesi boyunca her iki taraftan 100mm aralıklar ile 10mm kalınlığındaki levhalar yardımıyla güçlendirilmiştir.

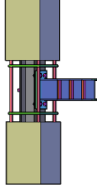
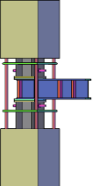
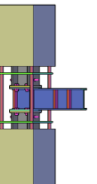
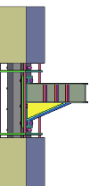
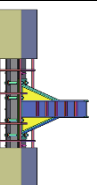
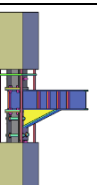
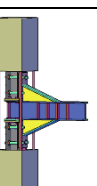
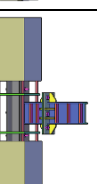
Kompozit kolonlarda olması gereken minimum pasif donatı adedi göz önünde bulundurularak 4 adet 12mm boyuna donatı ve 150mm mesafeyle 8mm çapındaki enine donatılar yerleştirilmiştir. Ayrıca kompozit kolon içindeki profil ile beton arasındaki aderansı artırmak için, çapı 14mm ve uzunluğu 30mm olan kayma bağlantı elemanları HEA

120 profilin her iki başlığın ortasına kaynatılmıştır. Kolon boyunca yerleştirilen enine donatılar ile kayma bağlantı elemanları çakışmayacak şekilde 150mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Bir deney elemanına ait kolon, kiriş, boykesit ve enkesit detayları örnek olarak Şekil 2.1’de verilmiştir. Donatıların kalıplara değmesini önleyen 20mm kalınlığında plastik paspayı elemanı kullanılmıştır. Çalışma boyunca hazırlanan deney elemanlarında, kompozit kolon, çelik kiriş, boyuna ve enine donatı, çelik mafsallar ve kayma bağlantı elemanlarının uygulama detayları tüm deney elemanlarında sabit tutularak sadece kolon-kiriş birleşim bölgesinin tipi değiştirilmiştir.



Şekil 2.1 Örnek bir deney elemanına ait boyutlar, boykesit ve enkesit detayları

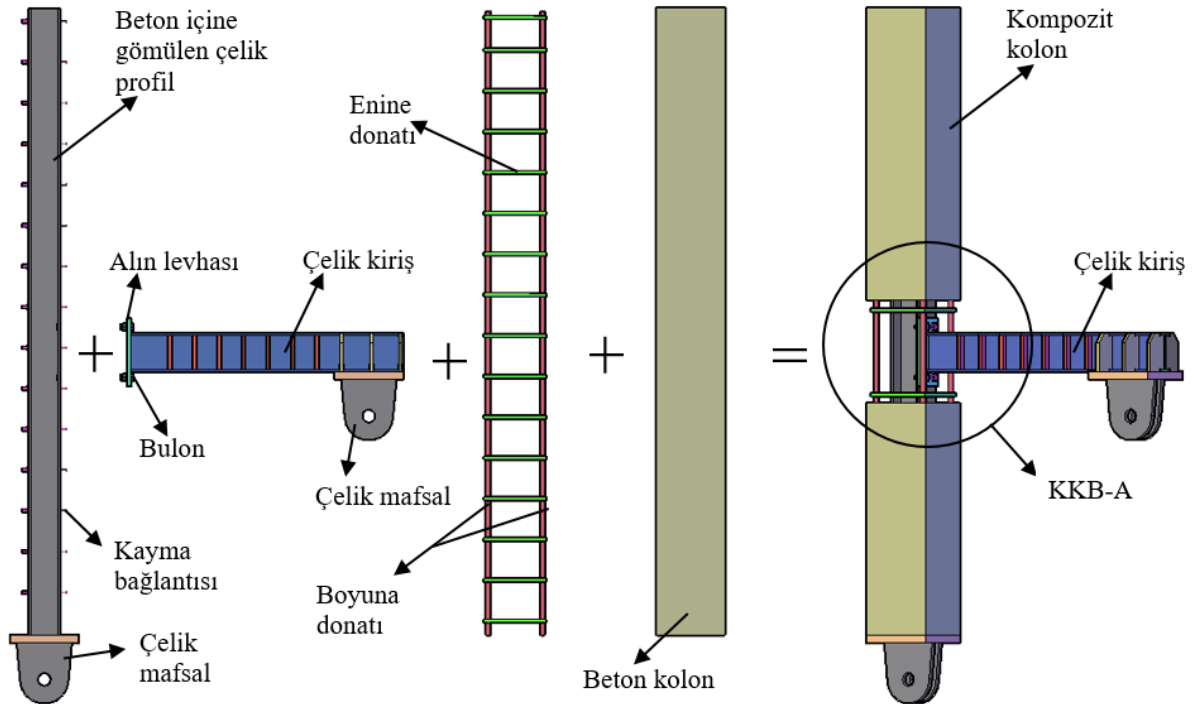
Tablo 2.1. Deneysel elemanların isimleri ve kısaltmaları

Deneysel Elemanı	Açıklama	Kısaltma
	Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Geleneksel Alın Levhalı Birleşimli, Deneysel Elemanı	KKB-A
	Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Kaynaklı Birleşimli, Deneysel Elemanı	KKB-B
	Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Bulonlu Birleşimli, Deneysel Elemanı	KKB-C
	Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deneysel Elemanı	KKB-D
	Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deneysel Elemanı	KKB-E
	Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deneysel Elemanı	KKB-F
	Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deneysel Elemanı	KKB-G
	Kompozit Kolon-Rijitleştirilmiş Alın Levhalı Çelik Kiriş Birleşimli Deneysel Elemanı	KKB-H

2.1.1. Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Geleneksel Alın Levhali Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-A)

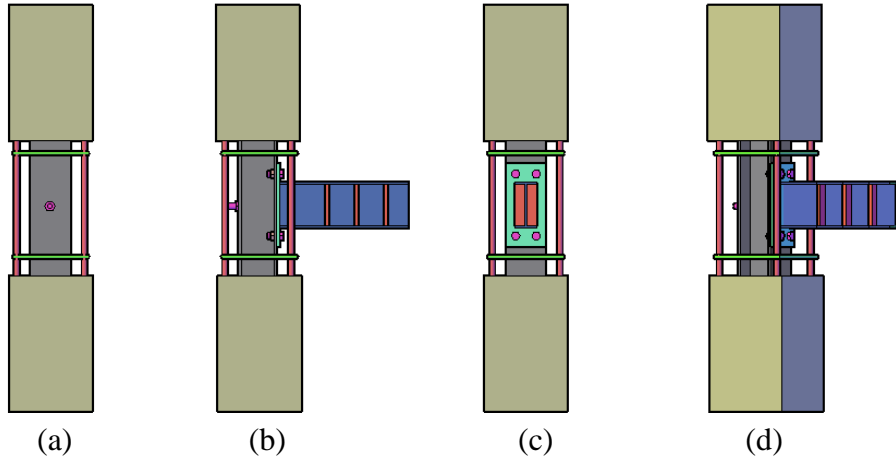
Kompozit kolonların en yaygın olarak kullanılan çeşitlerinden biri, beton içine çelik profil gömülerek oluşturulan gömme kompozit elemanlardır. Bu çalışma kapsamında, incelenen kompozit kolonlar, beton içine çelik profil gömülerek oluşturulan, gömme kompozit kolonların sınıfına girmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak referans model diye tanımlanan geleneksel alın levhali kompozit kolon-çelik kiriş birleşim tipi incelenmiştir. Bu birleşim tipinde çelik kirişin ucuna 10 mm kalınlığında alın levhası kaynatılarak, kompozit kolon içinde gömülen profilin başlık kısmına 8.8 kalitesinde 4 adet M16 bulon yardımıyla birleştirilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. KKB-A deney elemanını oluşturan bileşenler

KKB-A deney elemanındaki kompozit kolon çelik kiriş birleşim bölgesine ait detaylarının daha iyi anlaşılabilmesi için sadece birleşim bölgesinin görünüşleri Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. KKB-A birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görüşleri

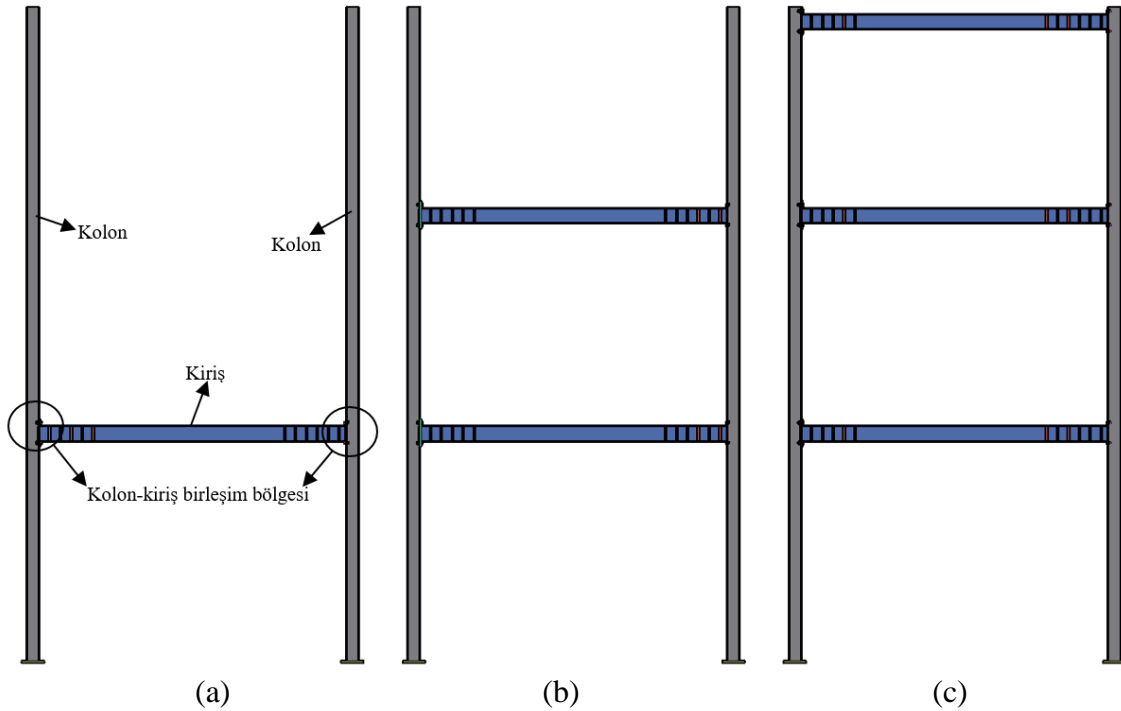
Deney elemanların hazırlanmasında ilk olarak çelik kolon ve kiriş hazırlanmıştır. Daha sonra Şekil 2.4'te verildiği gibi boyuna ve enine donatılar bağlanmıştır. Donatıların kalıplara değmesini önleyen 20mm kalınlığında plastik paspayı elemanları kullanılmıştır. KKB-A deney elemanın imalatlarına ait bazı görünüm Şekil 2.4'te verilmektedir.



Şekil 2.4. KKB-A elemanına ait imalat görünümüleri

2.1.2. Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Kaynaklı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-B)

Günümüzde yüksek katlı ve büyük açıklıklı yapıların inşasında maksimum güvenlik, kısa yapım süresi ve minimum maliyet ilkeleri inşaat projelerinde ön plana çıkmaktadır. Bilindiği üzere beton içine gömülmüş çelik profilin oluşturduğu, kompozit kolon taşıyıcı sistemlerine sahip yapıların yapım sırasında, önce çelik çerçeve montajı, daha sonra donatı, kalıp ve beton imalatı gerçekleşmektedir. Geleneksel çelik çerçeve sistemi olan; gömme kompozit kolonlu yapılarda, önce kolonlar yerleştirilmekte, daha sonra kirişlerin montajı yapılabilmektedir (Şekil 2.5.). Ayrıca geleneksel yöntemde, çelik kolonlar sürekli olup kirişler yandan kolonlara bağlanmaktadır. Sonuç olarak bu yöntemde montajın büyük kısmının şantiye ortamında olması, yapım süresinin ve maliyetin artmasına sebep olmaktadır.

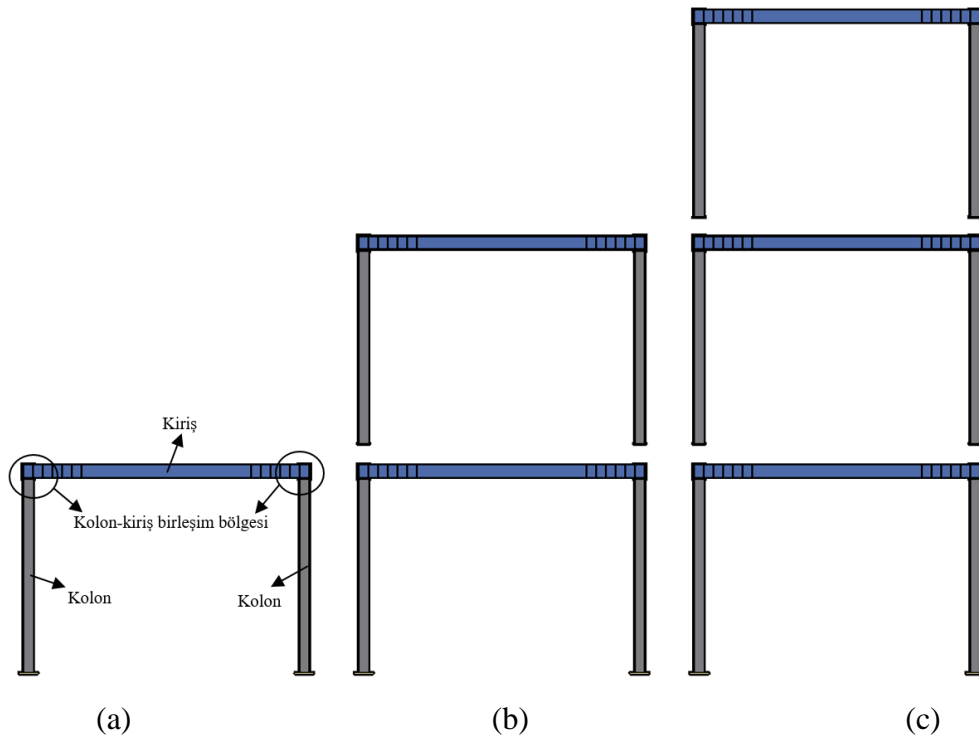


Şekil 2.5. Geleneksel çelik çerçevelerde (a) tek katlı, (b) iki katlı ve (c) üç katlı yapım aşamaları ile kolon-kiriş birleşim detayı

Bu ilkelerden yola çıkarak çalışma kapsamında montajı kolay ve güvenliği yüksek bir kolon-kiriş birleşimi tasarlanmıştır. Burada kolon-kiriş birleşim bölgesi kat hizasında oluşturulmuş, kolonun içinden karşı tarafa devam eden kirişler ile süreklilik sağlanmıştır.

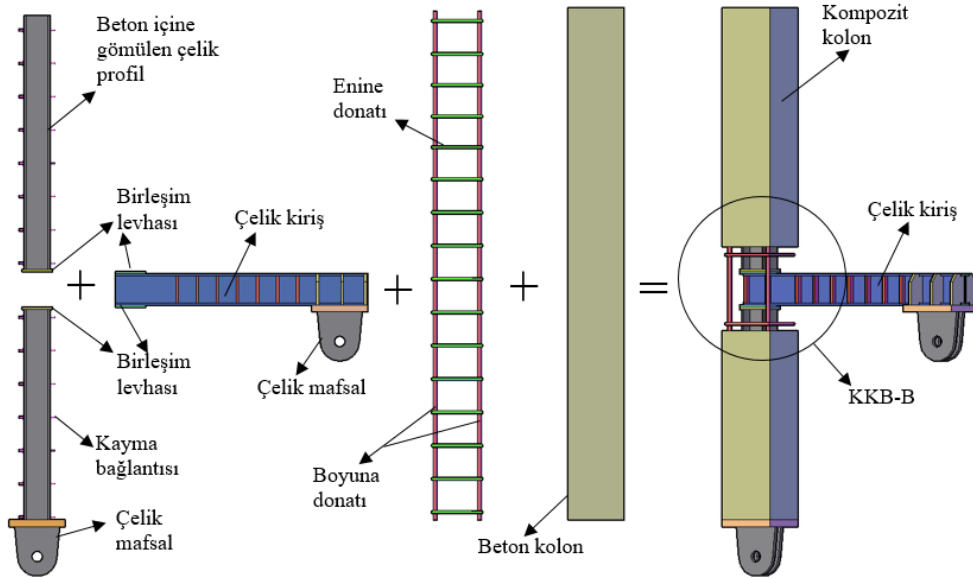
Şekil 2.6'da görüldüğü gibi bu tasarımdaki en büyük avantaj imalat ve montaj kolaylığı olmaktadır. Çünkü kompozit kolon içine gömülen çelik sistem kat kat çerçeveler şeklinde fabrikasyon olarak üretilip, şantiye ortamında sadece kat çerçeveleri montajı yapılmaktadır. Ayrıca kompozit kolonun donatıları da çelik imalatı ile birlikte fabrikasyon olarak hazırlanıp çerçeveler ile beraber montajlanabilecektir. Şekil 2.6'da tasarlanan beton içine gömülen kompozit kolon-çelik kiriş birleşim sistemine ait montaj aşamaları gösterilmiştir. Her kat kendi içinde bağımsız olup o kattaki taşıyıcı sistemlerin (çerçevelerin) imalatı yapıldıktan sonra, üst katlardan bağımsız olarak duvar, kapı, pencere ve benzeri imalat yapılmasına imkan vermektedir.

Tasarlanan bu birleşim incelenirken, önce tamamen kaynaklı olan durum dikkate alınmıştır. Bu birleşimde kolon-kiriş bölgesi tamamen beton içine gömülerek, birleşim bölgesinin rijit ve moment aktaran birleşim olması sağlanmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında, bu birleşim tipinin geliştirilmesi amacıyla bulonlu, tek guseli ve çift guseli durumları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

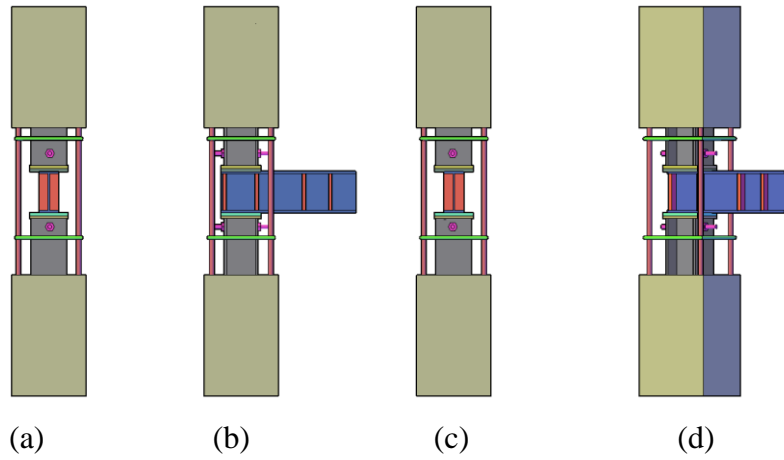


Şekil 2.6. Tasarlanan geçmeli kiriş çerçevelerde (a) tek katlı, (b) iki katlı ve (c) üç katlı yapım aşamaları ile kolon-kiriş birleşim detayı

Çalışma kapsamında KKB-B olarak kodlanan kompozit kolon-geçmeli çelik kiriş, kaynaklı birleşimli, deney elemanı, kompozit kolonun içindeki çelik profil alt ve üst başlık alın levhaları çelik kirişe kaynaklanması ile üretilmiştir. Kolon ucunda ve kiriş başlıklarında kaynatılan birleşim levhaları 10mm kalınlığında olup temas eden tüm yüzeyler birbirine 5mm kalınlığında sürekli kaynak kullanılarak birleştirilmiştir. KKB-B deney elemanını oluşturan bileşenler Şekil 2.7’de verilmiştir. Ayrıca beton içine gömülen kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgesinin görünüşleri Şekil 2.8’de verilmiştir.

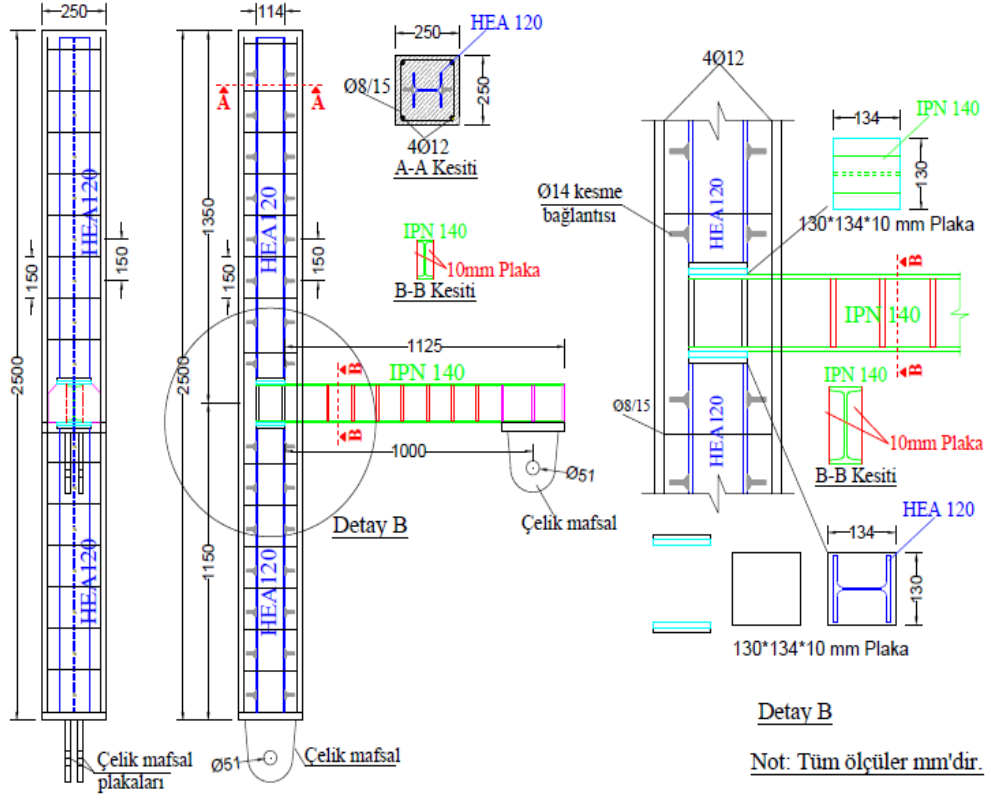


Şekil 2.7. KKB-B deney elemanını oluşturan bileşenler



Şekil 2.8. KKB-B birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görünüşleri

KKB-B deney elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları Şekil 2.9'da, imalatına ait görüntüler ise Şekil 2.10'da verilmiştir.



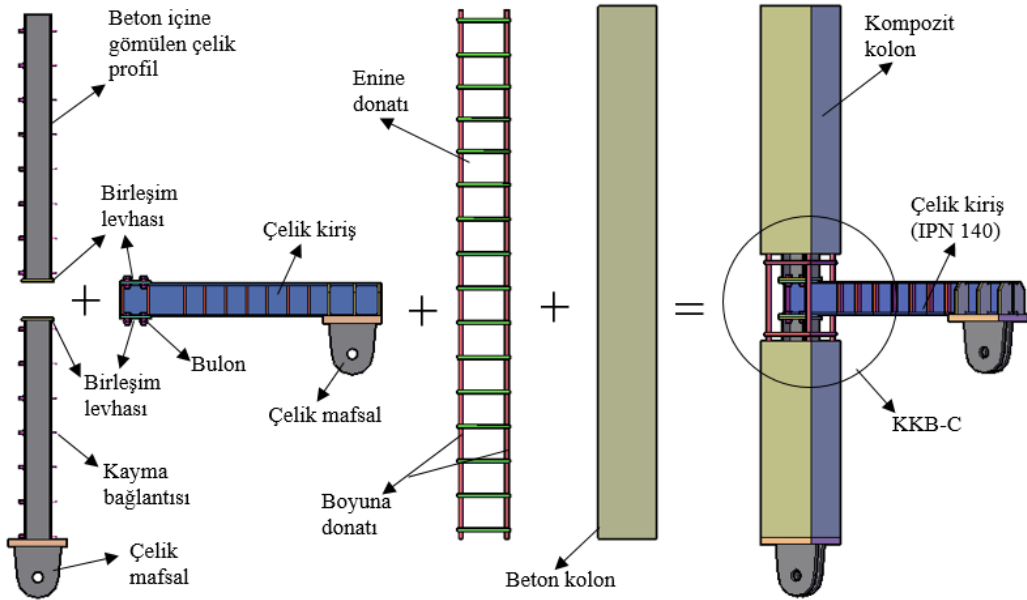
Şekil 2.9. KKB-B elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları



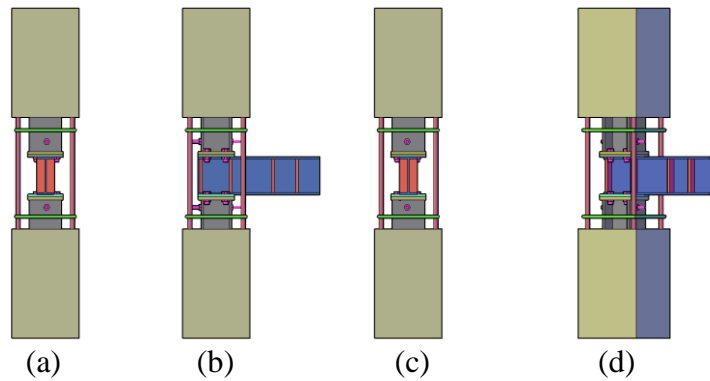
Şekil 2.10. KKB-B elemanına ait imalat görüntüleri

2.1.3. Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Bulonlu Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-C)

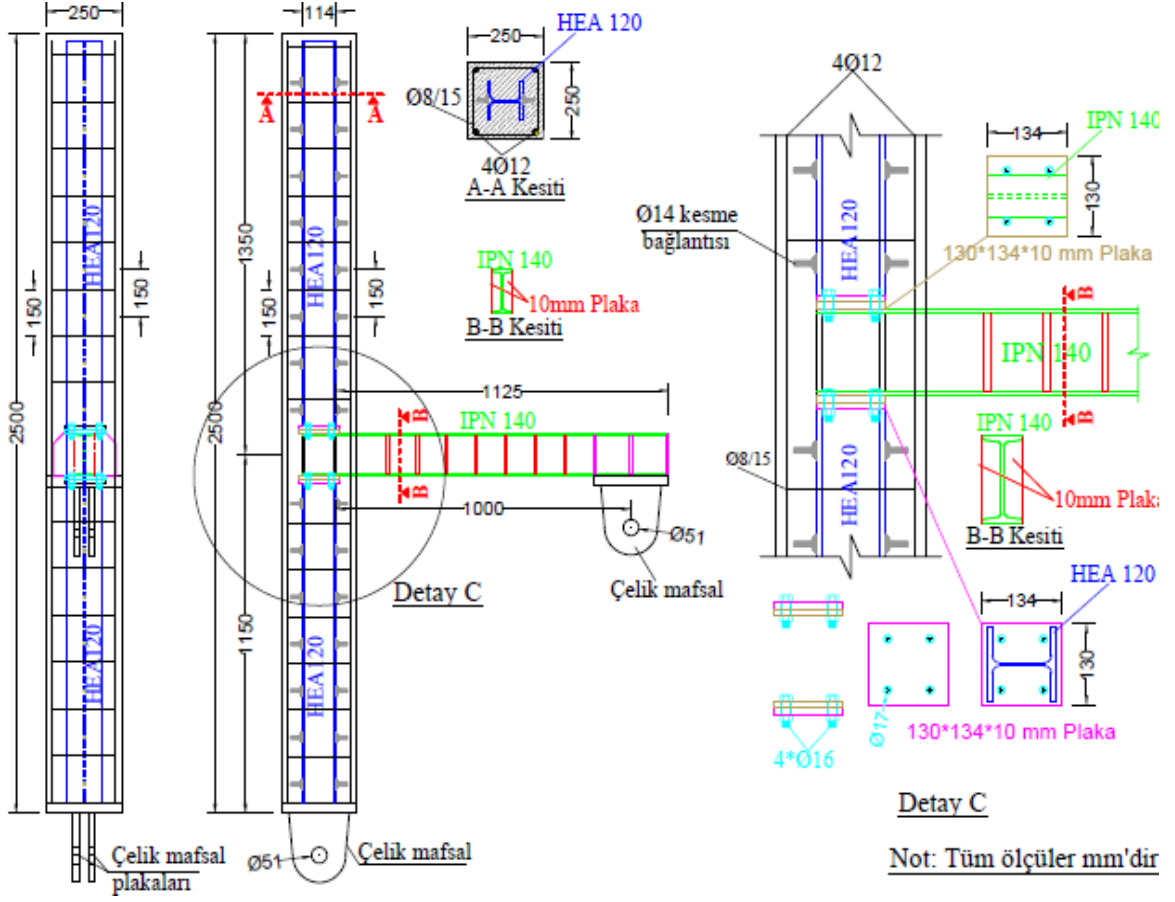
KKB-C deney elemandaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde beton içine gömülen çelik kolon KKB-B elemanında olduğu gibi süreksizdir. Çelik kiriş başlıklarına ve kolon uçlarına 10mm kalınlığında kaynatılan başlık levhaları birbirine 8.8 kalitesinde 4 adet M16 bulon ile birleştirilmiştir. KKB-C deney numunesine ait yapı bileşenleri Şekil 2.11’de ve birleşim bölgesinin görünüşleri Şekil 2.12’de, boy kesit ve birleşim bölgesinin detayı Şekil 2.13’te verilmiştir. Ayrıca KKB-C deney elemanına ait imalat görünüşleri Şekil 2.14’te sunulmuştur.



Şekil 2.11. KKB-C deney elemanını oluşturan bileşenler



Şekil 2.12. KKB-C birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görünüşleri



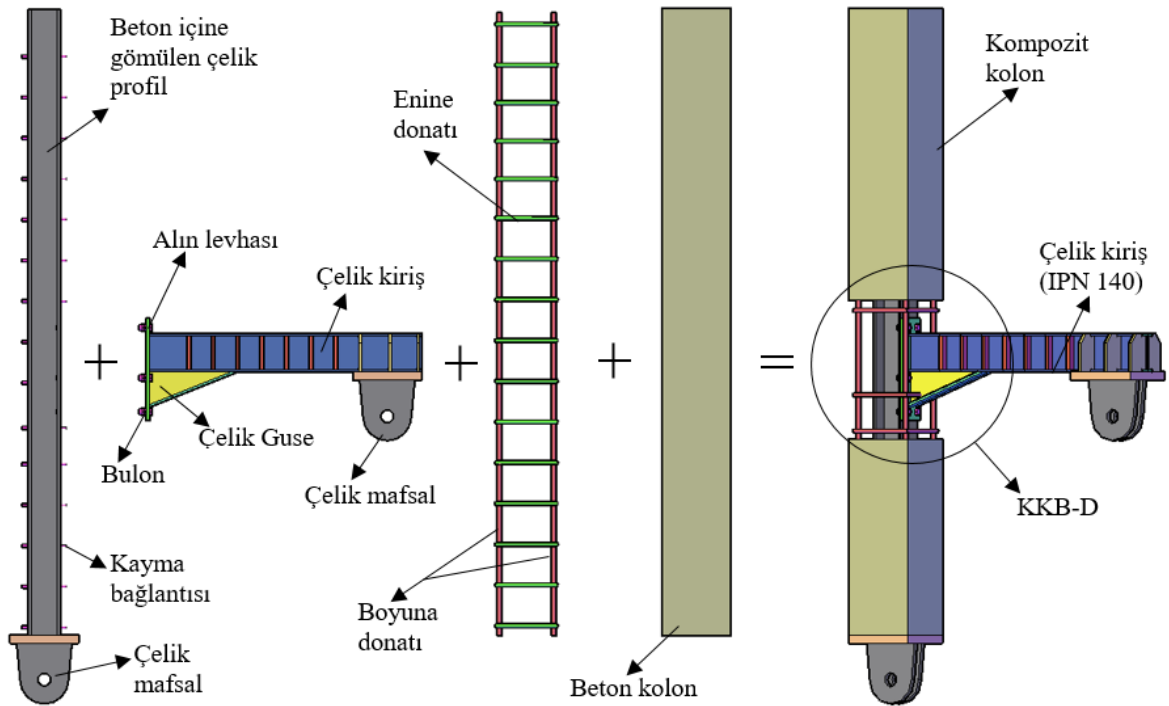
Şekil 2.13. KKB-C elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları



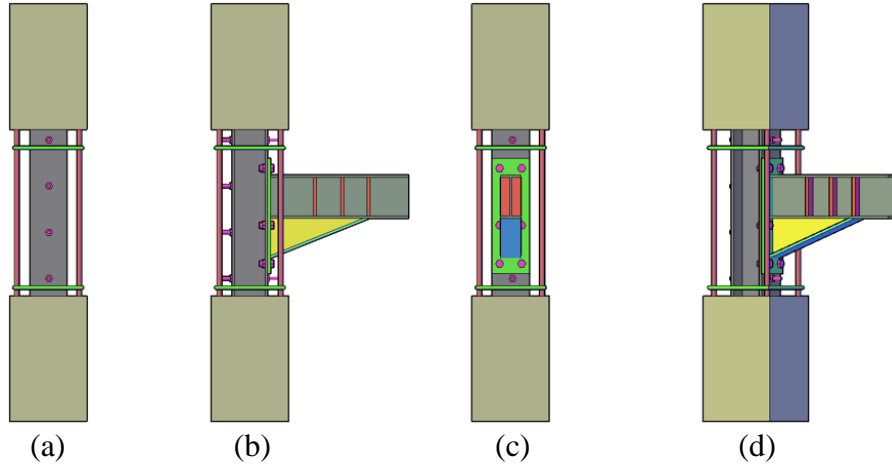
Şekil 2.14. KKB-C elemanına ait imalat görüntüleri

2.1.4. Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Tek Guse Birleşimli Deney Elemanı (KKB-D)

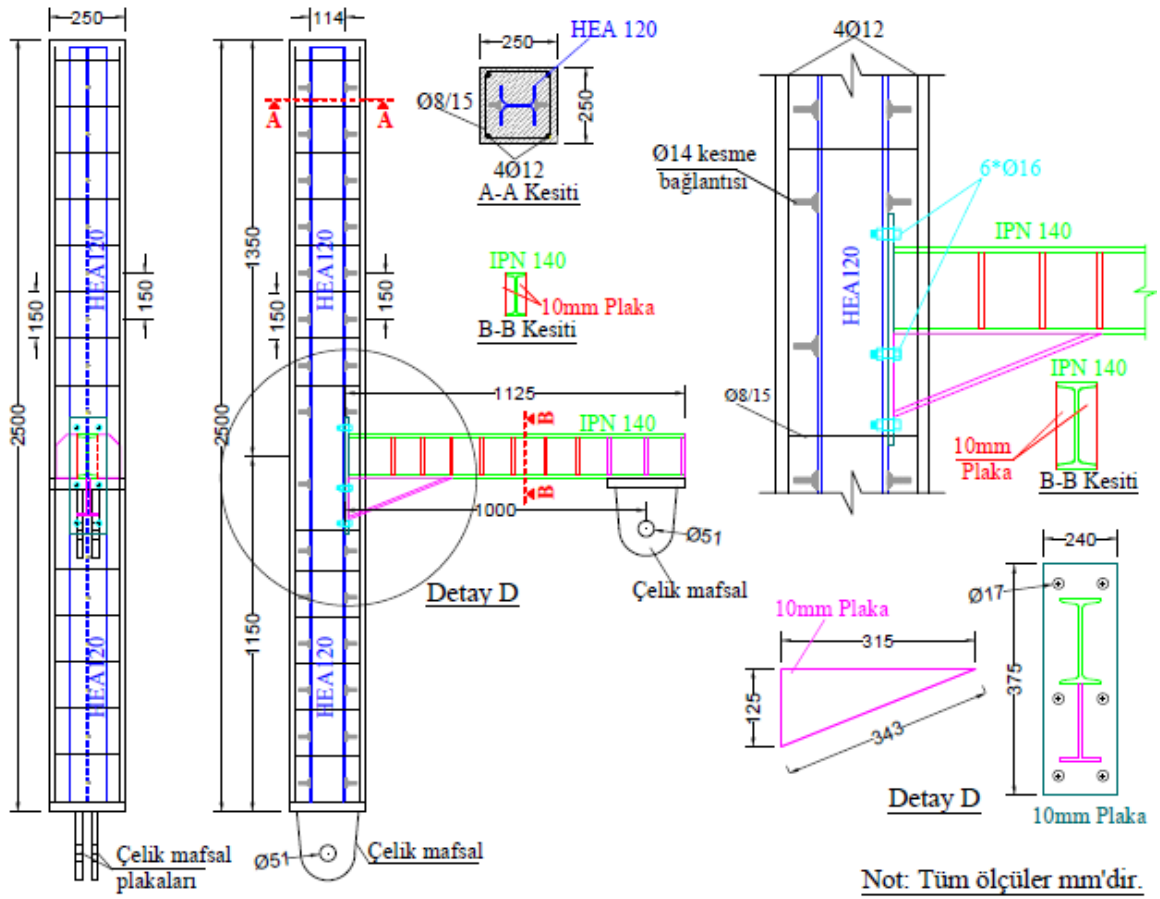
Guseli birleşimler köprü, üst geçit ve geniş açıklığa sahip kirişlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit kolon- çelik kiriş, tek guseli birleşimli, deney elemanında (KKB-D), kirişin kolon ile birleştiği bölgeye, 10mm kalınlığında alın levhası kaynatılmış olup alttan çapraz bir levha ile güçlendirilmiştir. Ayrıca alttaki üçgen levhanın üst kısmına 10mm kalınlığında ve IPN140 çelik kiriş başlık genişliğine sahip guse başlık levhası kaynatılmıştır. Guseli kiriş birleşim bölgesi, 8.8 kalitesinde 6 adet M16 bulon yardımıyla beton içine gömülen HEA120 profilin başlık kısmına montajlanmıştır. KKB-D deney elemanını oluşturan bileşenlerin detayları Şekil 2.15'te ve kolon-kiriş birleşim bölgesinin görünüşleri ise Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Ayrıca bu deney elemanın boykesit ve birleşim bölgesinin detayı Şekil 2.17'de ve imalatına ait bazı görünüşler ise Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.15. KKB-D deney elemanını oluşturan bileşenler



Şekil 2.16. KKB-D birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görüşleri



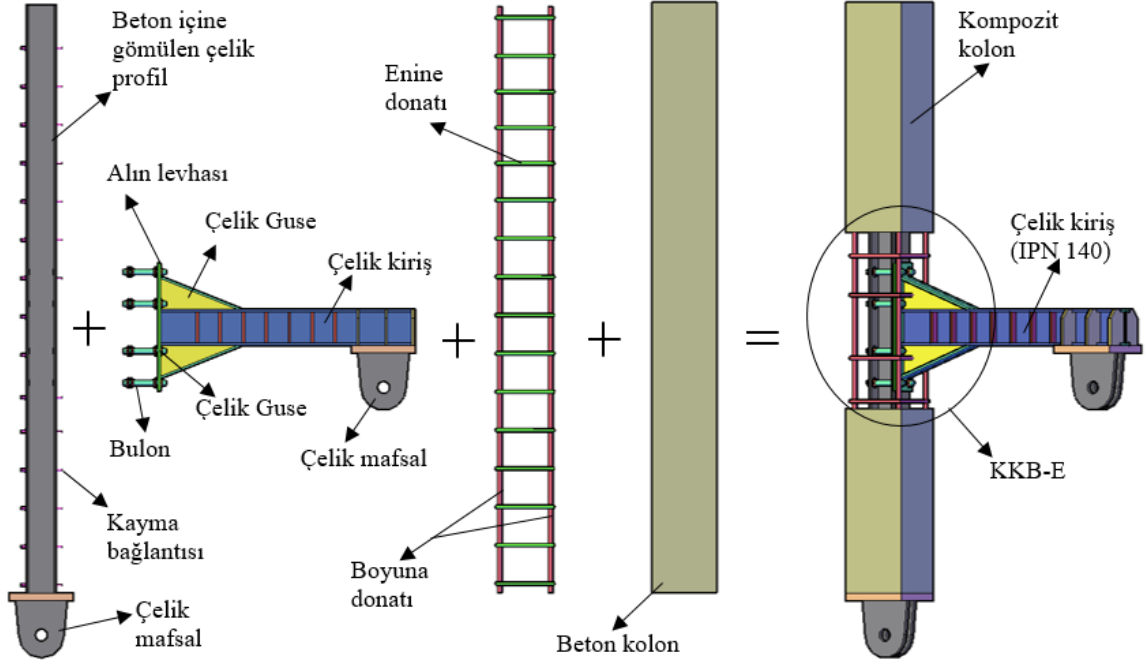
Şekil 2.17. KKB-D elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları



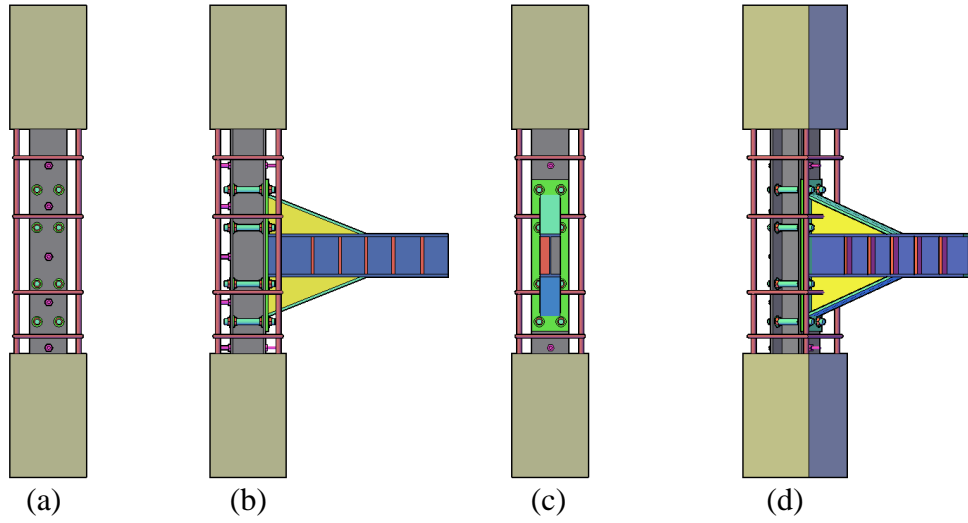
Şekil 2.18. KKB-D elemanına ait imalat görüntüleri

2.1.5. Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-E)

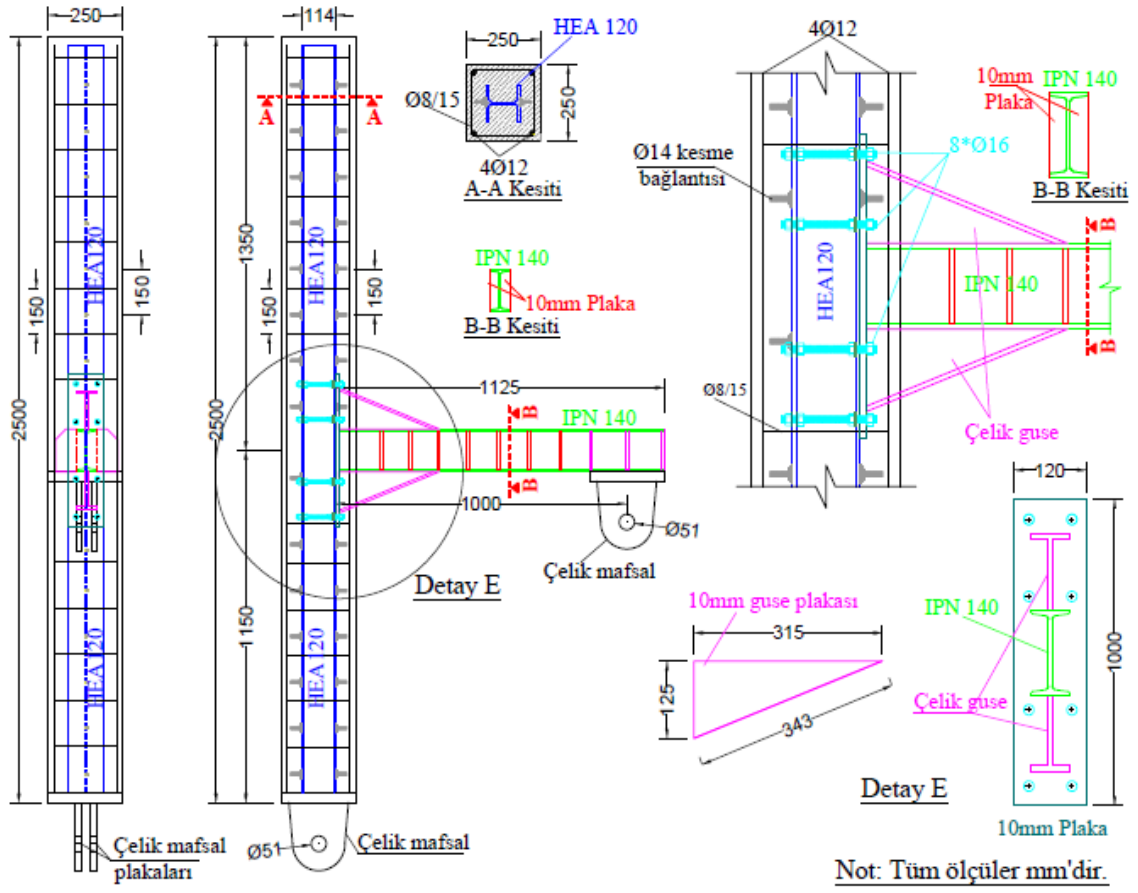
Kompozit kolon- çelik kiriş, çift guseli birleşimli, deney elemanı (KKB-E), KKB-D elemanına benzerdir. KKB-E deney elemanında kolon-kiriş birleşim bölgesinde, guse elemanı birleşimin alt ve üst kısmında olacak şekilde çift taraflı yapılmıştır. Çelik kiriş ve guselerin ucuna kaynatılan 10mm kalınlığındaki levha 8.8 kalitesindeki 8 adet M16 bulon ile çelik kolonun başlıklarına bağlanmıştır. KKB-E deney elemanını oluşturan bileşenler Şekil 2.19’da ve birleşim bölgesine ait görüşler Şekil 2.20’de verilmiştir. Ayrıca KKB-E deney elemanın boykesit ve birleşim bölgesinin detayı Şekil 2.21’de, çelik, donatı ve kalıp imalatından bazı görüntümler ise Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



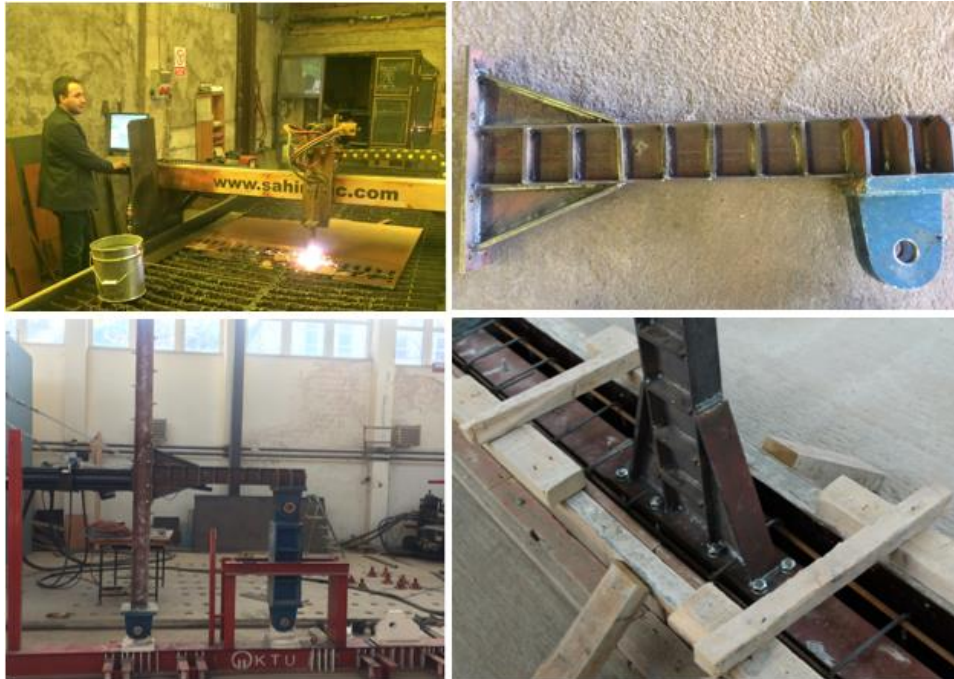
Şekil 2.19. KKB-E deney elemanını oluşturan bileşenler



Şekil 2.20. KKB-E birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görüşleri



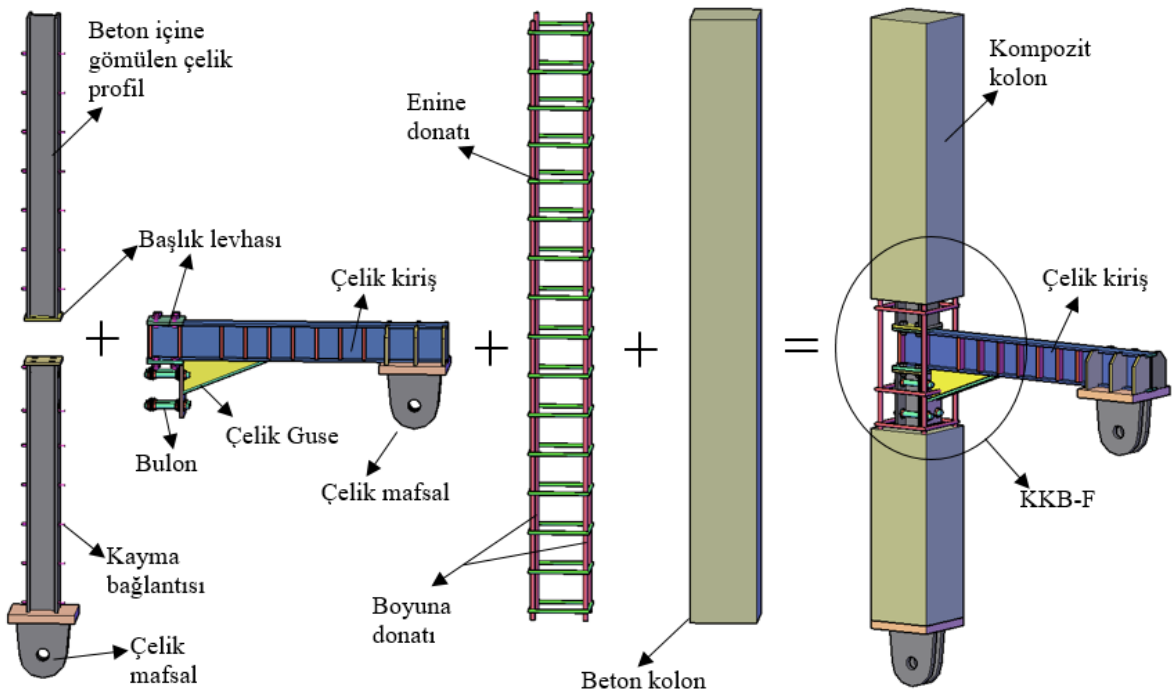
Şekil 2.21. KKB-E elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları



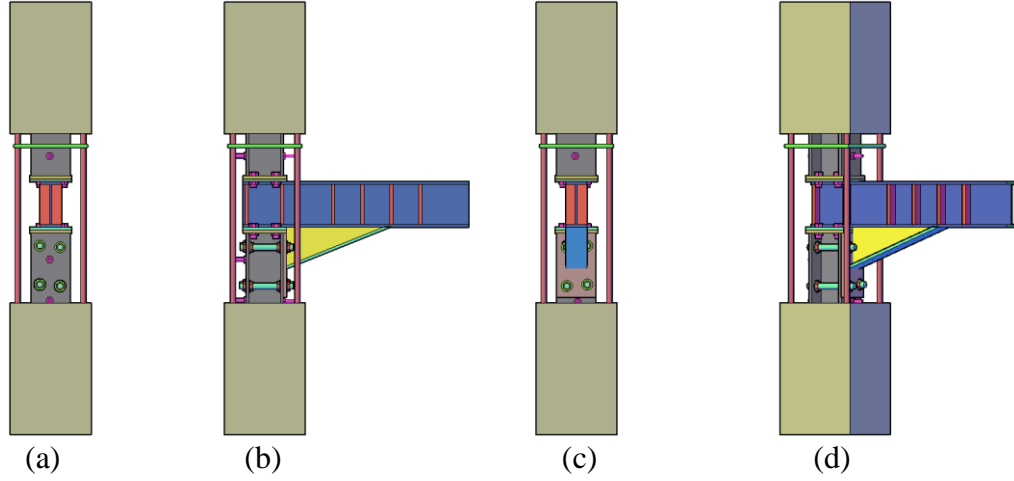
Şekil 2.22. KKB-E elemanına ait imalat görüntüleri

2.1.6. Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-F)

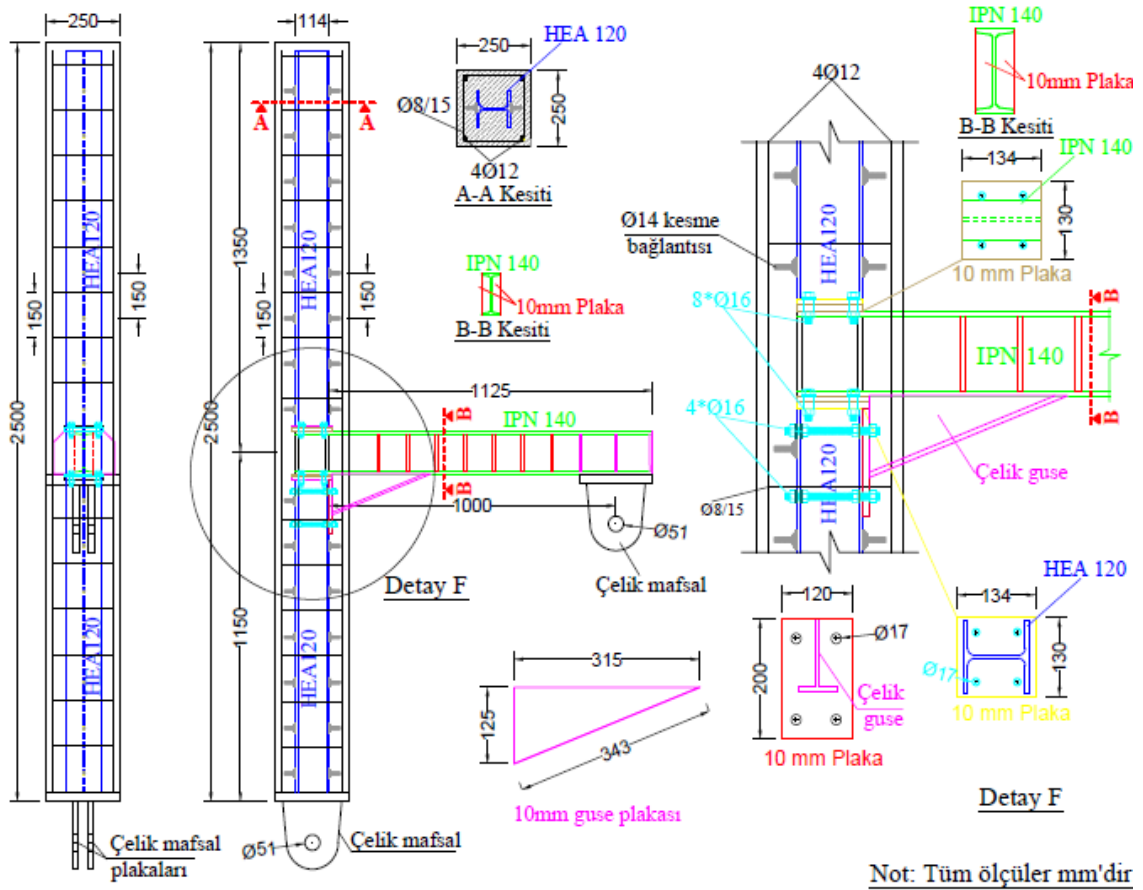
Kompozit kolon- geçmeli çelik kiriş, tek guseli birleşimli (KKB-F) deney elemanındaki birleşim bölgesi çalışma kapsamında tasarlanan KKB-C birleşiminden yararlanılarak geliştirilmiştir. KKB-F elemanın birleşim bölgesindeki kiriş, alttan çelik guse ile güçlendirilmiştir. Çelik guse alın levhasına kaynatılarak 8.8 kalitesinde 4 adet M16 bulon ile HEA 120 profilin her iki başlığına bağlanmıştır. Şekil 2.23'te deney elemanını oluşturan çelik profiller, donatı, beton ve mafsallardan oluşan KKB-F bileşenleri gösterilmiştir. KKB-F deney elemanın kolon-kiriş birleşim bölgesine ait görünüşleri Şekil 2.24'te, boykesit ve birleşim bölgesinin detayları Şekil 2.25'te ve deney elemanın hazırlamasından bazı görünüşler ise Şekil 2.26'da gösterilmiştir.



Şekil 2.23. KKB-F deney elemanını oluşturan bileşenler



Şekil 2.24. KKB-F birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görüntüleri



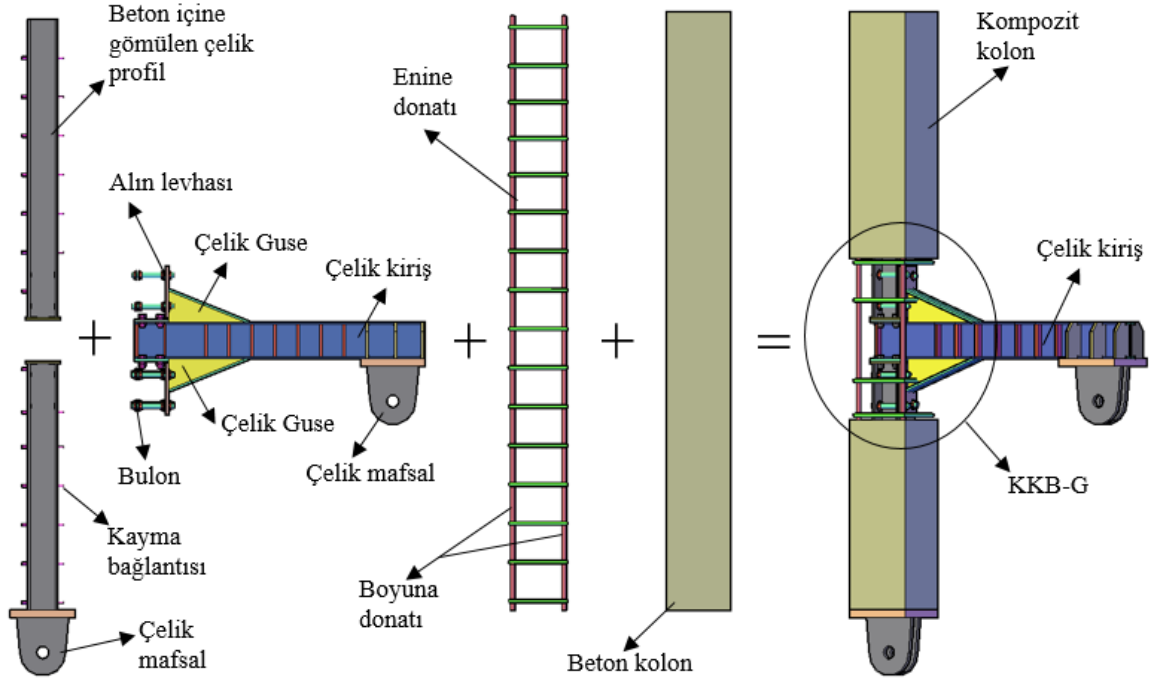
Şekil 2.25. KKB-F elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları



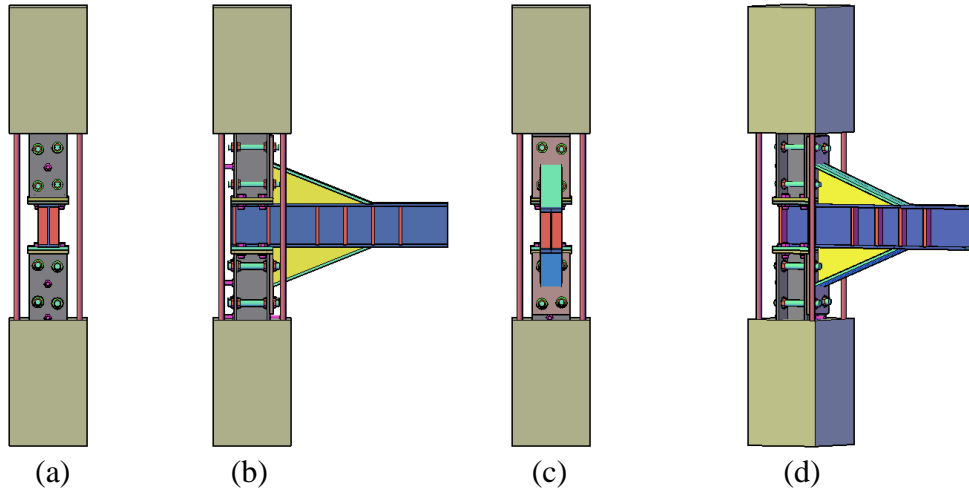
Şekil 2.26. KKB-F elemanına ait imalat görünümleri

2.1.7. Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-G)

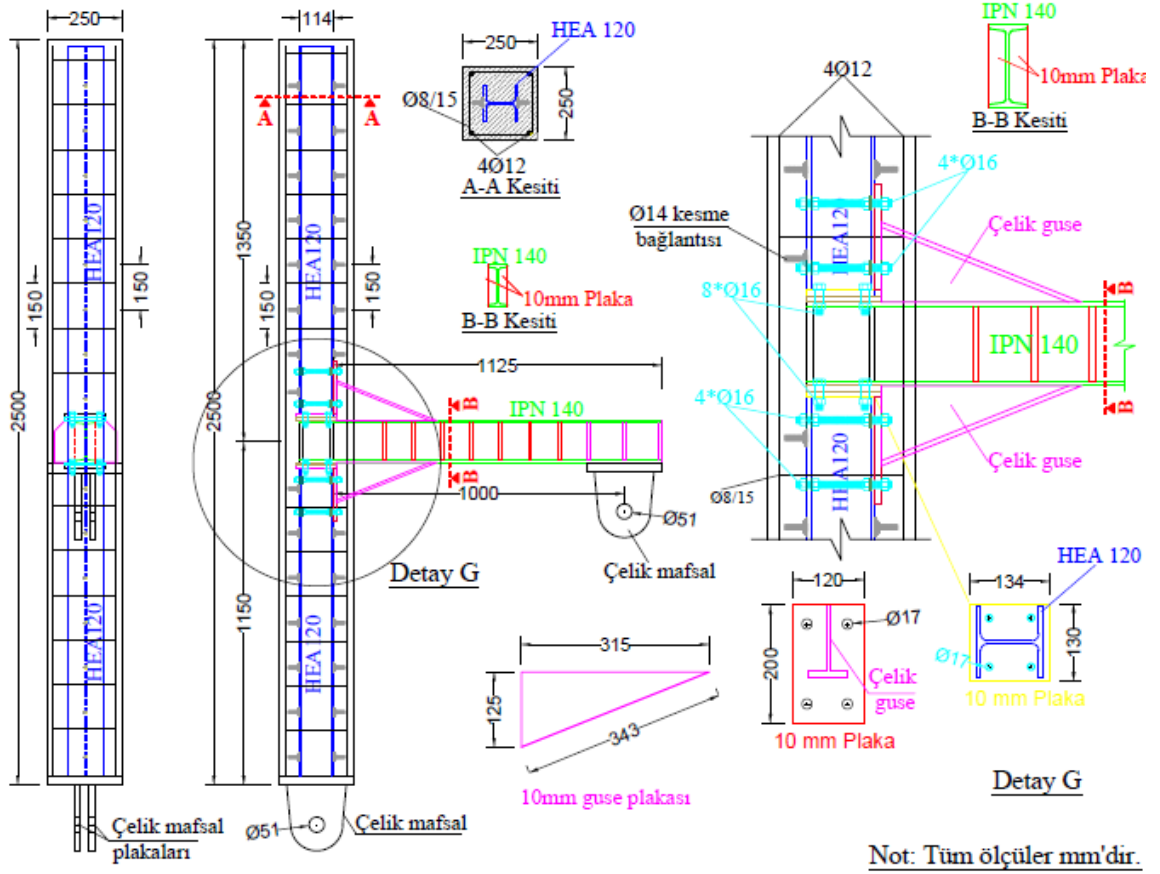
Kompozit kolon- geçmeli çelik kiriş, çift guseli birleşimli (KKB-G) deney elemanı, KKB-F olarak tasarlanan elemanın kolok-kiriş birleşim bölgesinin geliştirilmiş halidir. Bu birleşim KKB-F deney elemanı ile aynı özellikleri taşımakta, ancak birleşim bölgesinde sadece altta guse olmayıp çelik kiriş üstten de guse ile güçlendirilmiştir. Alt ve üst guseler ayrı ayrı 10mm kalınlığına sahip alümin levhalarına kaynaklanmış olup, her biri 8.8 kalitesinde 4 adet M16 bulon ile HEA profilin her iki başlığına bağlanmıştır. Şekil 2.27’de KKB-G deney elemanını oluşturan bileşenler gösterilmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgesinin görünüşleri Şekil 2.28’de, boykesit ve birleşim bölgesinin detayları Şekil 2.29’da ve imalatlarına ait bazı görünüşler ise Şekil 2.29’da verilmiştir.



Şekil 2.27. KKB-G deney elemanını oluşturan bileşenler



Şekil 2.28. KKB-G birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görüşleri



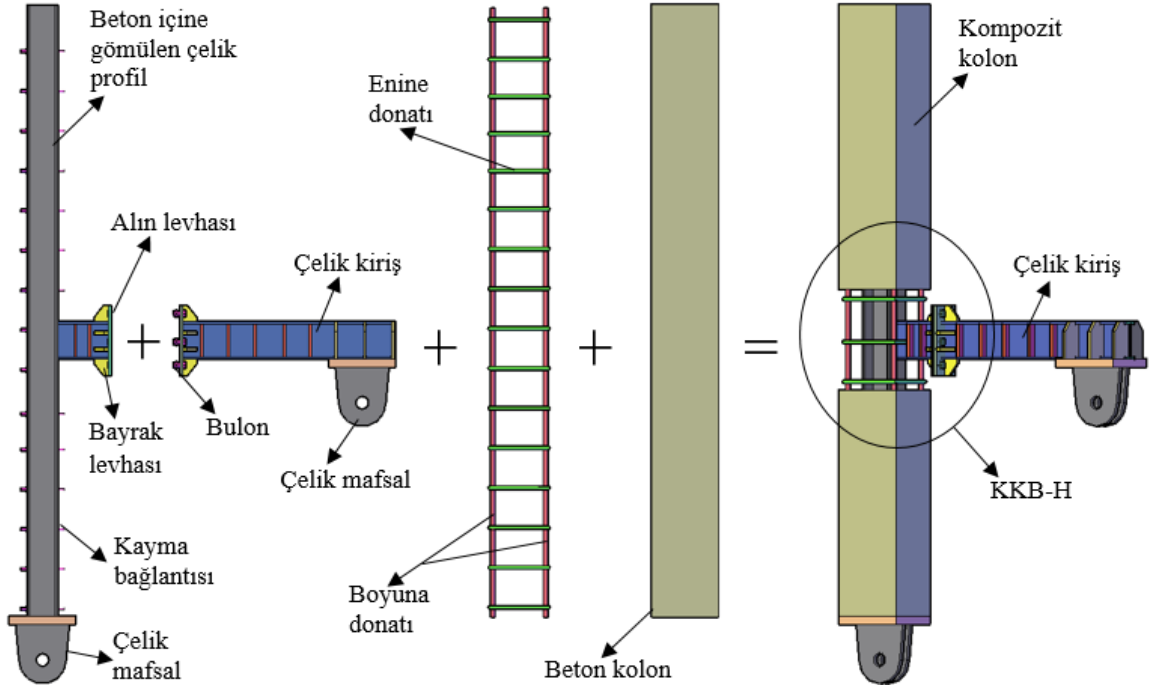
Şekil 2.29. KKB-G elemanına ait boykesit ve birleşim bölgesinin detayları



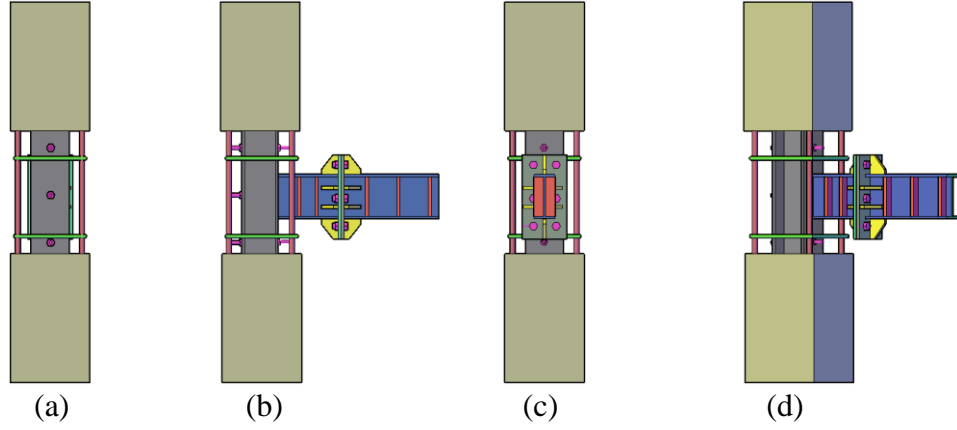
Şekil 2.30. KKB-G elemanına ait imalat görüntüleri

2.1.8. Kompozit Kolon-Rijitleştirilmiş Alın Levhalı Çelik Kiriş Birleşimli Deney Elemanı (KKB-H)

Kompozit kolon-rijitleştirilmiş alın levhalı çelik kiriş birleşimli deney elemanı (KKB-H), önceki numunelerden tamamen farklı olacak şekilde tasarlanmıştır. KKB-H kolon-kiriş birleşim bölgesi, kompozit kolon içinde olmayıp birleşim bölgesi çelik kirişte yapılmıştır. Bu tip birleşim çelik yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak kompozit kolonun içine gömülen bölgenin yatay yük etkisinde davranışı ile ilgili yeterince çalışma bulunmamaktadır. KKB-H deney elemanında, çelik kiriş kompozit kolon içine gömülen HEA 120 profilin başlığına direk olarak kaynatılmıştır. Kirişin kompozit kolondan çıkan diğer ucuna 10mm kalınlığına sahip alın levhası kaynatılmıştır. Kiriş ile alın levha arasındaki bağlantı bölgesi altı adet üçgen bayrak levha ile güçlendirilmiştir. Kirişin ikinci parçası da aynı şekilde hazırlanarak, çelik kirişin kirişe bağlantısı 8.8 kalitesinde 6 adet M16 bulon ile sağlanmıştır. KKB-H birleşimde kolon-kiriş ve kiriş-kiriş birleşimleri incelenmiştir. KKB-H deney elemanını oluşturan bileşenler Şekil 2.31’de, birleşim bölgesinin görünüşleri ise Şekil 2.32’de verilmiştir.

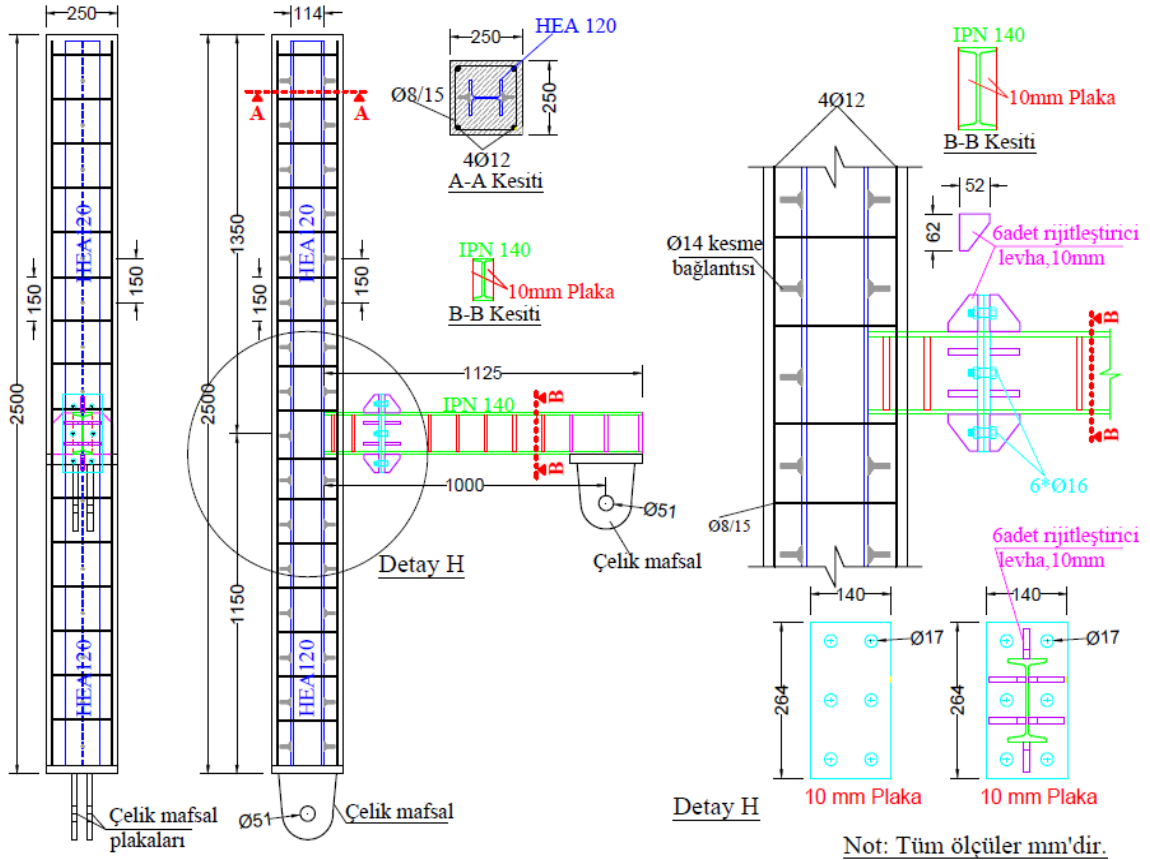


Şekil 2.31. KKB-H deney elemanını oluşturan bileşenler



Şekil 2.32. KKB-H birleşim bölgesine ait (a) arka, (b) yan, (c) ön ve (d) perspektif görüşleri

KKB-H deney elemanın boykesit ve birleşim bölgesinin detayı Şekil 2.33'te, imalat sırasındaki bazı görüşleri de Şekil 2.34'te verilmiştir.



Şekil 2.33. KKB-H elemanına ait boyutlar, boykesit ve enkesit detayları

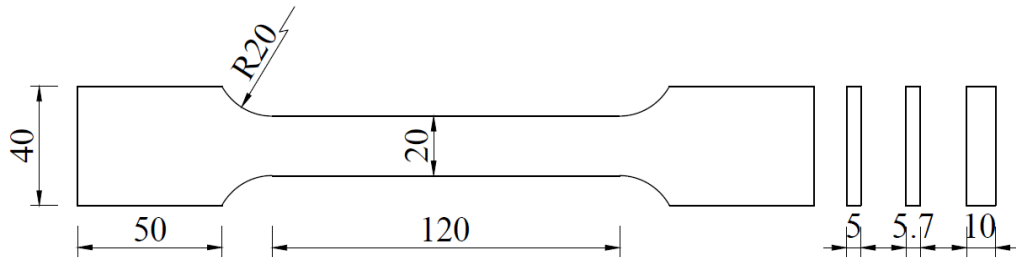


Şekil 2.34. KKB-H elemanına ait imalat görüntüleri

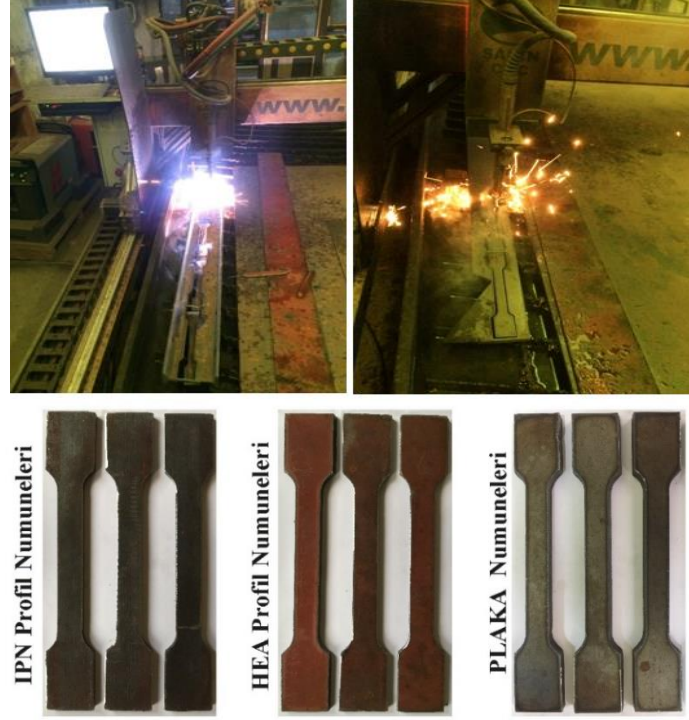
2.2. Deney Elemanların Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.2.1. Çelik Özellikleri

Deney elemanların hazırlanmasında S275 JR kalitesindeki çelik profiller ve levhalar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çelik malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme deneyleri yapılmıştır. Bunun için HEA profil gövdelerinden 3 adet, IPN profil gövdelerinden 3 adet ve kullanılan levhalardan 3 adet olmak üzere toplam 9 adet çekme çubuğu, ASTM A370 standardında verilen ölçülere göre hazırlanmıştır. Çekme deneylerinde kullanılan çekme çubuğu ölçüleri Şekil 2.35'te ve CNC makinesinde kesime ait bazı görüntümler Şekil 2.36'da verilmiştir.



Şekil 2.35. ASTM A370'de verilen çekme çubuğun geometrik özellikleri (mm)

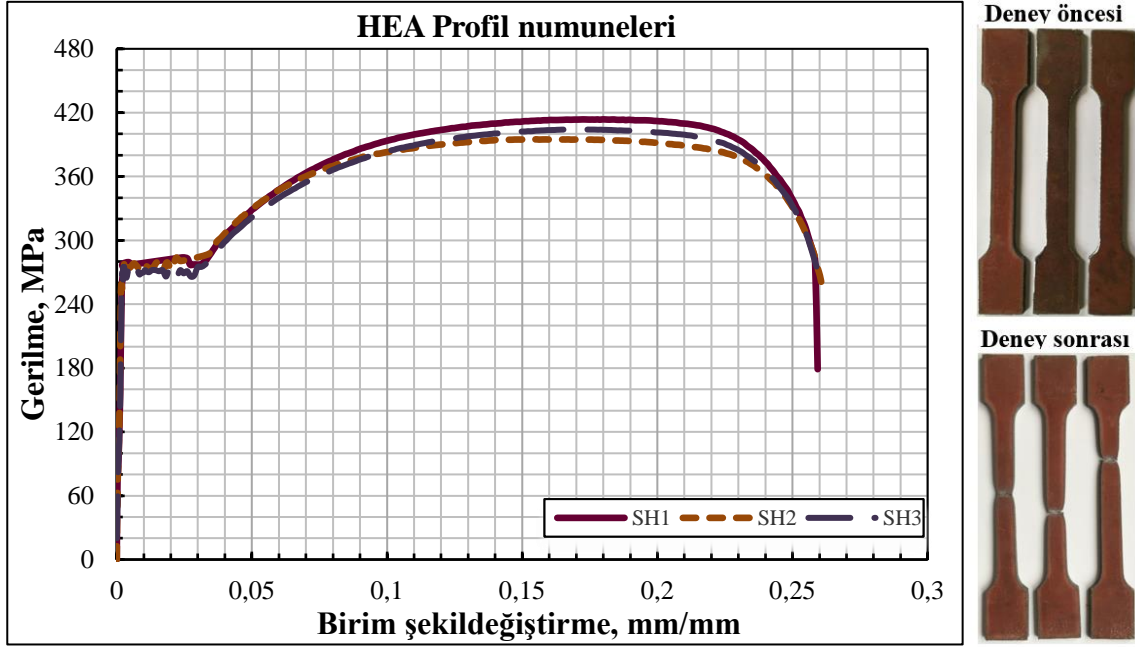


Şekil 2.36. Çekme çubukların hazırlamasından bazı görüntüler

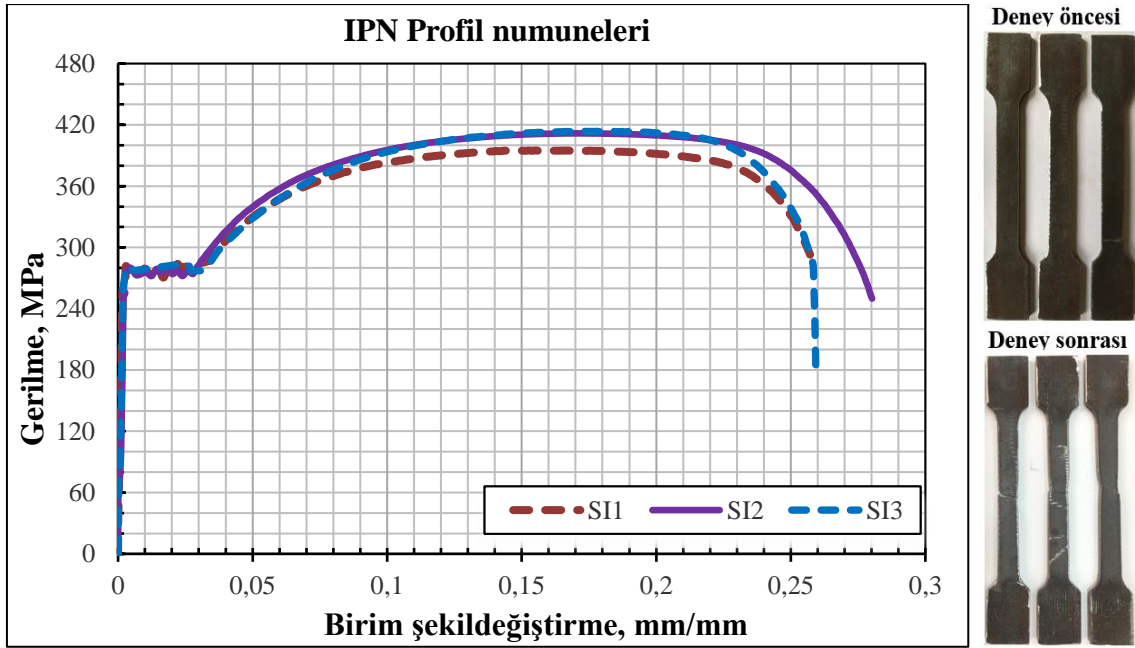
IPN, HEA ve Plaka numunelerinin deneyleri, Sakarya Üniversitesi Yapı Laboratuvarında bulunan Alşa marka 400kN çekme kapasitesine sahip deney aleti ile yapılmıştır. Deneylere ait bazı görüntüler Şekil 2.37’de, gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri Şekil 2.38, Şekil 2.39, Şekil 2.40 ve elde edilen mekanik özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.



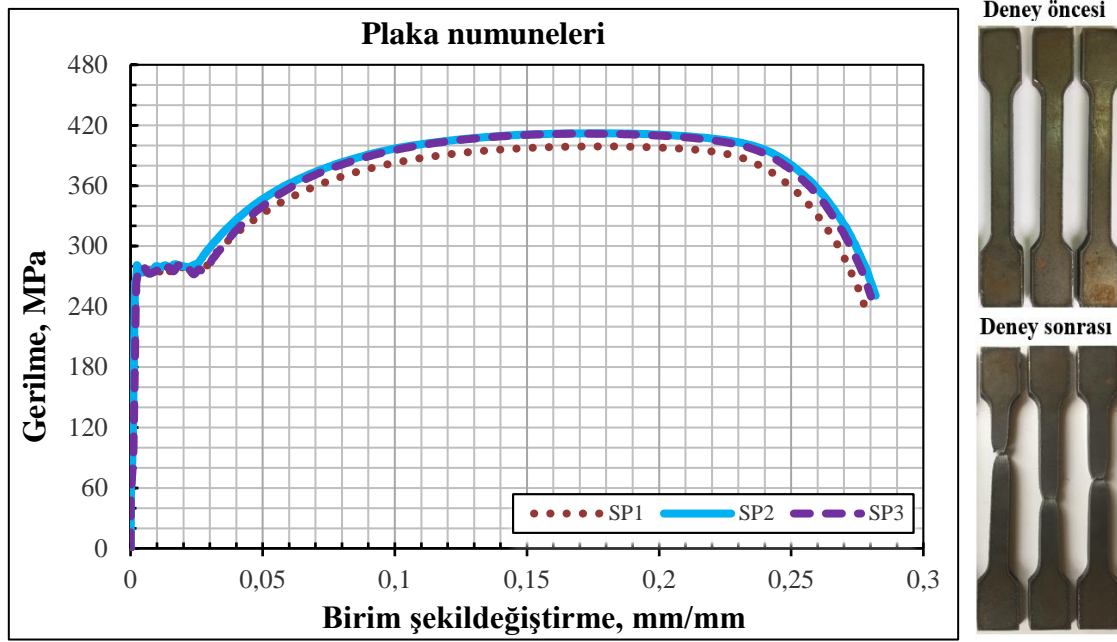
Şekil 2.37. Çekme çubukların deneylerine ait bazı görüntüler



Şekil 2.38. HEA profillerinden alınan çekme çubuklarına ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri ve denev resimleri



Şekil 2.39. IPN profillerinden alınan çekme çubuklarına ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri ve denev resimleri



Şekil 2.40. Levhalardan alınan çekme çubuklarına ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri ve deney resimleri

Tablo 2.2. Profil ve levhaların mekanik özellikleri

Alındığı kesit	Çekme deney elemanı	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Elastisite Modülü (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Akma birim şekil değiştirmesi (ε)	Çekme dayanımı (MPa)
IPN profil numuneleri	SI ₁	20.05	5.75	188241.41	274.35	0.00213	404.93
	SI ₂	20.15	5.70	195246.46	276.87	0.00195	413.68
	SI ₃	19.95	5.68	193871.04	275.08	0.00209	418.67
	Ort. SI	20.05	5.71	192452.97	275.43	0.00205	412.43
HEA profil numuneleri	SH ₁	19.90	5.10	195687.22	275.14	0.00198	413.67
	SH ₂	19.95	5.05	189105.26	274.01	0.00195	404.33
	SH ₃	20.20	5.00	187896.85	273.25	0.00190	394.93
	Ort. SH	20.02	5.05	190896.44	274.13	0.00194	404.31
Plaka numuneleri	SP ₁	20.05	10.05	194386,25	273.48	0.00193	399.01
	SP ₂	20.00	10.05	197321.64	277.13	0.00210	421.01
	SP ₃	19.95	10.05	192151.20	274.01	0.00194	411.68
	Ort. SP	20.00	10.05	194619.69	274.87	0.00199	410.57

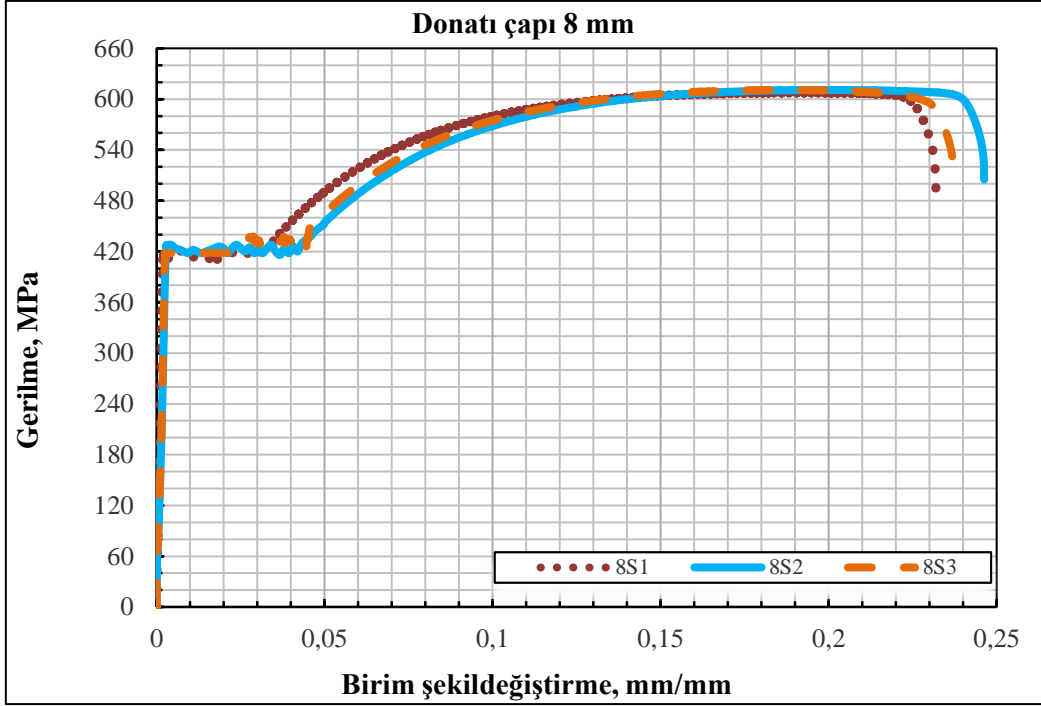
2.2.2. Donatı Özellikleri

Kompozit kolonların hazırlanmasında 8 mm ve 12 mm çapında S420a dayanım sınıfında betonarme çeliği kullanılmıştır. Bu donatıların gerçek mekanik özelliklerini belirlemek için her çaptan üçer adet numuneye merkezi çekme deneyi yapılmıştır.

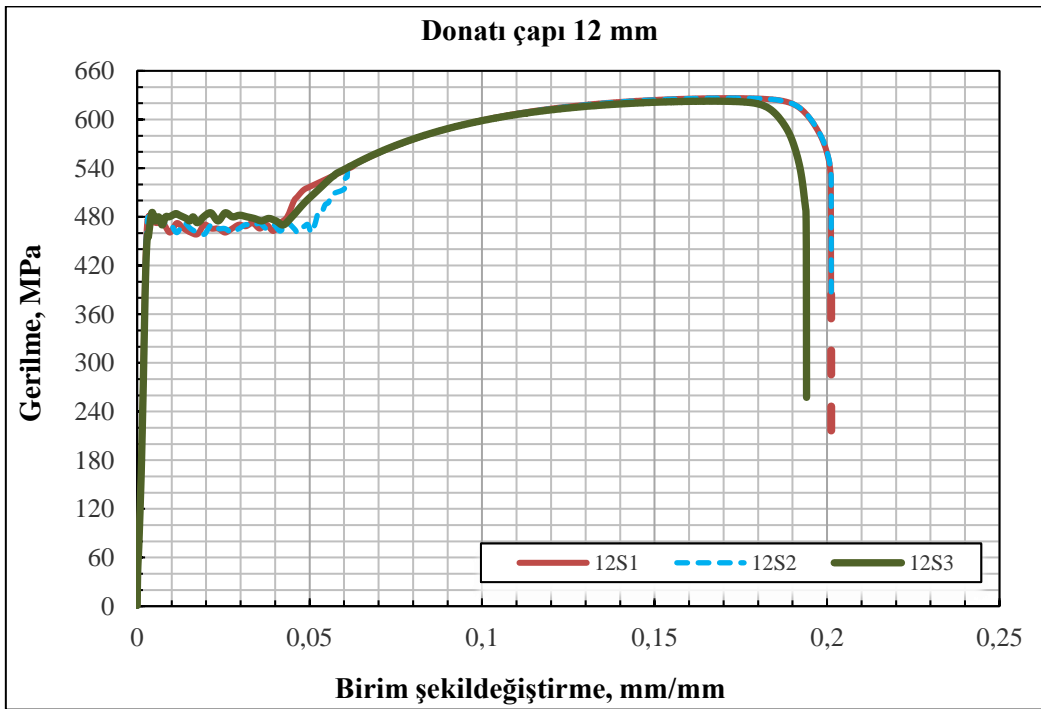
Çapı 8mm ve çapı 12 mm olan donatı numuneleri Shimadzu marka, AG-IC 50KN Model, çekme deney makinesinde yapılmıştır. Deneylere ait bazı görüntüler Şekil 2.41’de, gerilme şekil değiştirme eğrileri Şekil 2.42, Şekil 2.43 ve elde edilen mekanik özellikleri Tablo 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.41. Donatıların merkezi çekme deneylerine ait bazı görüntüler



Şekil 2.42. 8mm çapına sahip nervürlü donatıların gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri



Şekil 2.43. 12mm çapına sahip nervürlü donatıların gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

Tablo 2.3. Kompozit kolonlarda kullanılan nervürlü donatıların mekanik özellikleri

Donatı çapı	Örnek no	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Akma birim şekildeğiştirmesi (ε)	Kopma birim şekildeğiştirmesi (ε)	Elastisite modülü (MPa)
8mm	8S ₁	419.88	605.67	0.00198	0.23195	212060.60
	8S ₂	432.28	608.21	0.00205	0.23735	210868.29
	8S ₃	435.26	610.18	0.00210	0.24628	207266.66
	Ort. 8S	429.24	608.02	0.00204	0.2385	210065.18
12mm	12S ₁	465.28	626.48	0.00220	0.20121	211490.91
	12S ₂	475.53	624.25	0.00235	0.19981	202353.19
	12S ₃	485.64	622.73	0.00208	0.19405	233480.76
	Ort. 12S	475.48	624.48	0.0021	0.19835	215774.95

2.2.3. Agrega Özellikleri

Deney elemanlarında kullanılan betonun üretiminde maksimum tane çapı 12mm olan kalker agregası kullanılmıştır. Agreganın tane boyutunun küçük seçilmesindeki temel amaç, beton döküm sırasında kompozit kolon içindeki çelik profil ile çelik kiriş birleşim bölgelerine betonun daha iyi yerleşmesini sağlamaktır. Beton üretiminde kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2.4'te granülometrik bileşeni ise Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Beton üretiminde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Agrega tane boyutu	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)		Su emme (%)
	Kuru	Doygun	
İnce (0-4mm)	2581	2594	0.50
İri (4mm-12mm)	2564	2580	0.62

Tablo 2.5. Agreganın granülometrik bileşimi

Granülometrik sınıflar (mm)	Toplam kütle(%)
0-2	20
2-4	30
4-8	28
8-12	22

2.2.4. Çimento, Su ve Katkı Maddelerin Özellikleri

Kompozit kolonu oluşturan betonun üretiminde CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. CEM I 42.5 R tipi çimentonun fabrikasından alınan özellikleri Tablo 2.6'da verilmiştir. Betonların hazırlanmasında ve küründe Karadeniz Teknik Üniversitesi Yapı ve Malzeme Laboratuvarında bulunan içme suyu niteliğini taşıyan su kullanılmıştır. Kompozit kolonda çelik profil ile donatı arasına betonun daha iyi yerleşebilmesi için süper akışkanlaştırıcı (YKS Rheobuild 1000) katkı maddesi kullanılmıştır. Beton karışımında mineral katkı maddeleri olan mikro sili, uçucu kül vb. kullanılmamıştır.

Tablo 2.6. Beton üretiminde kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Cem I 42.5 R		
Fiziksel özellikler		
Birim hacim ağırlığı (g/cm ³)		3.15
Blain özgül yüzey (cm ² /g)		3675
200 µ elek üstünde kalan (%)		0.00
90 µ elek üstünde kalan (%)		1.05
Priz süresi (saat) (Vicat indisi)	Başlangıç	2:25
	Bitiş	4:15
Toplam hacim genişlemesi (mm)		0.9
Mekanik özellikler		
7 gün	Eğilme dayanımı (MPa)	6.9
	Basınç dayanımı (MPa)	45.8
28 gün	Eğilme dayanımı (MPa)	8.7
	Basınç dayanımı (MPa)	52.5

2.3. Deney Elemanlarında Kullanılan Beton Karışımlarının Belirlenmesi

Deney elemanlarının üretiminde kullanılan betonun C30/37 dayanım sınıfında olması planlanmıştır. Bu dayanım sınıfında betonu üretebilmek için üç farklı beton karışımı hazırlanmış ve deneme üretimleri yapılmıştır. Üç farklı tipte hazırlanan karışım oranları Tablo 2.7'de verilmiştir. Bu karışımlar kullanılarak hazırlanan deneme betonundan üçer adet 150mmx150mmx150mm boyuttaki küp beton numuneleri alınmıştır. Üretilen beton numuneler bir gün sonra kalıplarından çıkartılarak deney anına kadar sıcaklığı 22±2° olan kür havuzunda bekletilmiştir. Yedinci gün sonunda kür havuzundan çıkan numunelere

basınç deneyleri KTÜ Yapı ve Malzeme Laboratuvarında bulunan 2500kN kapasiteli hidrolik pres yardımıyla gerçekleştirilmiştir(Şekil 2.44). Basınç deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.7. Deneme beton karışım oranları

Malzeme	Karışım-1	Karışım - 2	Karışım - 3
Çimento (kg/m ³)	350	400	350
Su (kg/m ³)	175	175	175
İnce Agregası 0-4 mm (kg/m ³)	920	920	620
İnce Agregası 4 mm-8 mm (kg/m ³)	920	920	610
İri Agregası 8 mm-12 mm (kg/m ³)	--	--	610



Şekil 2.44. 2500 kN kapasiteli otomatik yükleme makinesi ile basınç deneyi

Tablo 2.8. Deneme betonların basınç deney sonuçları

Numune no	7 Günlük basınç dayanımı (MPa)		
	Karışım-1	Karışım-2	Karışım-3
1	28.13	34.25	26.22
2	25.20	32.55	28.39
3	25.93	30.61	28.78
Ort. Basınç dayanımı (MPa)	26.42	32.47	27.80

Deneme betonlarının 7 günlük basınç dayanımları değerlendirildiğinde ikinci karışımın en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Ancak bu üretimde beton işlenebilirliğinin uygun olmadığı görüldüğünden süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilavesi ile deney elemanlarının üretiminde bu karışımın kullanılmasına karar verildi (Tablo 2.9).

Tablo 2.9. Deney elemanların hazırlanmasında kullanılacak betonun karışım oranları

Çimento (kg/m ³)	400
Su (kg/m ³)	175
İnce Agregası 0-4 mm (kg/m ³)	920
İnce Agregası 4 mm-8 mm (kg/m ³)	920
İri Agregası 8 mm-12 mm (kg/m ³)	--
Katkı Maddesi (kg/m ³)	4.20

2.3.1. Kompozit Kolonlarda Beton Dökümü

Çalışma kapsamında toplam sekiz adet deney elemanı üretilmiştir. Daha önce çelik imalatı hazırlanmış olan kompozit kolonların boyuna ve enine donatıları bağlanarak kalıplara yerleştirilmiş ve 20mm kalınlığında plastik paspayı elemanları ile kalıplara değmesi önlenmiştir. Deney elemanlarını oluşturan kompozit kolon beton dökümü, iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, KKB-A, KKB-B, KKB-C ve KKB-D deney elemanların betonu, ikinci aşamada ise KKB-E, KKB-F, KKB-G ve KKB-H elemanların betonu Karadeniz Teknik Üniversitesi Yapı ve Malzeme Laboratuvarındaki betoniye ile hazırlanıp dökülmüştür(Şekil 2.45). Kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgesindeki donatı mesafelerin küçük olmasından dolayı, beton dökümünde özenli bir şekilde vibratör kullanılmış, böylece beton içinde oluşacak boşlukların oluşması önlenmiştir. Beton dökümü sırasında küp ve standart silindir deney numuneleri alınmıştır. Beton dökümlerine ait bazı görüntümler Şekil 2.46, Şekil 2.47 ve Şekil 2.48’de verilmiştir.



Şekil 2.45. Betonların hazırlanmasında kullanılan betoniye



Şekil 2.46. Birinci beton dökümüne ait görüntüler



Şekil 2.47. Betona dökümüne hazır hale getirilen KKB-E, KKB-F, KKB-G ve KKB-H deney elemanları



Şekil 2.48. İkinci beton dökümüne ait bazı görüntüler

Beton numuneleri 28 gün boyunca üstleri sürekli ıslak kalacak şekilde su tutucu çuvallar ile kapatılmıştır. Üretim aşamasında alınan küp ve standart silindir numuneleri ise 28 gün boyunca standart kür havuzunda ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$) bekletilmiştir. Kompozit kolon-çelik kiriş deney elemanları kalıplarının sökülmesi ve kürünün tamamlanmasından sonra deneysel çalışma sırasında oluşabilecek çatlakların ilerleyişini görebilmek için beyaza boyanmıştır (Şekil 2.49).



Şekil 2.49. Deney elemanların boyama işlemleri

2.3.2. Deney Elemanlarında Kullanılan Betonların Özellikleri

Deney elemanların üretiminde kullanılan beton numuneleri üzerinde, basınç ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. Deney numunelerine tek eksenli basınç deneyi sırasında, düzgün aksenal yük verebilmek için silindir numunelere kükürt başlık yapılmıştır (Şekil 2.50).



Şekil 2.50. Alınan beton numunelerin hazırlama aşamaları

2.3.3. Beton Numunelerin Tek Eksenli Basınç Deneyleri

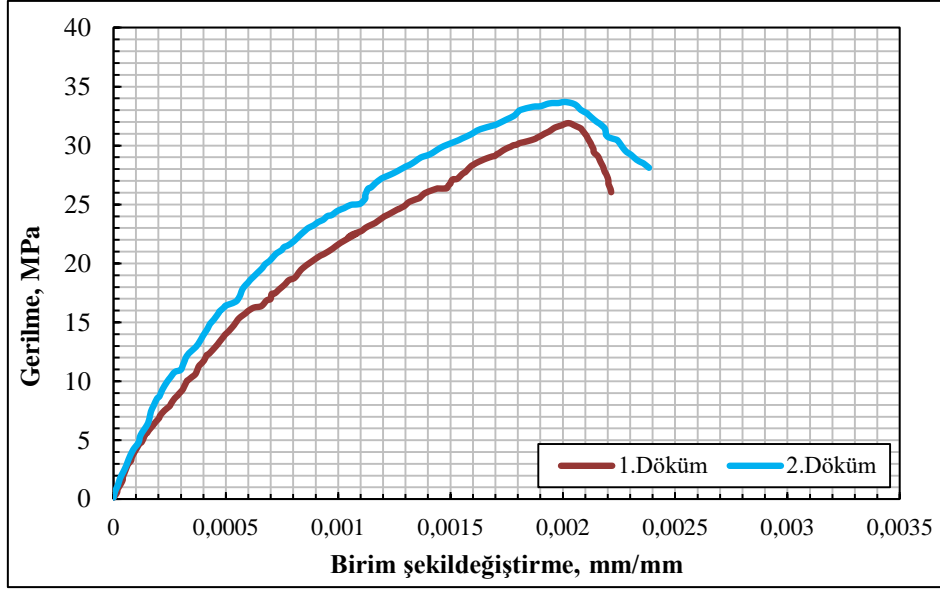
Tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneylerinde 2500 kN kapasiteli otomatik yüklemeye yapabilen bilgisayar kontrollü Dinç Makine markalı hidrolik pres kullanılmıştır. Her iki beton dökümden hazırlanan altışar adet küp ve silindir numunelere tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Ayrıca her bir dökümden birer adet silindir numuneye birim şekildeğiştirme ölçer yerleştirilerek, betonun elastisite modülü ve gerilme-şekildeğiştirme grafikleri elde edilmiştir (Şekil 2.51). Küp ve silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli basınç deney sonuçları Tablo 2.10'da ve gerilme-birim şekildeğiştirme grafikleri Şekil 2.52'de verilmiştir.



Şekil 2.51. Tek eksenli basınç deneyi ve numuneye yerleştirilen birim şekil değiştirme ölçer

Tablo 2.10. Üretilen betonların basınç dayanımları ve elastisite modülü

Numune no	Basınç dayanımı (MPa)		Ortalama basınç dayanımı (MPa)		Elastisite modülü (E _c) (MPa)
	Küp numune	Silindir numune	Küp numune	Silindir numune	
Birinci döküm	1	40.15	38.73	31.30	32600
	2	39.95			
	3	37.15			
	4	38.03			
	5	37.86			
	6	39.21			
İkinci döküm	1	41.41	39.22	33.02	35160
	2	35.43			
	3	43.05			
	4	36.78			
	5	37.10			
	6	41.56			



Şekil 2.52. Birinci ve ikinci beton dökümlerine ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

2.3.4. Beton Numunelerin Yarmada Çekme Deneyleri

Deney elemanlarında kullanılan betonların çekme dayanımlarını belirlemek için, her dökümden alınan üçer adet silindir numune üzerine, yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. Şekil 2.53'te görüldüğü gibi silindir numune pres makinesine yatay olarak yerleştirildikten sonra, 2500 kN kapasiteli otomatik yükleme yapabilen bilgisayar kontrollü pres makine yardımı ile yükleme yapılarak deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan yararlanarak TS 500'de verilen bağıntı 2.1 yardımıyla numunelerin yarmada çekme dayanımları elde edilerek Tablo 2.11'de verilmiştir.

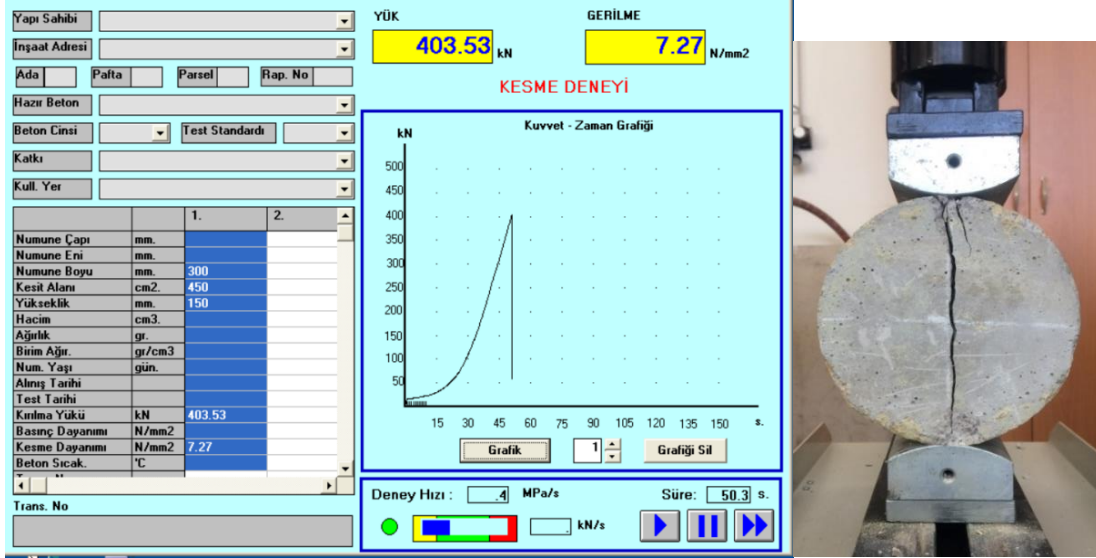
$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi dh} \quad (2.1)$$

f_{ct} ; Numunelerin yarmada çekme dayanımı (N/mm^2)

P; Kırılma anındaki maksimum yük (N)

d; Silindirin ölçülen çapı (mm)

h; Silindirin ölçülen uzunluğu (mm)



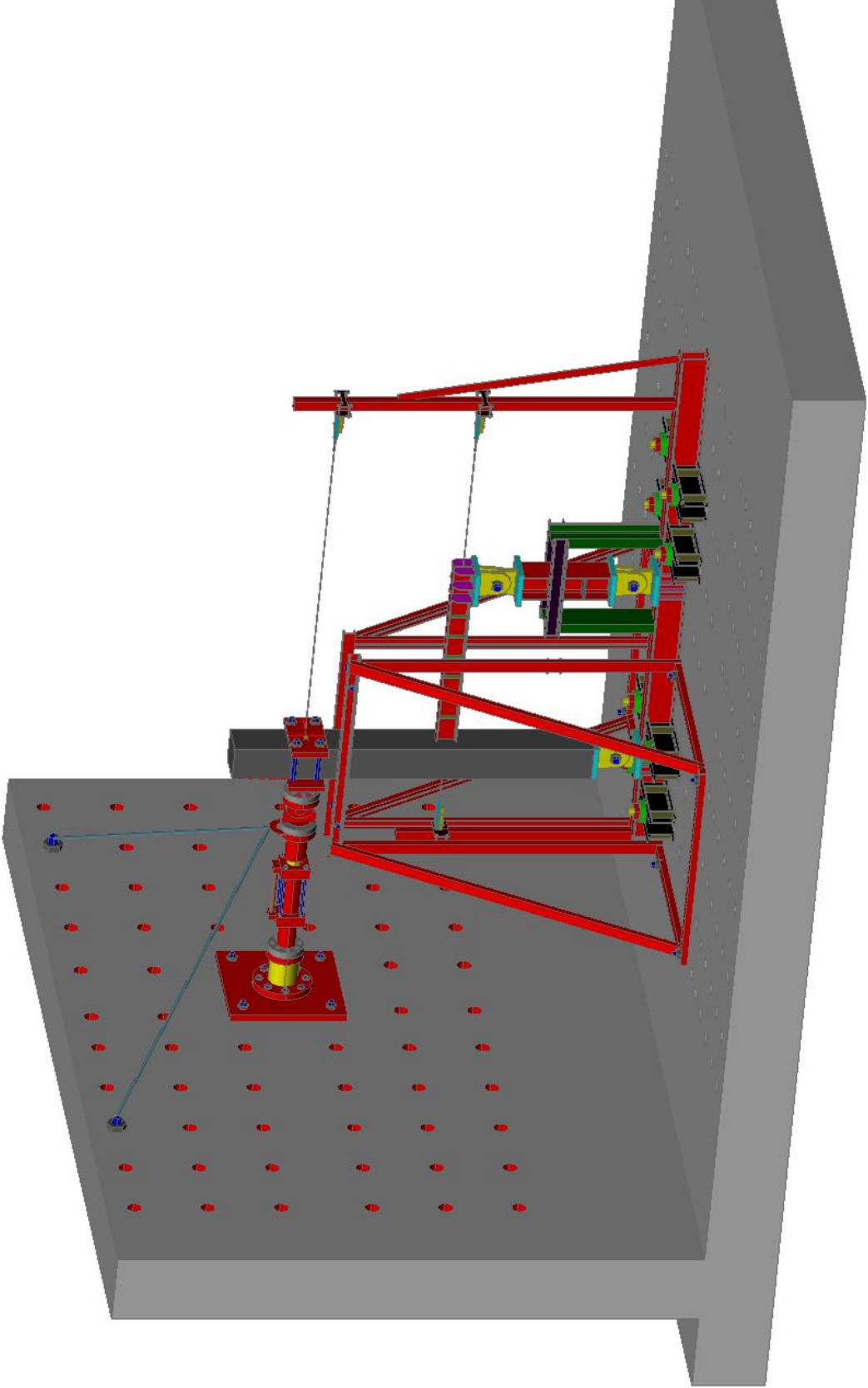
Şekil 2.53. Silindir numunelerin yarmada çekme deneyi

Tablo 2.11. Üretilen betonların kırılma yükü ve çekme dayanımları

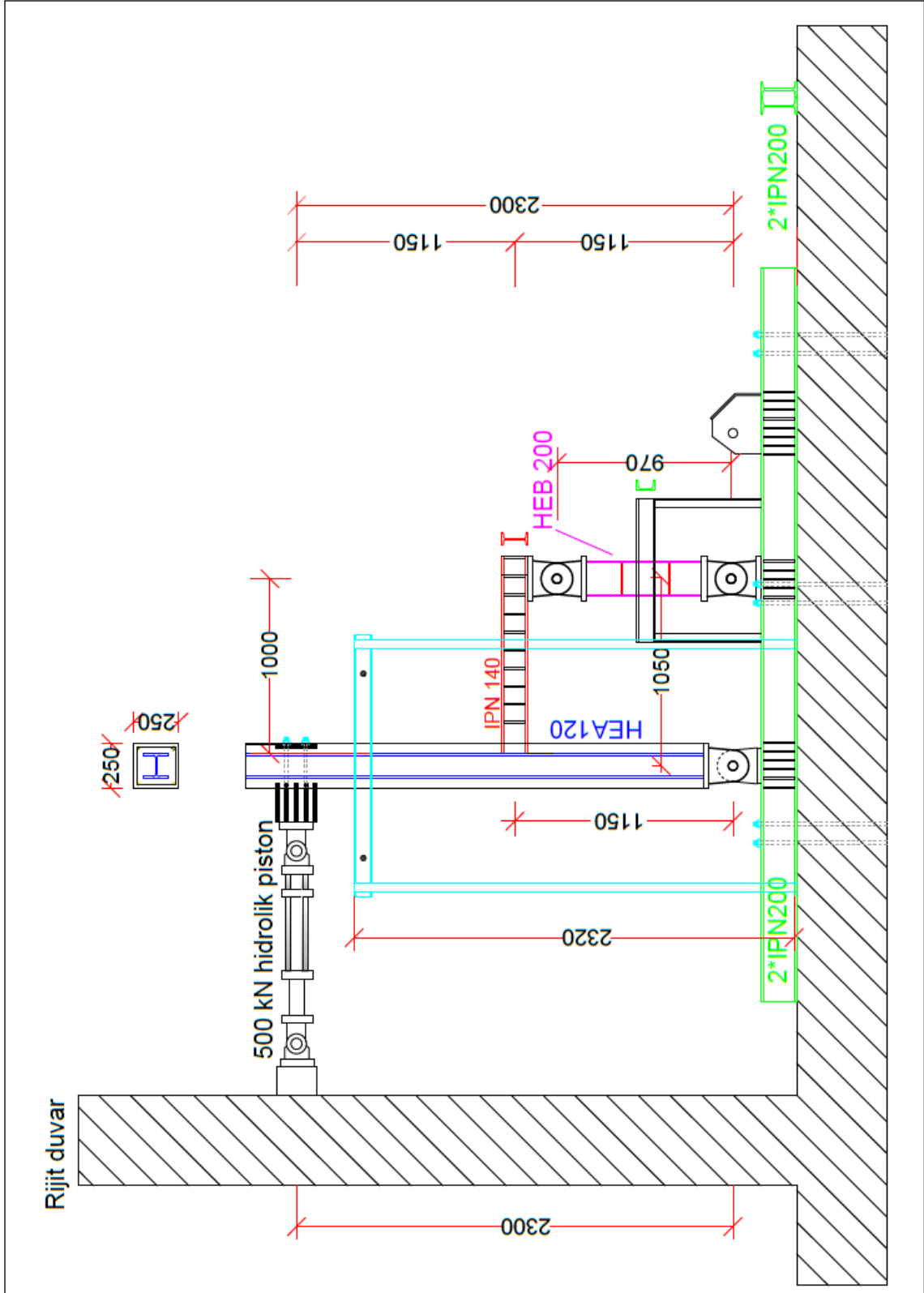
	Numune no	Yük(kN)	f_{ct} (MPa)
Birinci döküm	1	273.31	3.87
	2	395.20	5.59
	3	403.53	5.71
İkinci döküm	1	449.16	6.35
	2	455.28	6.44
	3	470.06	6.65

2.4. Deney Düzenegi

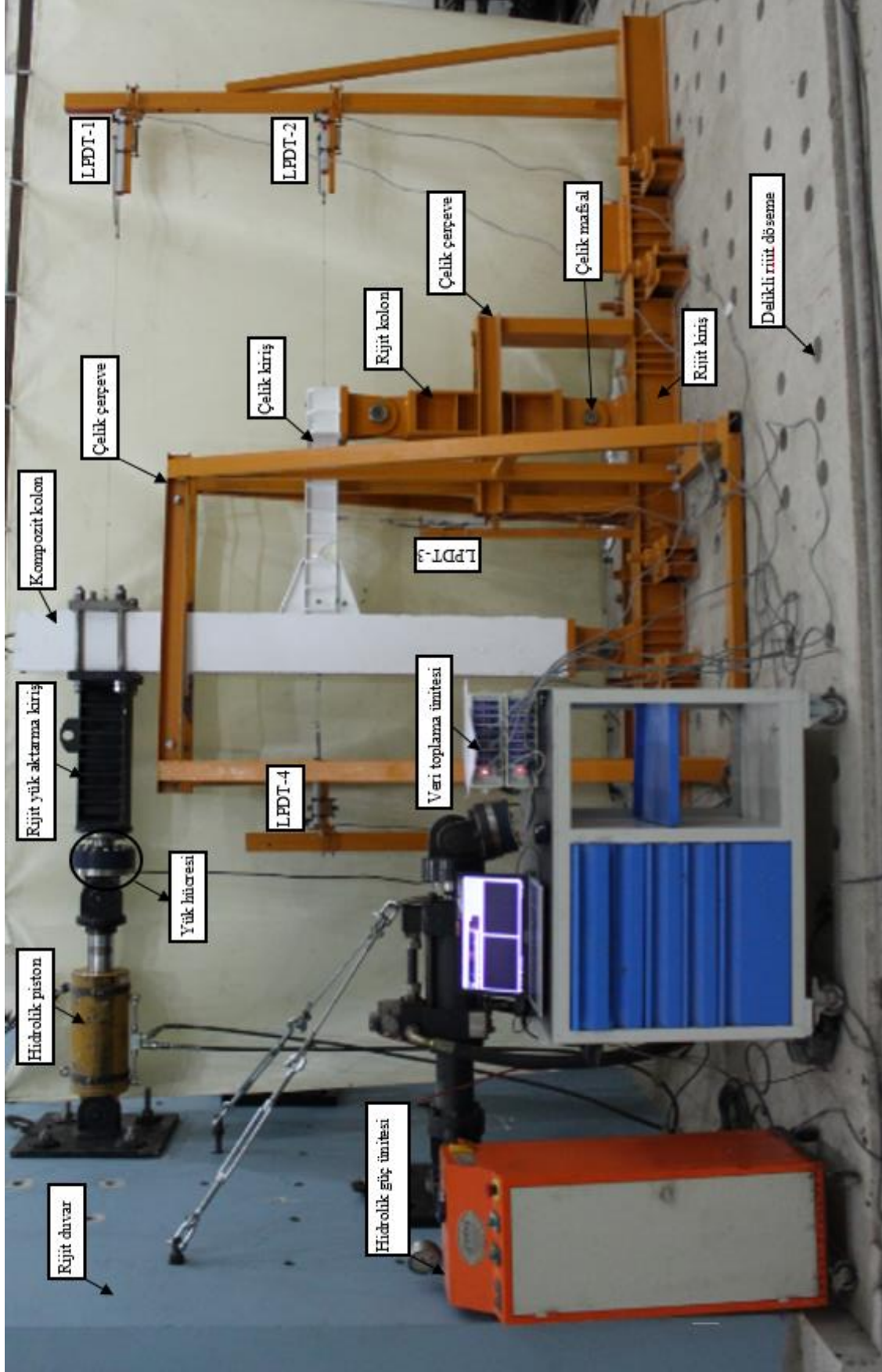
Deney düzeneginin tüm elemanları Amerikan çelik yönetmeliği olan AISC 360-10'e göre boyutlandırılmıştır (Şekil 2.54). Bu şekilden görüldüğü gibi deney düzenegi, düzlem içi dönmeleri serbest olan üç adet çelik mafsal, deney elemanın üzerine monte edilen rijit yük aktarma kirişi ve kirişin düzlem çerçeve hareketini sağlayan rijit bir kolondan oluşmaktadır. Ayrıca yatay yükleme sırasında kolon ve kirişin düzlem dışı hareketi, iki ayrı çerçeve ile sınırlandırılmıştır. Şekil 2.55'te deney düzeneginin geometrik ölçüleri, Şekil 2.56'da ise KKB-E elemanın deneye hazır hale gelmiş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.54. Deney düzeneği ve yükleme sisteminin perspektif 3D görünüşü



Şekil 2.55. Deney düzeneğinin geometrik ölçüleri



Şekil 2.56. Deneye hazır hale getirilmiş KKB-E deney elemanı

Deneye düzeneğin alt kısmında bulunan rijit kiriş, iki adet IPN200 profilin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Oluşturulan kiriş 75mm çapında, 8 adet yüksek dayanımlı bulon yardımıyla, 100 cm kalınlığındaki delikli rijit betonarme döşemeye mesnetlenmiştir. Çelik mafsalların sabit elemanın altındaki rijit kirişin gövdesi 10mm kalınlığındaki bayrak levhaları ile güçlendirilmiştir.

Rijit kolonun düzlem dışı hareketini önleyen çerçevenin elemanları, UPN200 ve UPN100 profillerinden oluşturulmuştur. Yükleme sırasında, rijit kolonun çerçeve içinde düzlemsel hareket yapabilmesi için, çerçeve rijit kirişin başlık kısmına kaynatılmıştır.

Kompozit kolona yatay yük uygulandığı zaman, düzlem dışı hareketi UPN100 profillerinden oluşturulan iki ayrı çerçeve tarafından sınırlandırılmıştır. Deney düzeneğin her iki tarafındaki çerçevelerin, düzlem içi sınırlandırma miktarı, 20mm çapındaki bulonlar yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca kompozit kolonun düzlem dışı hareketini önleyen çerçeveler, 8 adet 8.8 kalitesinde, 32mm çapındaki bulon yardımıyla rijit döşemeye bağlanmıştır.

Yüklemeyi yapan hidrolik pistonun ucuna 35mm kalınlığında bir plaka kaynatılmış, aynı kalınlık ve ölçüye sahip ikinci bir plaka, kolonun dıştaki yüzeyine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen iki plaka 32mm çapına sahip 4 adet yüksek dayanımlı bulon yardımıyla birbirine bağlanmıştır. Ayrıca tekrarlı yatay yükleme sırasında, somunların gevşemesini önlemek için, bağlantılarda çift somun kullanılmıştır. Deney düzeneğine ait mesnetlenme detayları Şekil 2.57’de verilmiştir.

Tekrarlı yatay yükleme yapabilen hidrolik piston, 100cm kalınlığındaki betonarme rijit duvara 4 adet 32mm çapındaki yüksek dayanımlı bulon ile sabitlenmiştir. Daha önce belirtildiği gibi burada da somunların gevşemesi önlemek amacıyla rijit duvarın her iki yüzünde somunlar çift olarak kullanılmıştır.

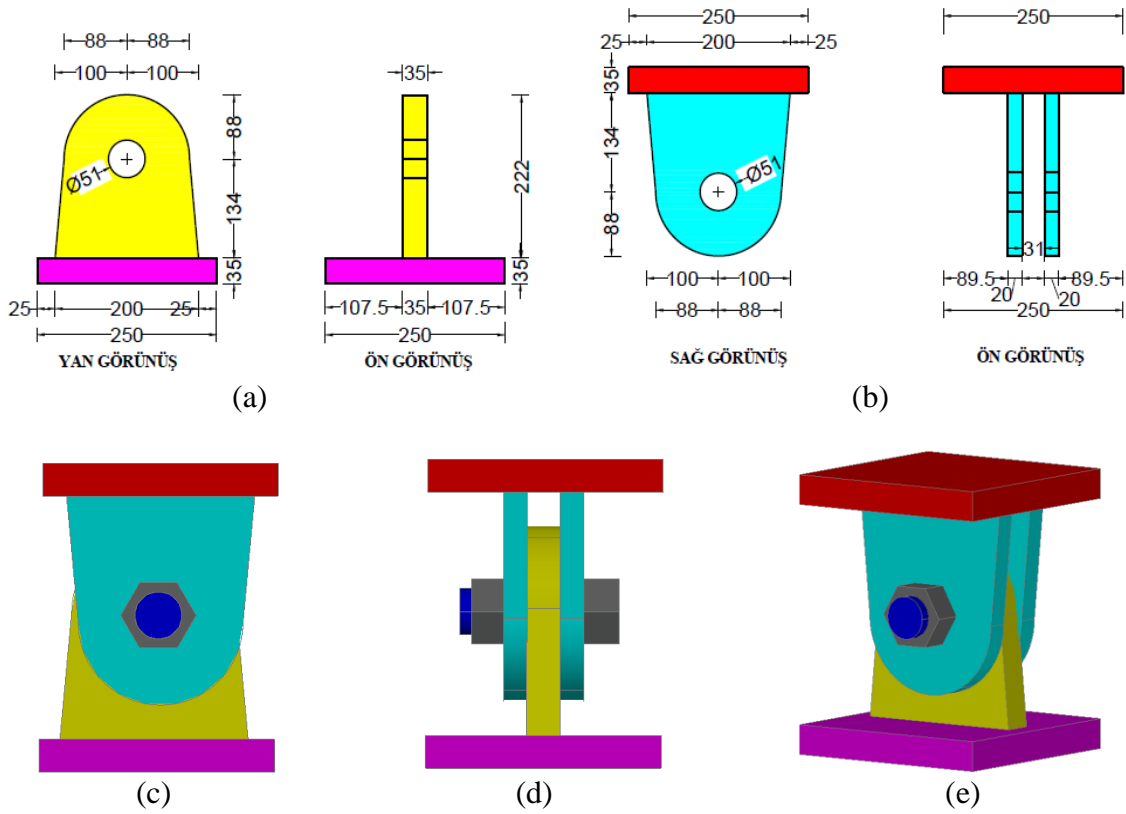
Düzeneğin üzerine bulunan LPDT (Doğrusal Potansiyometrik Cetvel) ölçümlerin mesnetlendiği profiller, rijit kirişe kaynatılmış, gerekli olan bölgelerde profiller ile takviye edilmiştir.



Şekil 2.57. Deney düzeneğinin mesnetlenme detayları

2.4.1. Çelik Mafsal

Deney düzeneğinde, sistemin tekrarlı yatay yükleme sırasında, düzlem içi dönmelerini sağlayan, üç adet çelik mafsal kullanılmıştır. Çelik mafsallar Şekil 2.58’de gösterildiği gibi üç parçadan oluşmuştur. Çelik mafsaldaki birinci parça olan sabit eleman, rijit kirişe kaynatılarak mafsalın düzlem dışı hareketini sınırlandırmaktadır. Üç levhadan oluşturulan hareketli eleman ise, sabit elemanın iki tarafında bulunan iki dikey ve bir yatay plakalardan oluşmaktadır. Sabit ve hareketli elemanları birleştiren 50mm çapındaki bulon, mafsalın ötelenmelerini sınırlandırmakta, düzlem içi dönmelerine ise imkân sağlamaktadır. Mafsalı oluşturan parçaların geometrik ölçüleri Şekil 2.58’de, imalattan bazı görünüşleri ise Şekil 2.59’da verilmiştir.



Şekil 2.58. Kolon ve kiriş altındaki mafsalın (a) sabit eleman (b) hareketli eleman ölçüleri,(c) yan (d) ön ve (e) perspektif görünüşleri



Şekil 2.59. Çelik mafsallın imalat görüntüleri

2.4.2. Rijit Kolon

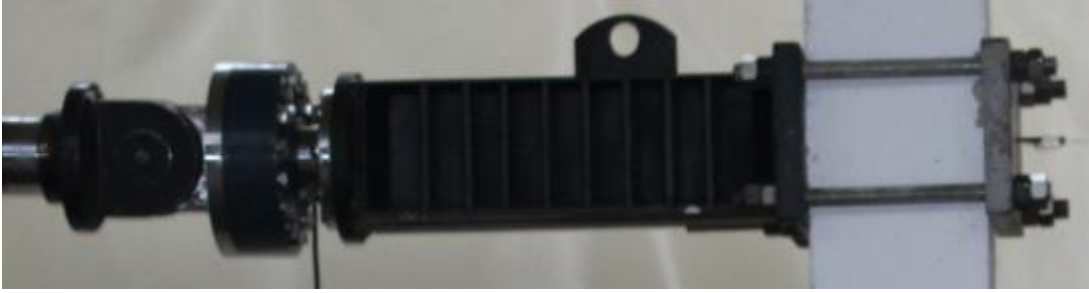
Deneysel çalışmada kiriş ucuna bağlanan rijit kolonun görevi, yüklemde kiriş düzlem içi bir miktar yatay ve dikey serbestlik vererek, sistemin düzlem çerçeve gibi davranmasını sağlamaktır. Deney düzeneğine bu özelliği verebilmek için, rijit kolonun her iki ucuna çelik mafsallar kaynatılmıştır (Şekil 2.60). Rijit kolonun deney sırasında şekildeğiştirme yapmaması için HEB200 profilinden yapılmış ve 4 adet bayrak levha ile güçlendirilmiştir.



Şekil 2.60. Rijit kolon görüntüleri

2.4.3. Rijit Yük Aktarma Kirişi

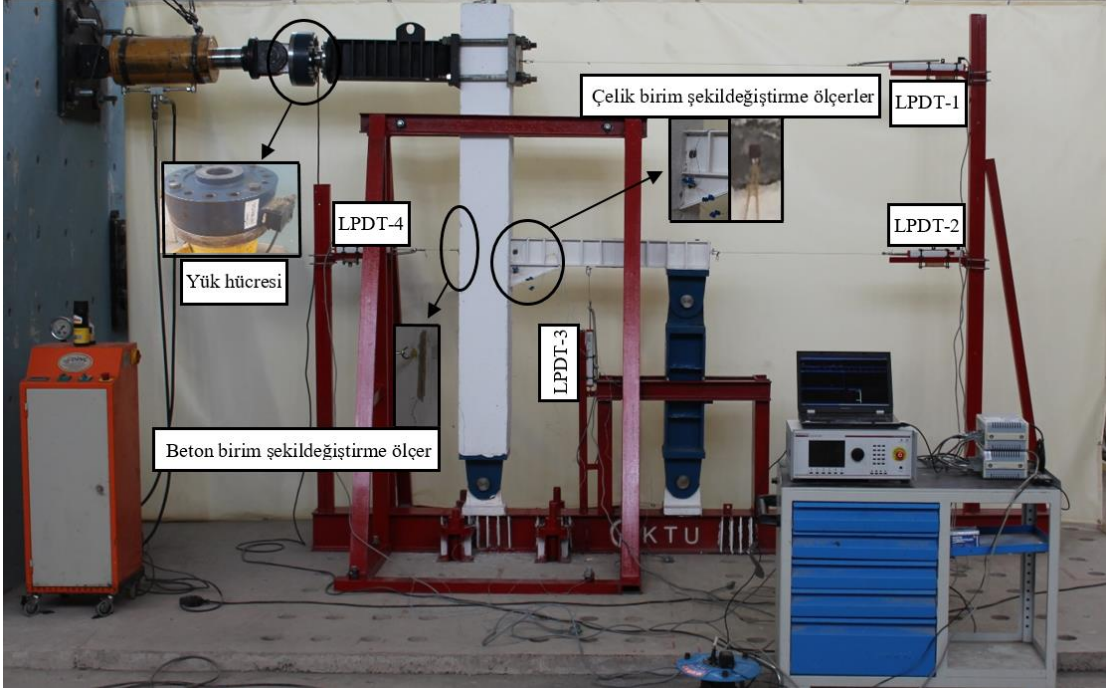
Hidrolik piston, deney elemanına 85cm uzunluğundaki rijit yük aktarma kirişiyle bağlanmıştır. Rijit yük aktarma kirişi, iki adet IPN200 profilin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Söz konusu kiriş gövdesi boyunca 10mm kalınlığındaki levhalar ile güçlendirilmiştir (Şekil 2.61). Ayrıca deney düzeneğindeki düşey hareket sırasında, ekstra zorlanmaların oluşmaması için, hidrolik piston ve rijit yük aktarma kirişi arasında, mafsallı birleşim kullanılmıştır.



Şekil 2.61. Rijit yük aktarma kirişi

2.5. Tekrarlı Yatay Yüklemede Ölçüm Sistemi ve Kullanılan Aletler

Bu çalışma kapsamında, tekrarlı yatay yük altında kompozit kolon-kiriş birleşimlerin yapısal davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, deney elemanları üzerinde Deneysel Modal Analiz ölçümleri de gerçekleştirilerek dinamik karakteristikleri olan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranları belirlenmiştir. Tekrarlı yatay yüklemede; yük, yerdeğiştirme ve birim şekildeğiştirmelerin deneysel ölçümleri yapılmıştır. Şekil 2.62’de görüldüğü gibi dört adet LPDT(Doğrusal potansiyometrik cetvel) ile yatay ve düşey yerdeğiştirmeler, hidrolik piston ucuna yerleştirilen yük hücresi ile deney boyunca uygulanan yatay yük değerlerinin ölçümleri alınmıştır. Ayrıca, kompozit kolonun dış yüzeyinde bulunan betona 105mm uzunluğunda birim şekildeğiştirme ölçer, birleşim bölgesinin hemen ucundaki kirişin başlık ve gövdesinde bulunan çeliğe 6mm uzunluğunda birim şekildeğiştirme ölçer yapıştırılarak, malzemedeki şekildeğiştirme değerleri ölçülmüştür.



Şekil 2.62. Deneysel çalışmada ölçüm sistemi

2.5.1. Hidrolik Piston

Deneysel çalışmada kullanılan hidrolik piston toplam 300mm uzunluğundaki mil yardımıyla, 150mm itme ve 150mm çekme yüklemesi yapabilmektedir. Hidrolik piston, elektrikli basınç güç ünitesi yardımıyla maksimum 1000 kN yük uygulayabilmektedir (Şekil2.63). Ayrıca hidrolik pistonun her iki ucunda mafsallı birleşim oluşturulmuştur. Böylece, deney düzeneğinde oluşan düşey yerdeğiştirmelerin meydana getirdiği, ekstra gerilmelerin oluşması engellenmiş olmaktadır.



Şekil 2.63. Hidrolik piston ve güç ünitesi

2.5.2.Yük Hücresi

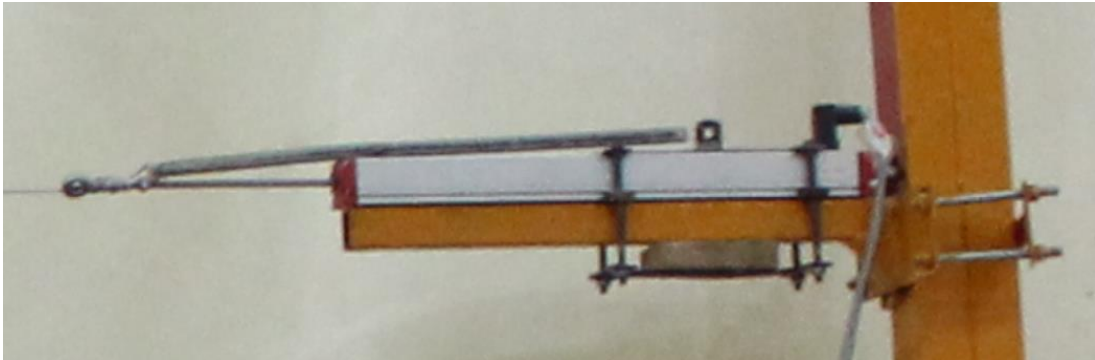
Hidrolik piston ve rijit yük aktarma kirişin arasına yerleştirilen yük hücresi 1000 kN çekme-basınç yükü ölçebilmektedir. Ayrıca kullanılan yük hücresi saniyede 16 değer ölçüp veri toplama sistemine aktarabilmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan CAS markalı yük hücresi Şekil 2.64'te gösterilmiştir.



Şekil 2.64. 1000 kN kapasiteli yük hücresi (Loadcell)

2.5.3. LPDT (Doğrusal Potansiyometrik Cetvel)

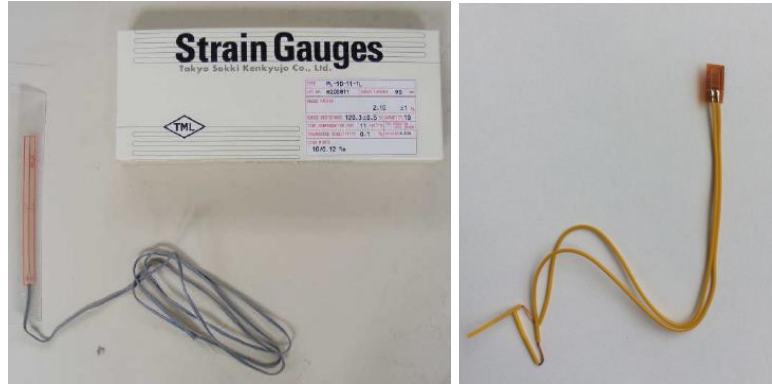
Deneysel çalışmada, yerdeğiştirme ölçümleri için doğrusal potansiyometrik cetveller (LPDT) kullanılmıştır. Kullanılan LPDT'ler 300mm ve 200mm yerdeğiştirmeyi elektronik olarak ölçmekte ve saniyede aldığı 16 ölçüm değerlerini, veri toplama sistemine aktarabilmektedir. Ayrıca tersinir yükleme sırasında, LPDT'lerin geri toplanmasını sağlamak için, sistemin üstünde yay kullanılmıştır (Şekil 2.65).



Şekil 2.65. Deneysel çalışmada kullanılan LPDT

2.5.4. Birim Şekildeğiştirme Ölçer (Strain Gauge)

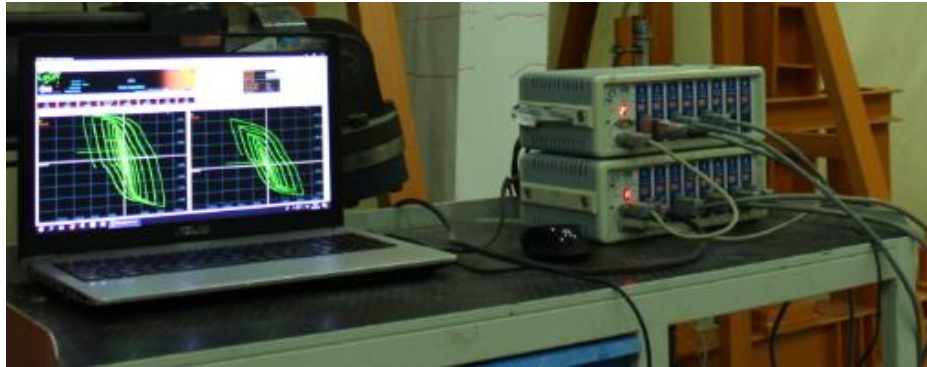
Deneysel çalışmada iki tip birim şekildeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. 105 mm uzunluğundaki birim şekildeğiştirme ölçerler, kompozit kolonun dış yüzeyindeki betonun birim şekildeğiştirmelerin ölçümü için, 6 mm uzunluğundaki birim şekildeğiştirme ölçerler ise birleşim bölgesindeki çelik kirişin başlık ve gövdesinde, guseli deney elemanlarda guse başlık ve gövdesinde kullanılmıştır (Şekil 2.66).



Şekil 2.66. Betonda ve çelikte kullanılan birim şekildeğiştirme ölçerler

2.5.5. Veri Toplama Ünitesi

Deneysel çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yapı ve Malzeme Laboratuvarında bulunan CODA Ai8b markalı, saniyede 16 değer kayıt edebilme özelliği ve 16 kanal girişi bulunan veri toplama ünitesi (data logger) kullanılmıştır. Şekil 2.67'de KKB-G kodlu elemanın deney sırasında veri toplama sistemin görüntüsü verilmiştir.

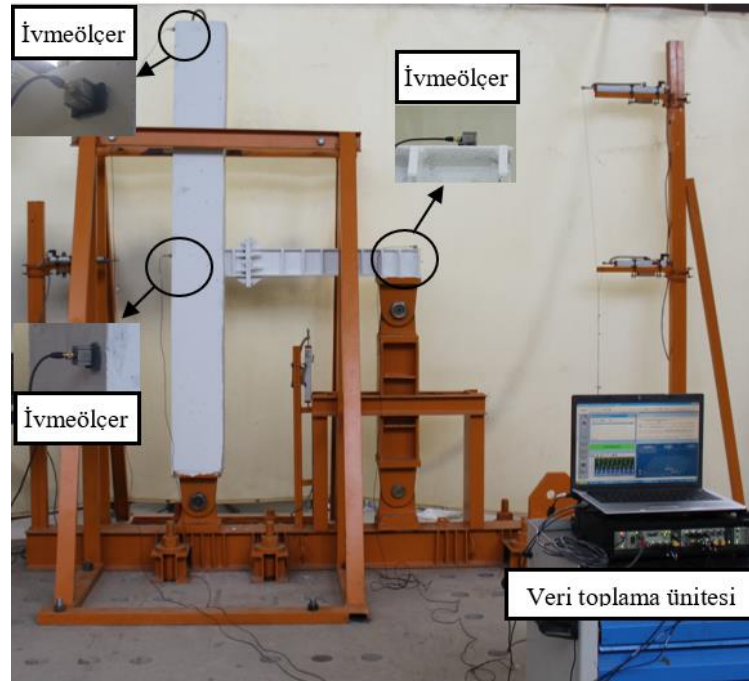


Şekil 2.67. Coda Ai8b veri toplama ünitesi

2.6. Deneysel Modal Analizde Ölçüm Sistemi ve Kullanılan Aletler

Deney elemanların dinamik karakteristikleri olan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranları Deneysel Modal Analiz ölçümleri ile belirlenmiştir. Bütün deney elemanların dinamik karakteristiklerini belirlemek için ilk ölçümleri tekrarlı yatay yük uygulanmadan önce yapılmıştır. İkinci ölçümleri ise tekrarlı yatay yükleme deneyleri yapıldıktan sonra, başka bir deyişle deney elemanları hasar gördükten sonra yapılmıştır. Böylece deney elemanların kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarın dinamik karakteristiklerine olan etkileri incelenmiştir.

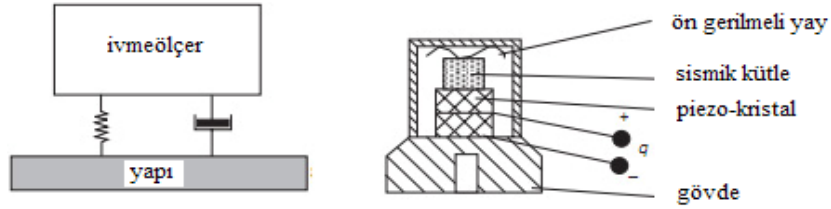
Deneysel Modal Analizde; deney elemanı deney düzeneğine sadece çelik mafsallardan mesnetlenmiştir. Kompozit kolon etrafındaki çerçeveler gevşetilerek kolondan uzaklaştırılmıştır. Ayrıca kompozit kolonun üst bölgesindeki rijit yük aktarma kirişi, deneysel modal analiz ölçümleri sırasında kaldırılmıştır. Yapılan ölçümler çevresel titreşime dayalı olduğundan deney elemanına herhangi bir dış etkinin olmaması gerekmektedir. Deneysel Modal Analiz ölçümlerine başlamadan önce ivmeölçerlerin yerleştirilmesi için kritik bölgelerin belirlenmesi gerekmektedir. Sonlu eleman model üzerine yapılan modal analiz sonucu kritik bölgeler belirlenmiş olup Şekil 2.68’de görüldüğü gibi üç kritik bölgeye 3 eksenli ivmeölçerler yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır.



Şekil 2.68. Deneysel Modal Analizde ölçüm düzeneği

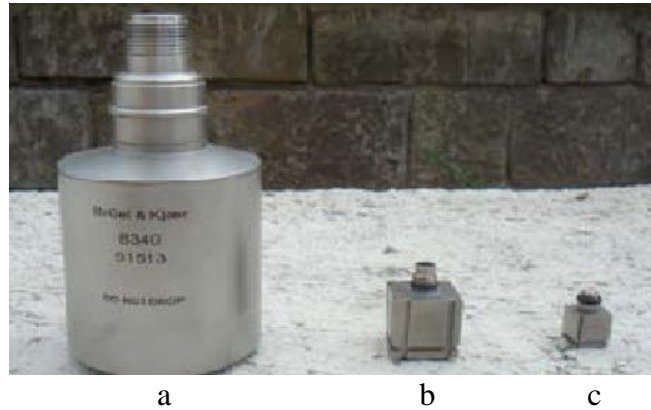
2.6.1. İvmeölçerler

İvmeölçerler, Deneysel Modal Analiz ölçümlerin doğruluğunu etkileyen faktörlerin başına gelmektedir. Deney elemanın frekans aralığı ve tipine bağlı olarak ivmeölçerin seçilmesi gerekmektedir. Titreşime dayalı ölçümlerin yapıldığı yapı ve deney elemanlardaki serbest veya zorlanmış titreşimleri ivmeölçerler kayıt altına almaktadır. Günümüzdeki gelişen teknoloji ile beraber farklı mekanizmalara sahip ivmeölçer geliştirilmiştir. Fakat yapısal titreşim ölçümlerinde genellikle piezoelektrik ivmeölçerler tercih edilmektedir. Şekil 2.69'da gösterildiği gibi, Piezoelektrik ivmeölçerler genellikle yay-kütle sönümleyici sisteminde oluşmaktadır (Ramos, 2007).



Şekil 2.69. Piezoelektrik tipi ivmeölçerin iç mekanizması

Çalışma kapsamında, B&K 8340 tipi tek eksenli, B&K 4506 B 003 tipi üç eksenli ve B&K 4507 B 005 tipi tek eksenli piezoelektrik ivmeölçerler kullanılmıştır. Şekil 2.70'te kullanılan ivmeölçerlere ait görüntü, Tablo 2.12'de ise genel özellikleri verilmiştir (Altunışık, 2010).



Şekil 2.70. (a) Tek eksenli (B&K 8340), (b) üç eksenli (B&K 4506 B003) ve (c) tek eksenli (B&K4507 B005) ivmeölçerler

Tablo 2.12. Tek eksenli B&K 8340 ve B&K 4507 B 005 tipi ivmeölçerler ile üç eksenli B&K 4506 B003 tipi ivmeölçerlere ait bazı özellikler (Altunışık, 2010)

Model	B&K 8340	B&K 4507 B 005	B&K 4506 B 003
Hassasiyet	10 V/g	1 V/g	0.5 V/g
Frekans Aralığı	0.1-1500 Hz	0.4-6000 Hz	0.3-2000 Hz
Maksimum İvme	∓ 0.5 g	∓ 7 g	∓ 14 g
Çalışma Sıcaklığı	-51 ile +74 °C arası	-54 ile +100 °C arası	-54 ile +100 °C arası
Boyutlar	50.3 x 50.3 x 91.9 mm	10 x 10 x 10 mm	17 x 17 x17 mm
Toplam Kütle	775 gram	4.6 gram	18 gram

2.6.2. Veri Toplama Ünitesi

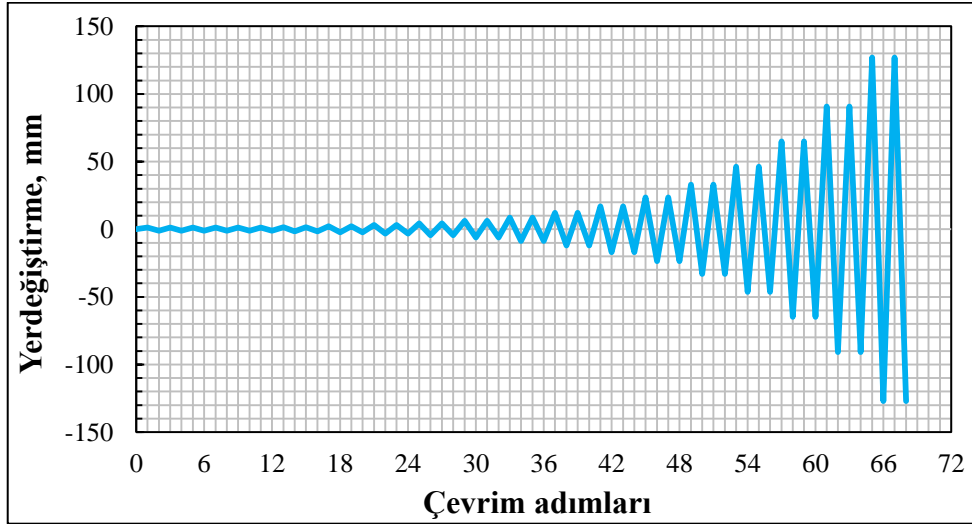
Deneysel Modal Analizde ivmeölçerler tarafından okunan titreşim değerleri B&K 3560 C tipi 17 kanallı veri toplama ünitesine aktarılmaktadır. Veri toplama ünitesi bilgisayar ortamına bağlı olup; ölçümün süresi, veri aralıkları ve titreşim durumlarını anlık olarak göstermektedir. Veri toplama ünitesinde bulunan iki adet batarya sayesinde, elektrik kesintisi olduğu durumlarda alınan ölçümler depolanmakta ve 1-1.5 saat elektrik olmadan ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 2.71. Brüel ve Kjaer 3560-C veri toplama ünitesi

2.7. Tekrarlı Yatay Yüklemede Kullanılan Protokol

Tekrarlı yatay yüklemede, FEMA 461 (2007) yönetmeliğinde yarı statik (quasi static) olarak belirtilen yük protokolu kullanılmıştır. FEMA 461'e göre, yükleme protokolu ilk çatlakların oluşumundan daha küçük bir değer ile başlanmalıdır. Bu yüzden deney düzeneğindeki mafsallarda bulunan 1mm boşluktan dolayı, yükleme protokolu 1mm'lik değerden başlatmıştır. Şekil 2.72'de görüldüğü gibi, deneysel çalışmada ilk olarak, 1mm yatay deplasmandan başlanarak, 6 çevrim uygulanmıştır. Daha sonraki çevrimlerde, bir önceki çevrimin her iki yönde 1.4 katı büyütülmüş ve her çevrim iki defa tekrar edilerek uygulanmıştır.



Şekil 2.72. Denelerde kullanılan yük protokolü

2.8. Deneysel Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Çalışmada, FEMA 461 yükleme protokolüne bağlı tekrarlı yatay yük deneyleri sekiz adet deney elemanı üzerinde gerçekleştirildikten sonra, kayıt altına alınan ölçümler değerlendirilmiştir. Deneysel olarak alınan Modal Analiz verileri de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

2.8.1. Tekrarlı Yatay Yük-Yerdeğiştirme Eğrilerin Çıkartılması

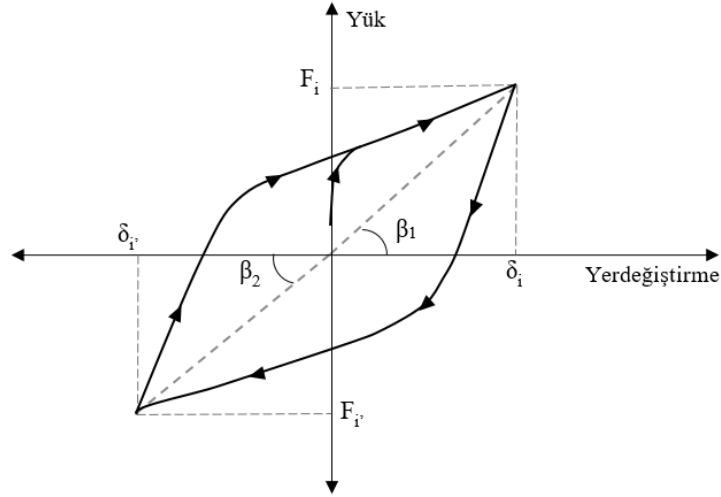
Deneysel çalışmada, deney boyunca FEMA 461 y¼kleme protokoluna g¼re kompozit kolonun ¼st b¼lgesine uygulanan y¼k değerleri, y¼k h¼cresi tarafından veri toplama ¼nitesine aktararak kayıt edilmiştir. Ayrıca kompozit kolonun dış y¼zeyinden alınan yerdeğiştirme değerleri LPDT vasıtasıyla, deney boyunca saniyede 16 veri olarak kayıt edilmiştir. Alınan verilerden elde edilen tekrarlı yatay y¼k-yerdeğiştirme eğrileri t¼m çevrimler için çizilmiştir. Grafik çizimlerinde yatay eksen yerdeğiştirmeyi, d¼řey eksen ise y¼k değerlerini g¼stermektedir. Bu işlem sekiz deney elemanı için ayrı ayrı yapılmıştır.

2.8.2. Dayanım Zarfı Eğrilerin Çıkartılması

Deneysel çalışmadan elde edilen dayanım zarfı veya taşıma kapasitesi eğrileri, t¼m deney elemanları için çizilmiştir. Dayanım zarfı eğrisi, her çevrimde mutlak değerce en b¼y¼k kuvvet değerine karşılık gelen yerdeğiştirme değeri alınarak çizilmiştir. Dayanım zarfı grafiğinde yatay eksen y¼k değerleri d¼řey eksen ise yerdeğiştirme değeri g¼sterilmiřtir. Dayanım zarfı eğrileri, yatay ve d¼řey eksen değerlerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur.

2.8.3. Etkili Rijitlik Değerlerin Hesaplanması

Çalışma kapsamında çevrimsel y¼kleme protokoluna g¼re, çevrimlerin artmasıyla birlikte yerdeğiştirme değeri 1.4 kat b¼y¼mektedir. Bu durumda deney elemanında hasar meydana gelmekte ve rijitlik değerinde d¼ř¼ř olmaktadır. Rijitlik değerleri hesaplanırken, her çevrim için y¼k-yerdeğiştirme eğrisinin eğimi alınmıştır (şekil 2.73). T¼m çevrimlerin ileri ve geri durumu için rijitlik değerleri bağıntı 2.2 ve 2.3 yardımıyla hesaplanmıştır. Her bir çevrim için hesaplanan rijitlik değerleri d¼řeyde, yatayda ise yerdeğiştirme değerleri olacak şekilde çevrimsel y¼klemede rijitlik azalma eğrileri çizilmiştir.



Şekil 2.73. Tekrarlı yatay yüklemede her bir çevrim için rijitlik değerlerinin hesaplanması (Chopra, 2007)

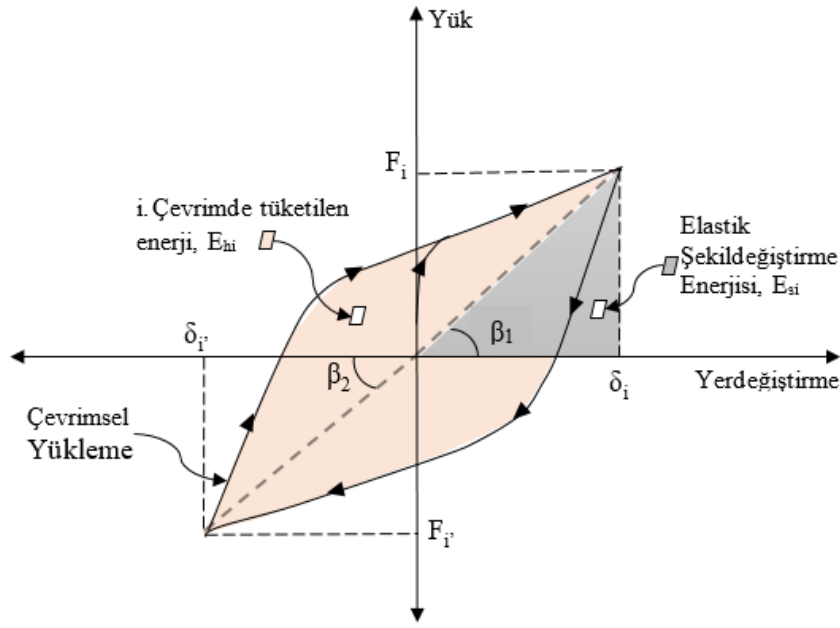
$$k_{e(i)} = \tan(\beta_1) = \frac{F_i}{\delta_i} \quad (2.2)$$

$$k_{e(\zeta)} = \tan(\beta_2) = \frac{F_{i'}}{\delta_{i'}} \quad (2.3)$$

Burada; i. çevrimde yük-yerdeğiştirme eğrisinde okunan yük değerleri f_i ve $f_{i'}$ ile, yerdeğiştirme değerleri δ_i ve $\delta_{i'}$ olmak üzere, itme ve çekmedeki etkili etkili rijitlik değerlerin hesaplamasında kullanılmaktadır.

2.8.4. Enerji Tüketme Kapasitelerinin Hesaplanması

Yapılarda tüketilen enerji, yapının elastik olmayan şekildeğiştirme kabiliyeti ile orantılıdır. Çalışmada, tekrarlı yatay yüklemeye tabi tutulan sekiz adet deney elemanın enerji tüketme kapasitelerini karşılaştırmak için, farklı özelliğe sahip deney elemanlarının yükleme altındaki enerji tüketme kapasiteleri hesaplanmıştır. Her çevrimdeki yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alanın toplamı o çevrimde tüketilen enerji değerini vermektedir. Deney boyunca tüketilen toplam enerji değerlerini hesaplamak için, her çevrimden elde edilen enerji miktarları toplanmıştır. Grafik oluşturulurken düşey ekseninde tüketilen enerji miktarı, yatay ekseninde ise yerdeğiştirme olacak şekilde çizilmiştir (Şekil 2.74).



Şekil 2.74. i. çevrimde tüketilen enerji ve depolanan elastik şekil değiştirme enerjisi (Chopra, 2007)

2.8.5. Deneysel Modal Analizinden Dinamik Karakteristiklerin Elde Edilmesi

Deney elemanlarının dinamik karakteristikleri olan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranlarını belirlemek için yapılan Deneysel Modal Analizde, ivme ölçerler tarafından alınan sinyaller veri toplama ünitesine gönderilmektedir. Ancak gönderilen sinyaller içinde tekrarlı ve tekrarsız titreşimler olduğundan, veri toplama ünitesinde bu sinyaller ayıklanması gerekmektedir. Böylece veri toplama ünitesindeki sinyal işleme sürecinde istenmeyen sinyaller filtrelenmektedir. Filtreleme işlemi sırasında ivmeölçerler tarafından gönderilen değerler gürültü ve benzeri etkilerin gözardı edilmesi için, belli bir frekans aralığında filitrelenmiştir. Deney sonunda elde edilen sinyal değerlerini işlemek için, sinyal işleme programı PULSE (PULSE, 2006) yazılımından yararlanılmıştır. Deney elemanlarından alınan sinyallerin işleminde ve dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde Operational Modal Analysis (OMA, 2006) yazılımı kullanılmıştır (Altunışık, 2010; Sevim 2010).

Deneysel Modal Analiz yönetiminde, deney elemanın çevresel etkilere maruz kaldığı için titreştirildiği varsayılmaktadır. Bu yüzden bu etkilere karşı deney elemanın tepkisi ölçülmektedir. Ancak Çevresel Titreşim Yönetiminde elemanda oluşan etkiler hesaplanamadığından Etki Davranış Fonksiyonu elde edilememektedir. Bu yüzden Çevresel

Titreşim Yöntemi literatürde Operasyonel Modal analiz veya Sadece Tepki Modal Analizi olarak geçmektedir (Brincker vd., 2003).

Operasyonel Modal Analiz Yönetiminde deney elemanına etkiyen titreşimlerin genliği ve zamanla değişimi bilinmediğinden frekans ve zaman tanım alanında algoritmalar kullanılarak yapının dinamik karakteristikleri belirlenmektedir. Günümüzde Çevresel Titreşimler Yöntemi, frekansa ve zamana bağlı olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır.

Frekans Tanım Alanında kullanılan yöntemler kendi içinde üç alt gruba ayrılmaktadır;

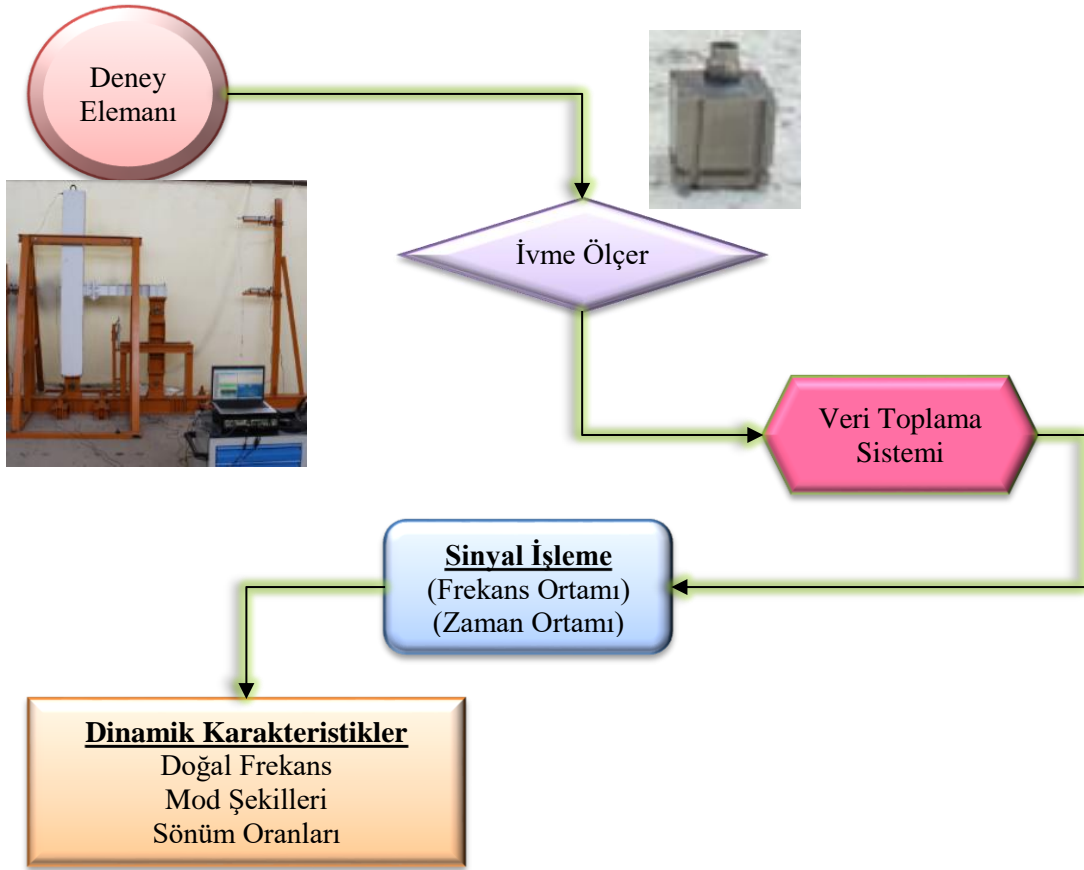
- Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma Yöntemi
- Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma Yöntemi
- Polimaks Yöntemleridir

Zaman ortamındaki yöntemlerde ise genellikle dört alt gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- Rastgele Azalım Yöntemi
- Rekürsif Teknikler
- En Büyük Olabilirlik Yöntemleri
- Stokastik Altalan Belirleme Yöntemleridir

Yukarıda bahsedilen yöntemler seçilirken, yapılan çalışmanın tipi, hassasiyeti ve ortamı dikkate alınarak yöntemin seçilmesi gerekmektedir (Ramos, 2007).

Bu çalışma kapsamında, deney elemanlarının dinamik karakteristikleri belirlemede frekans ortamında Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma Yöntemi (GFTAA) ile zaman ortamında Stokastik Altalan Belirleme Yöntemleri (SAB) kullanılmıştır. Deneysel Modal Analiz Yöntemiyle deney elemanların dinamik karakteristiklerinin elde edilmesini gösteren akış diyagramı Şekil 2.75'te verilmiştir.



Şekil 2.75. Dinamik karakteristiklerinin deneysel yöntemlerle belirlenmesine ait akış şeması

2.8.6. Modal Güvence Kriteri (MGK)

Birden çok elde edilen mod şekil vektörlerini karşılaştırması için genellikle Modal Güvence Kriteri (MGK) kullanılmaktadır. Çalışmada karşılaştırılan mod şekil vektörleri hem deneysel, hem sayısal olarak elde edilmiştir. Değerlendirmeye alınan tüm mod şekilleri hesaplanarak, MGK değerleri ile birlikte bir matris oluşturulmaktadır. Hesaplanan MGK değerleri 0-1 arasında değer olabilmektedir. MGK değerinin 1'e yakın olması, karşılaştırmaya alınan mod şekilleri arasındaki benzerlik oranını göstermektedir. MGK değeri bağıntısı ile ifade edilmektedir (Heylen vd. 2007).

$$MGK(i, j) = \frac{|\phi'_{xi} \cdot \phi_{aj}|^2}{(\phi'_{xi} \cdot \phi_{xi}) \cdot (\phi'_{aj} \cdot \phi_{aj})} \quad (2.4)$$

Burada ϕ_{xi} sayısal, ϕ_{aj} ise deneysel mod şekil vektörlerini göstermektedir. MGK(i, j) sayısal olarak elde edilen mod şeklinin deneysel olarak elde edilen mod şekline ne kadar benzer olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, MGK hesaplanırken birinci mod şekil vektörü, deney elemanın hasar görmeden önceki yani deneysel olarak elde edilen mod şekil vektörü dikkate alınmıştır. İkinci mod şekil vektörü olarak ise, tekrarlı yatay yükleme deneyleri yapıldıktan sonra, hasarlı elemanın deneysel olarak belirlenen mod şekil vektörü alınmıştır. Elde edilen iki mod şekil vektörü karşılaştırılarak, MGK değerlerinin kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarın mod şekilleri üzerindeki etkisi hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamıştır.

2.9. Sayısal Çalışmalar

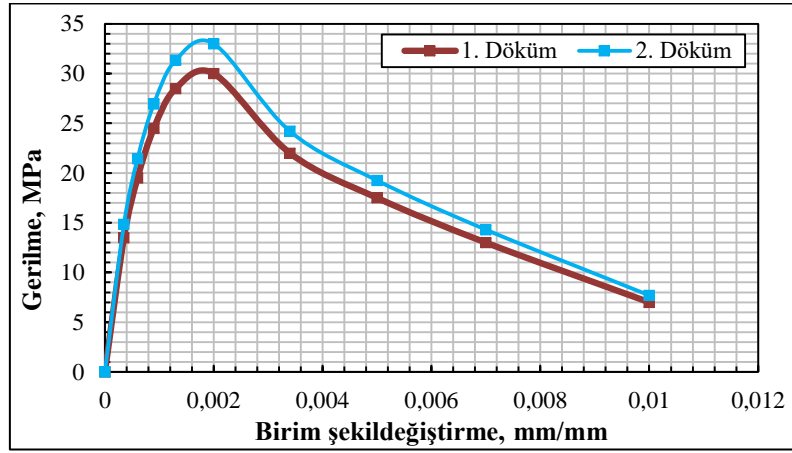
2.9.1. Tekrarlı Yatay Yük Etkisi Altında Sayısal Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında incelenen sekiz adet kompozit kolon-çelik kiriş birleşimli deney elemanın tekrarlı yatay yük altındaki davranışları sayısal olarak, sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla incelenmiştir. Bunun için üç boyutlu sürekli katı geometrik modelleme kullanılmış, deneysel çalışmada kullanılan yükleme protokoluna uygun, doğrusal olmayan analiz yöntemiyle analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerin çözümlemesinde ABAQUS/CAE v.6.13 (2017) bilgisayar programı kullanılmıştır.

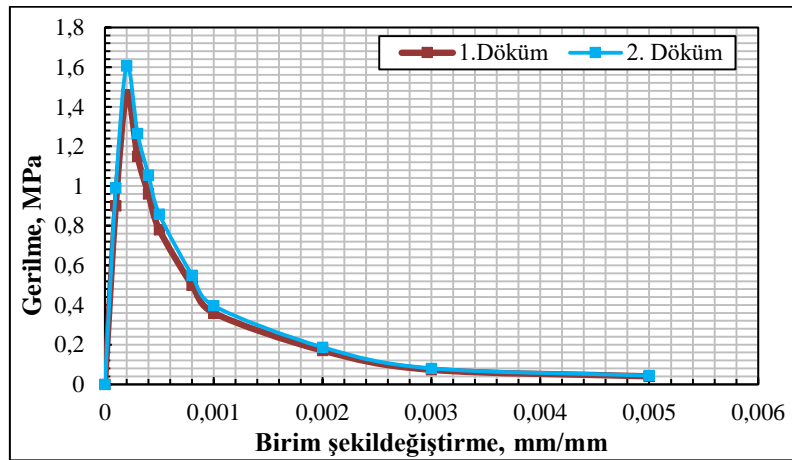
2.9.1.1. Malzeme Modellerinin Özellikleri

Sayısal çalışmada gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için, malzeme modelinin doğru seçilmesi gerekmektedir. Sonlu eleman modellemesinde beton, çelik ve donatı malzemeleri idealleştirmek için birçok farklı malzeme modeli mevcuttur. Kompozit kolonda bulunan betonarme bölümü, tekrarlı yatay yükleme sırasında devamlı basınç ve çekmeye maruz kalmaktadır. Betonarme malzemedeki model oluşturulurken, basınç yüklemesinde oluşan ezilme ve çekme yüklemesinde oluşan çatlamları idealleştirebilmek için, ABAQUS'te bulunan beton plastikleşme hasar modeli (Concrete Damage Plasticity Model-CDP) kullanılmıştır. Betonarme malzeme için kullanılan, CDP malzeme modeli, tekrarlı yükleme durumları için yaygın olarak kullanılmaktadır (Lee ve Fenves, 1998). Doğrusal

olmayan analizlerde CDP malzeme modeli oluşturulurken, basınç yüklemesi altında oluşacak ezilmeleri tanımlamak gerekmektedir. Bunun için, betonun aksel basınç altında gerilme-şekildeğiştirme eğrisi malzeme model tanımlamasında kullanılmıştır (Şekil 2.76). Ayrıca çatlakların ilerleyişini takip edebilmek için aksel çekme altında betonun gerilme-şekildeğiştirme eğrisi de malzeme model tanımlamasında kullanılmıştır (Şekil 2.77). Şekil 2.76 ve Şekil 2.77’de tanımlanan 1. döküm eğrileri, deneysel çalışmada 1. dökümde betonu dökülmüş, KKB-A, KKB-B, KKB-C ve KKB-D elemanların sayısal modellerinde kullanılmıştır. KKB-E, KKB-F, KKB-G ve KKB-H elemanların nümerik modellerinde ise 2. döküm eğrileri kullanılmıştır.

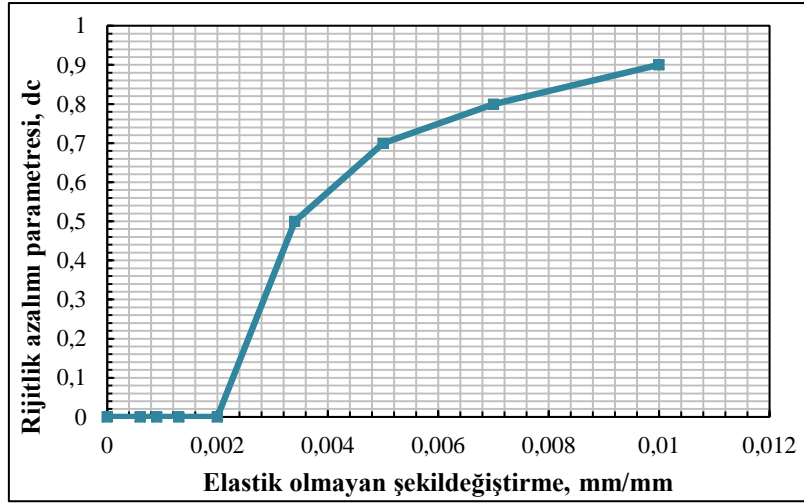


Şekil 2.76. Aksel basınç yüklemesinde, betonun idealleştirilmiş gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi

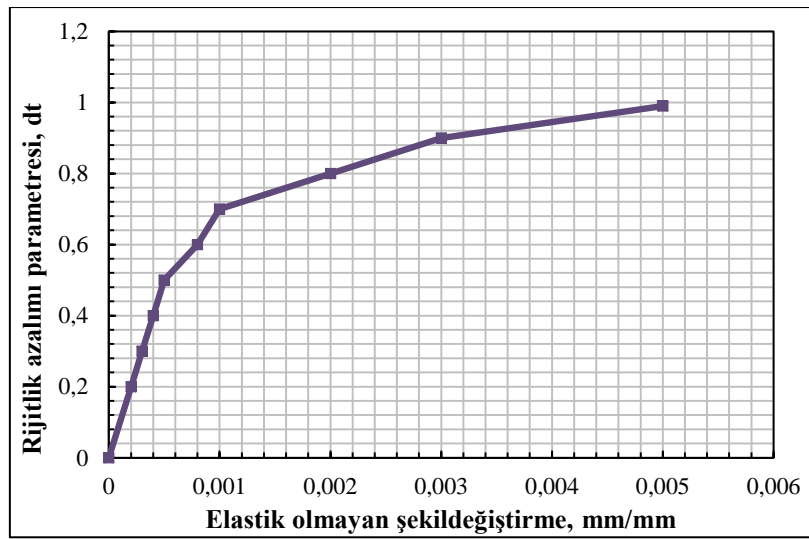


Şekil 2.77. Aksel çekme yüklemesinde, betonun idealleştirilmiş gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisi

Ayrıca ABAQUS programında CDP malzemesi için gerekli olan dilatasyon açısı $\psi = 36^\circ$, dışmerkezlik $e=0.1$, $K_c=0.667$ ve iki eksenli yükleme durumundaki akma gerilmesinin, tek eksenli yükleme durumundaki akma gerilmesine oranı $f_{bo}/f_{co}=1.16$ olarak tanımlanmıştır. Betonun rijitliğindeki azalmayı temsil eden, basınçta d_c ve çekmede d_t parametreleri elastik olmayan şekildeğştirmeye bağlı olarak, her iki beton dökümü için hesaplanmıştır. Sayısal modellerin CDP malzeme modellerine tanımlanan d_c ve d_t parametreleri Şekil 2.78 ve Şekil 2.79’da verilmiştir (Coşğun, 2014).

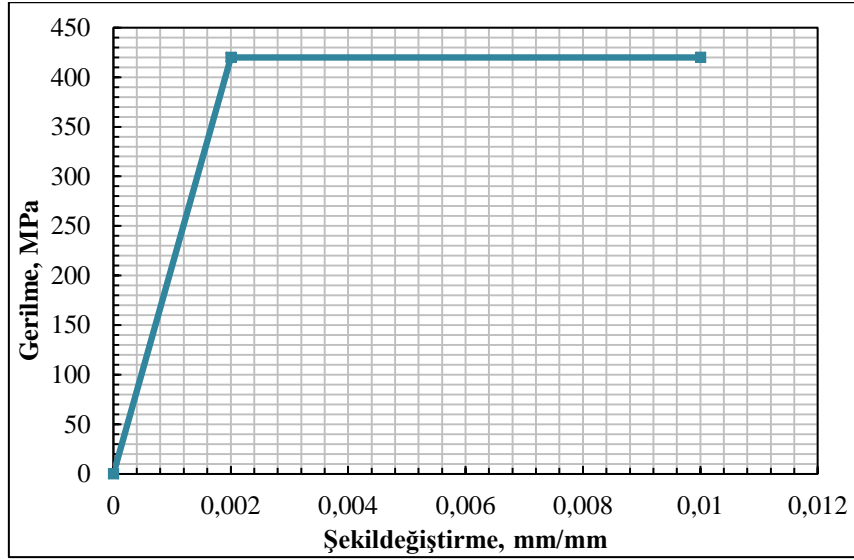


Şekil 2.78. Rijitlik azalımı parametresi (d_c)-elastik olmayan şekildeğştirme eğrisi



Şekil 2.79. Rijitlik azalımı parametresi (d_t)-elastik olmayan şekildeğştirme eğrisi

Kompozit kolondaki betonarme donatıları için ABAQUS programında önerilen klasik metal plastisite modeli (Classic Metal Plasticity Model-CMP) yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit kolonlardaki donatıların modellemesinde CMP malzeme modeli kullanılmıştır (Şekil 2.80).



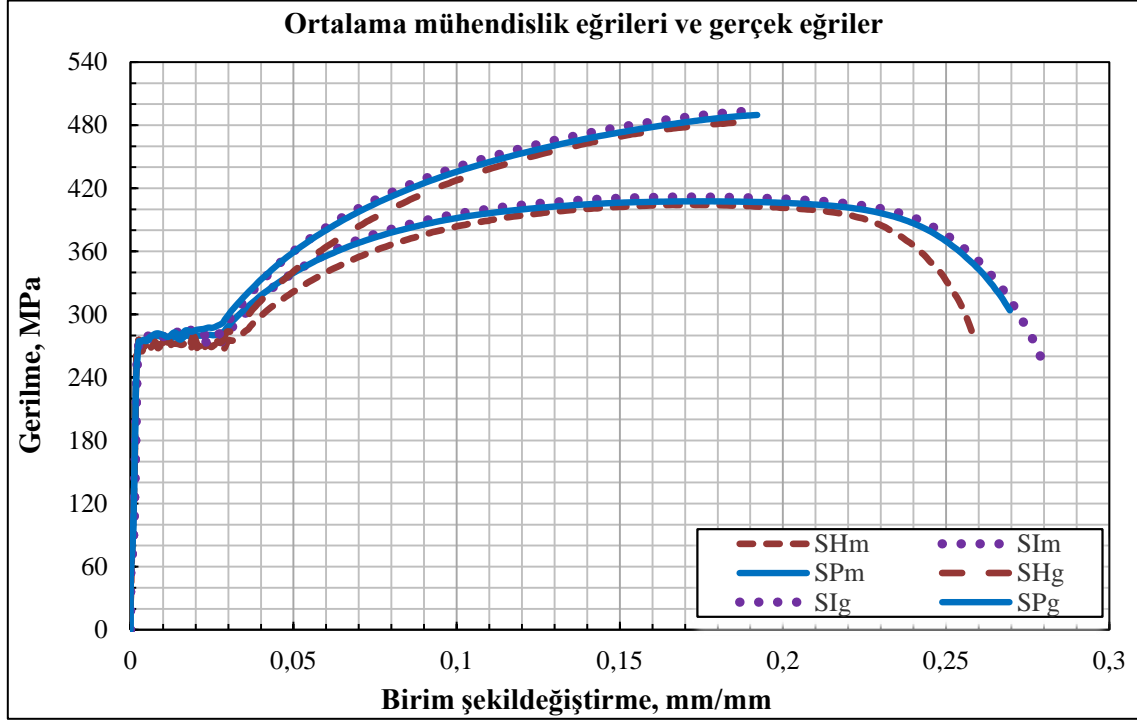
Şekil 2.80. Betonarme donatı için kullanılan eleasto plastik malzeme modeli

Çelik profiller ve plakaların malzeme modeli oluşturulurken, liner olmayan izotropik pekleşmeli malzeme modeli (Nonlinear Isotropic Hardening Model-NIH) kullanılmıştır. NIH malzeme modelinde elastik olmayan bölge için, gerçek gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisinin tanımlanması gerekmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan HEA profilleri, IPN profilleri ve plakalardan alınan üçer adet çekme çubukları üzerine gerçekleştirilen merkezi çekme deneylerden elde edilen eğrilerin ortalaması alınarak her bir malzeme için birer adet ortalama mühendislik gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri elde edilmiştir. Ancak mühendislik gerilme-birim şekildeğiştirme eğrisini, gerçek gerilme-birim şekildeğiştirme eğrilerine dönüştürmek gerekmektedir. Mühendislik gerilme birim-şekildeğiştirme eğrileri, kesitteki azalma gözönüne alınarak, bağıntı 2.5 ve 2.6 yardımıyla gerçek gerilme-birim şekildeğiştirme eğrilerine dönüştürülmüştür (Boresi ve Schmidt, 2003). HEA, IPN ve plakalar için elde edilen ve numerik çalışmada kullanılan gerçek gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri Şekil 2.81'de verilmiştir.

$$\sigma_g = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_g = \ln(1 + \varepsilon) \quad (2.6)$$

Burada σ_g , gerçek gerilmeyi, ε_g , gerçek birim şekildeğiştirmeyi, σ ortalama mühendislik gerilmesini ve ε ortalama mühendislik birim şekildeğiştirmesini göstermektedir.



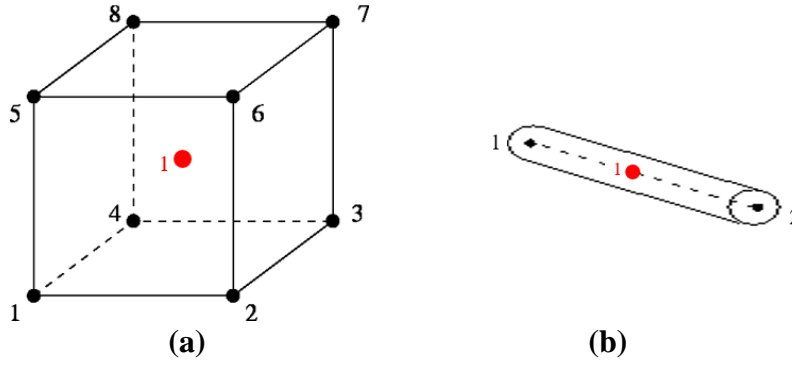
Şekil 2.81. Mühendislik ve gerçek gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri

2.9.1.2. Modellemede Kullanılan Eleman Tipleri

Tekrarlı yatay yük altında kompozit kolon-çelik kiriş birleşimli deney elemanların sayısal incelenmesinde; yük, yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme, rijitlik azalmaları, betondaki ezilme ve çatlama şekilleri irdelenmiştir. ABAQUS'te söz konusu sonuçları verebilecek en uygun, 3 boyutlu sürekli katı (C3D8R) eleman tipi seçilmiştir. C3D8R eleman tipinin köşelerinde 8 düğüm noktası bulunmaktadır. Sonlu eleman modellemesinde her düğüm noktası için rijitlik matrisi yazılmakta ve çözüm sağlanmaktadır. Ancak her düğüm noktası için yazılan rijitlik matrisi çözüm sırasında zaman kaybına sebep olmaktadır. Bu yüzden elemanı oluşturan sekiz adet düğüm noktası, düğüm noktaları azaltılmış integrasyon yönetimiyle, elemanın orta noktasında bulunan 1 adet integrasyon noktasına

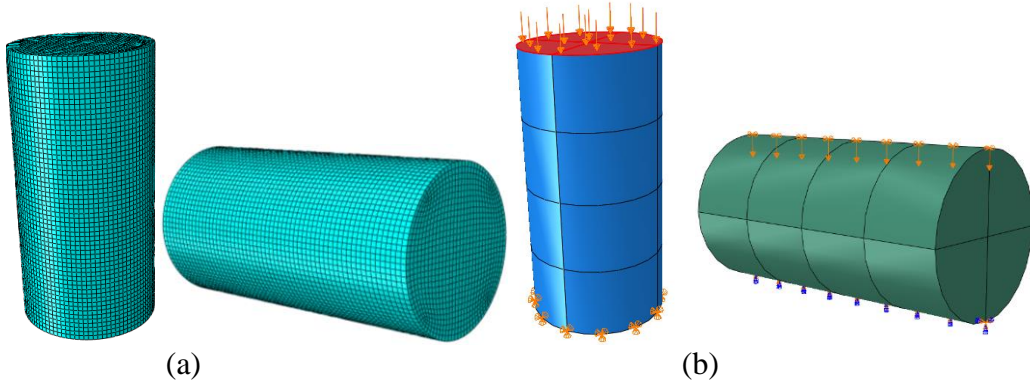
indirgenmiştir (Şekil 2.82a). Beton kolon, kompozit kolon içine gömülen HEA120 profil, IPN140 çelik kiriş, bayrak levhaları, rijitleştirici levhalar, alın plakaları, bulon ve somun modellemesinde C3D8R eleman tipi kullanılmıştır.

Betonarme donatıların modellemesinde yaygın olarak 2 düğüm noktalı linear 3 boyutlu cubuk (T3D2) eleman tipi kullanılmaktadır (Şekil 2.82b). Kompozit kolon içindeki boyuna ve enine donatıların modellemesinde T3D2 eleman tipi kullanılmıştır.

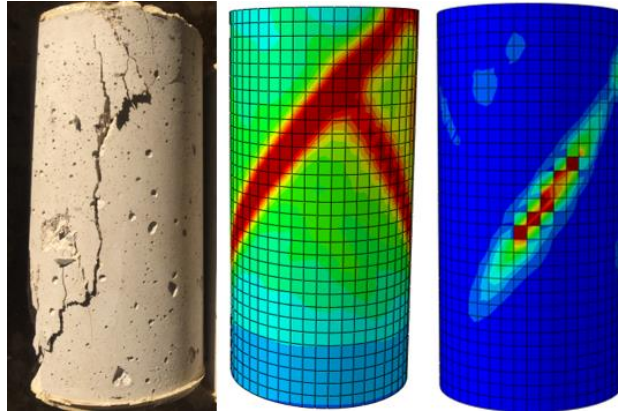


Şekil 2.82. (a) C3D8R eleman tipi (b) T3D2 eleman tipi

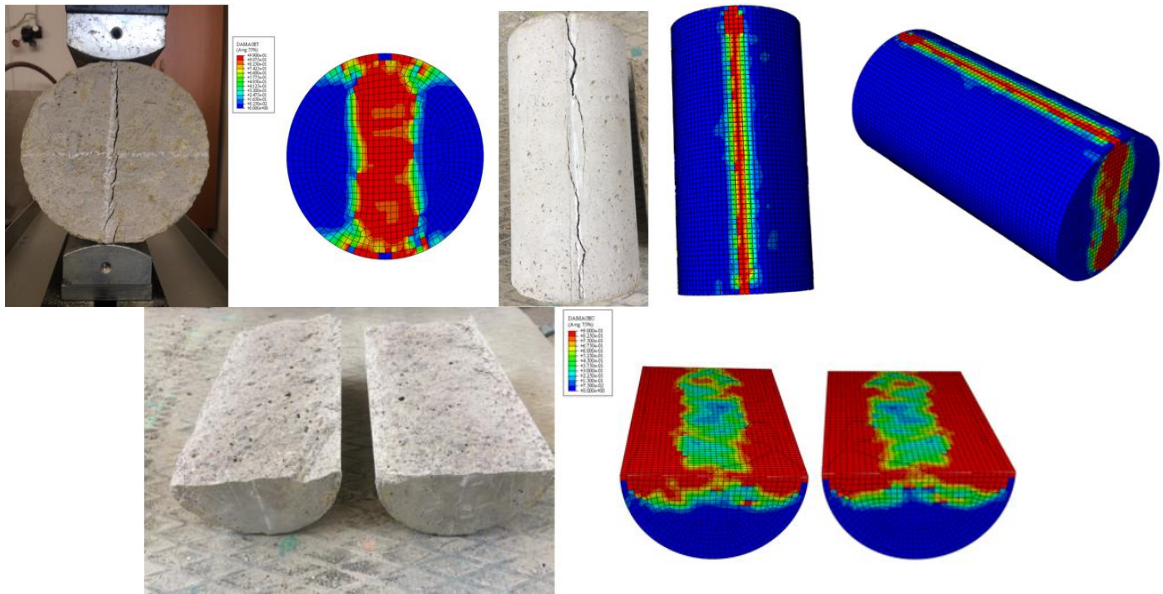
Belirlenen malzeme modellerinin ve eleman tiplerinin doğruluğundan emin olmak için, çelik ve beton malzemesinin aksenal çekme, aksenal basınç ve yarmada çekme deneylerinin sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Betonun tek aksenli basınç ve yarmada çekme deneylerinde kullanılan 150mmx300mm boyutundaki silindir numunenin ABAQUS modellemesinde C3D8R eleman tipi ve CDP malzeme modeli kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analiz metoduyla hesaplanan model, aksenal basınç ve yarmada çekme deneyleri ile doğrulanmıştır. Oluşturulan modellerin sonlu eleman sıklığı (mesh) Şekil 2.83a'da, sınır şartları ve yükleme durumları Şekil 2.83b'de verilmiştir. Yapılan analiz sonucu, C3D8R eleman tipi ve CDP malzeme modeli ile tanımlanan beton numunelerin kırılma ve çatlama şekillerin, deneysel çalışmaya benzerliği oldukça yakındır. Böylece seçilen malzeme modeli ile eleman tipinin doğruluğu teyit edilmiştir. Şekil 2.84 ve Şekil 2.85'de yapılan basınç ve yarmada çekme deneylerin sonlu elemanlar model üzerindeki analizlerden elde edilen kırılma şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.83. Tek eksenli basınçve yarmada çekme deney numunelerinin (a) sonlu elemanlara ayrılmış modelleri (b) sınırşartları ve yükleme şekilleri

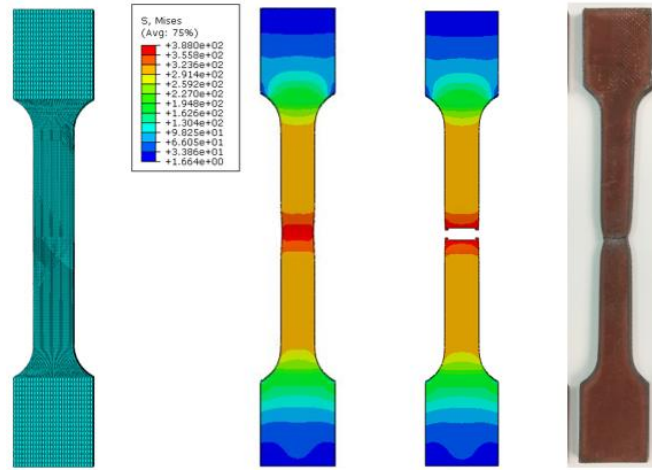


Şekil 2.84. Basınç deney numunesinin deneysel ve sayısal modellerin kırılma şekilleri



Şekil 2.85. Yarmada çekme deney numunelerinin deneysel ve sayısal kırılma şekilleri

Çelik malzemesi için tanımlanan malzeme modeli ve C3D8R eleman tipinin doğrulanıp doğrulanmadığını test etmek amacıyla, çekme çubuğun sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Çekme çubuğunun sayısal modeli doğrulanırken, merkezi çekme testine benzer sınır şartları ve yükleme durumuna tabi tutulmuştur. Şekil 2.86’da çekme çubuğunun sonlu eleman modeli, analizde akma durumu, kompa şekli ve deneysel kopma şekli verilmiştir. Şekil 2.86’da görüldüğü gibi tanımlanan malzeme modeli ve eleman tipi ile gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizde, sayısal modeldeki kopma şekli ve deneysel kopma şekli birbirine benzerdir.



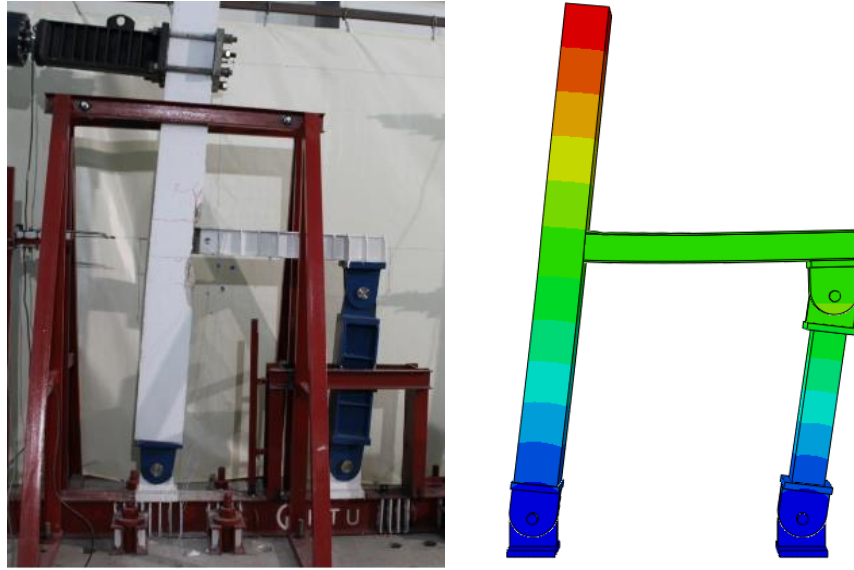
Şekil 2.86. Çelik çekme çubuğunun sonlu eleman modeli, akma şekli, kompa şekli ve deneysel kopma şekli

2.9.1.3. Sınır Şartların Belirlenmesi

Sayısal çözümlemede sonuçların doğrulanmasında çözümü etkileyen en önemli faktörlerin başında sınır şartları gelmektedir. Sonlu eleman modelinin sınır şartları, deneysel modele uygun şekilde oluşturulmadığında, analiz sonucunda oluşan gerilme değerleri, deney elemandan farklı noktalarında oluşmaktadır.

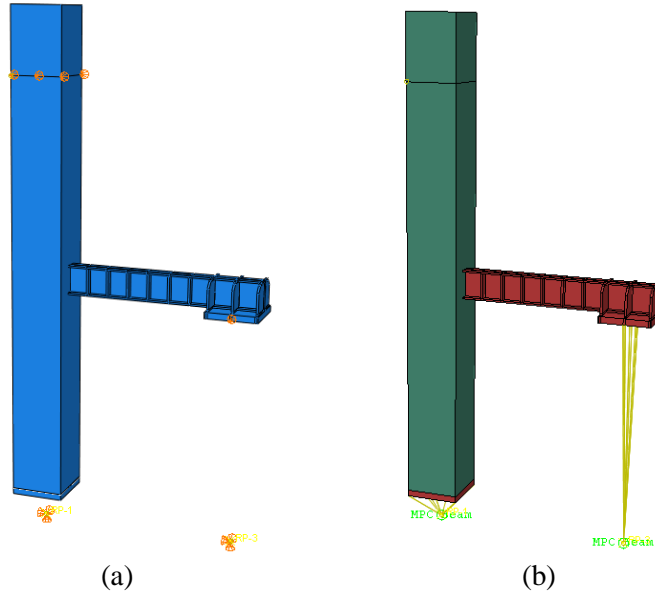
Deneysel çalışmada, kolon-kiriş birleşim bölgesinin daha fazla zorlanması için sistemde 3 adet çelik mafsallı kullanılmıştır. Mafsallar, düzlem içi tüm dönmelere serbestlik sağlamaktadır. Sınır şartları tanımlamasında en büyük sorun, rijit kolon ucunda bulunan çift mafsallı elemana tanımlanmasıdır. Deneysel çalışmada kolonun alttaki mafsallarda yatay ve düşey ötelemeler sınırlandırılmış, kiriş ucundaki mafsalda ise yatay ve düşey ötelemeler bir miktar serbest bırakılmıştır. Deneysel olarak oluşturulan sınır şartlarının, sonlu eleman

modellemesinde doğru tanımlanabilmesi için, deneysel çalışmada olduğu gibi üç mafsallı sayısal model oluşturularak, 100mm yatay yerdeğiştirme için sistem çözümlenmiştir. Sonuç olarak Şekil 2.87’de görüldüğü gibi, sonlu eleman modelin yerdeğiştirme şekli ile deney elemanın yerdeğiştirme şekilleri benzemektedir. Fakat üç mafsala sahip sayısal modelde çok sayıda temas yüzeyi(contact) olduğundan, sadece 100mm yatay yerdeğiştirme için doğrusal olmayan analizi oldukça fazla zaman almaktadır.

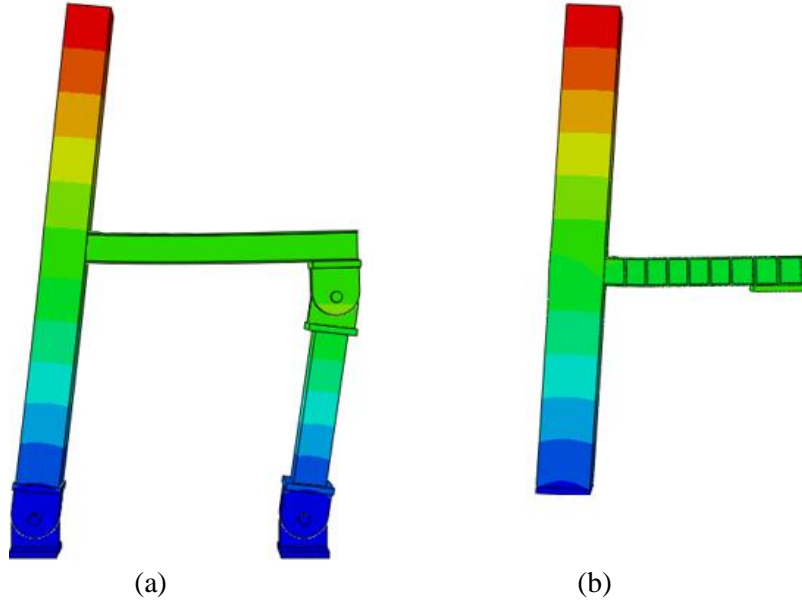


Şekil 2.87. Deney elemanın ve sayısal modelin yerdeğiştirme şekilleri

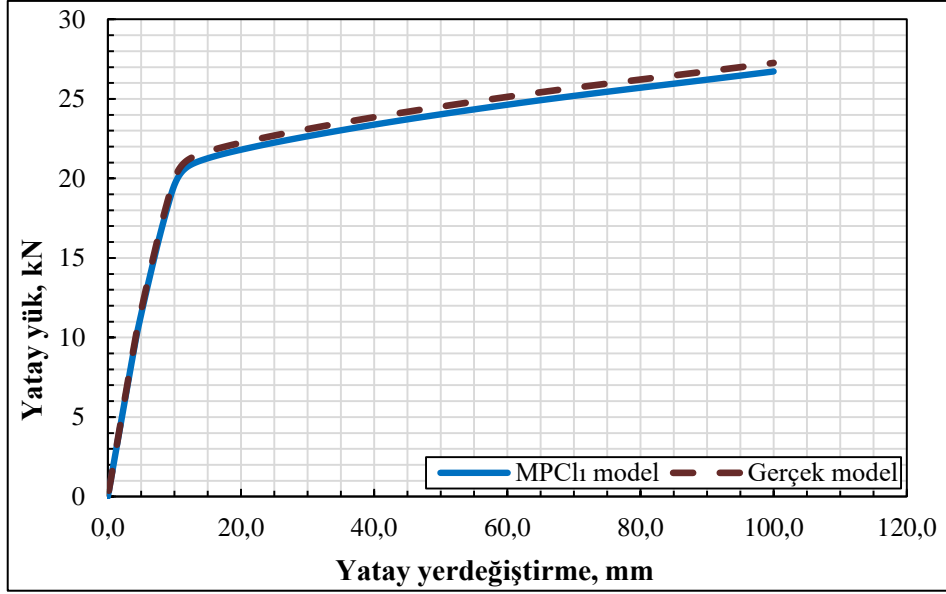
Çalışmadaki yük protokolun adımları fazla olduğundan, yapılacak analizler çok uzun sürmektedir. Bu yüzden sonlu eleman modelinde mafsal noktalarının tanımlanmasında, mafsal özelliğini taşıyan MPC (Multiple Point constraint) elemanları kullanılmıştır. MPC elemanları tanımlanırken, mafsaldaki bulonun ortasına düğüm nokta tanımlanarak dönmelerin referans noktası oluşturulmuştur (Şekil 2.88a). Ayrıca analiz süresinin kısaltılması amacıyla rijit kolon yerine sınır koşulları aynı olacak şekilde aksel rijitliği yüksek olan MPC elemanı kullanılmıştır (Şekil 2.88b). Hazırlanan gerçek sonlu eleman modeli ile mafsalların yerine tanımlanan MPC’li sistemlerin analizleri karşılaştırılmıştır. Şekil 2.89’de görüldüğü gibi gerçek modelin yerdeğiştirme şekli ile MPC tanımlı modelin aynı yerdeğiştirme şekillerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca her iki modelin sonuçlarından yük-yerdeğiştirme eğrileri çizilmiştir (Şekil 2.90). Bu şekilden görüldüğü gibi her iki model arasındaki fark yaklaşık %0.8 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla sonlu eleman analizlerinde MPC elemanın kullanılması sonuçları etkilememektedir.



Şekil 2.88. (a) Sınır şartları için tanımlanan referans düğüm noktaları (b) MPC elemanların tanımlanmış modeli



Şekil 2.89. (a) Gerçek ve (b) MPC elemanlı modellerin yerdeğiştirme şekilleri



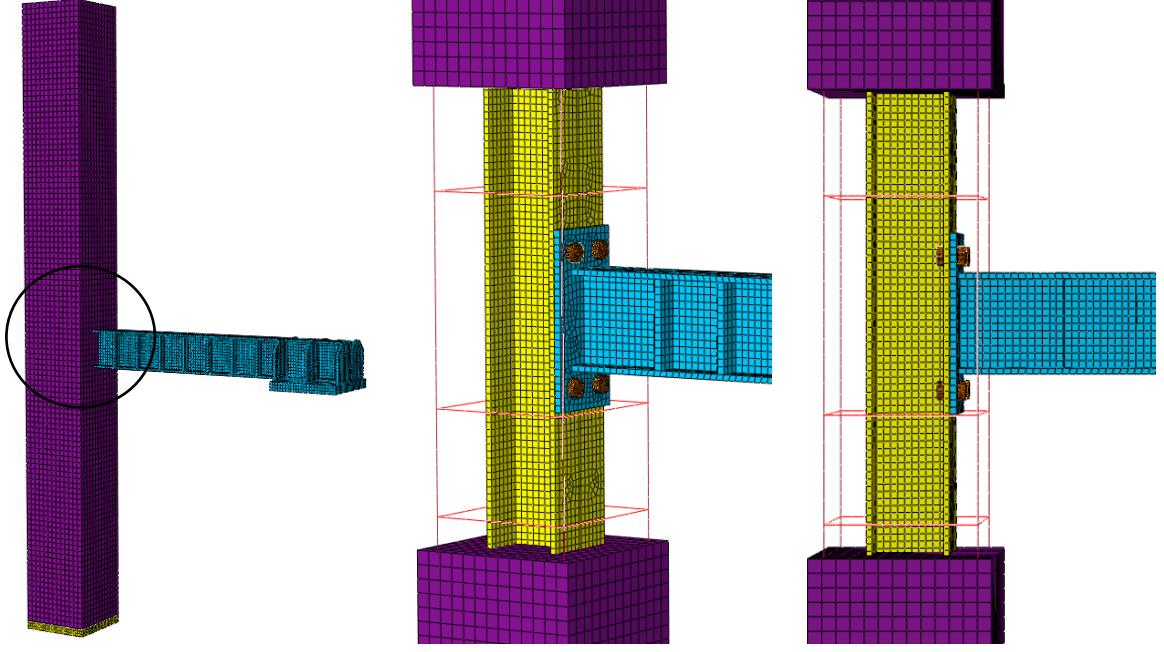
Şekil 2.90. Gerçek ve MPC'li modellerin 100mm itmede yük-yerdeğiştirme eğrileri

2.9.1.4. Deney Elemanlarının Modellenmesi

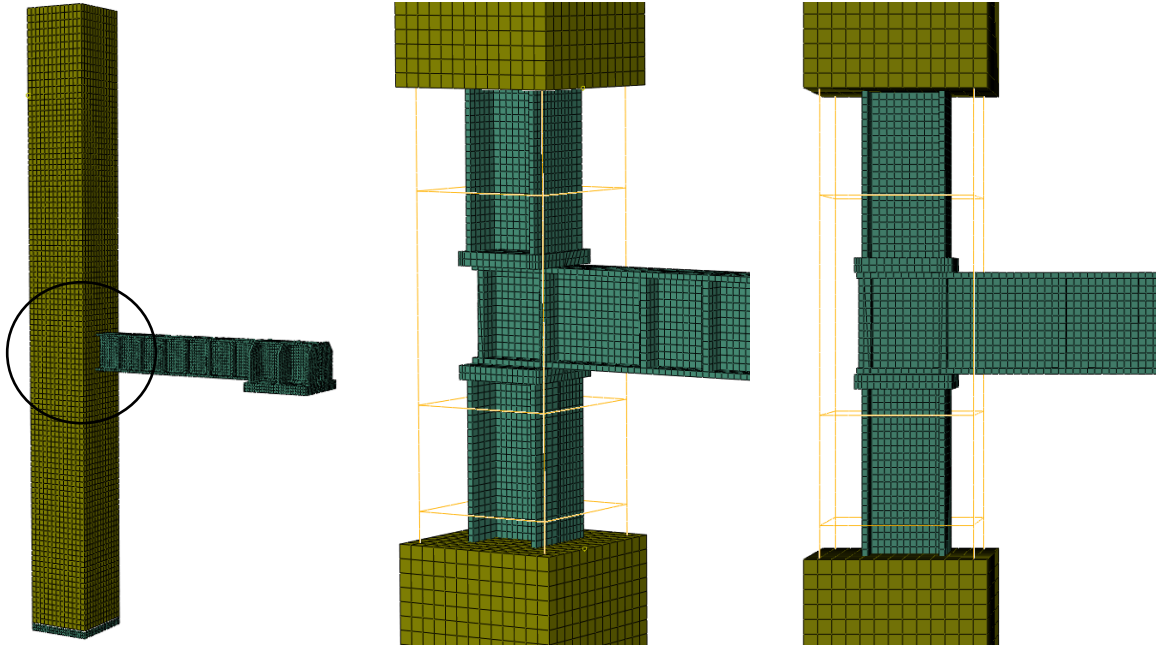
Tüm deney elemanların sayısal modelleri oluşturulurken kompozit kolon, çelik profil, plakalar, bulon ve cıvatalarda C3D8R elemanı kullanılarak, üç boyutlu katı malzeme olarak modellenmiştir. Kompozit kolondaki boyuna ve enine donatılar T3D2 eleman tipi ile modellenmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemiyle çözümlemede eleman boyutu küçüldükçe gerçek sonuca yakınsama kolaylaşmaktadır. Ancak sonlu eleman boyutu çok küçük olunca analizler haftalarca sürmektedir. Bunun yanında eleman boyutu büyüdükçe, çözüm süresi kısaltılmakta ancak analiz yakınsama hatasıyla tamamlanamamaktadır.

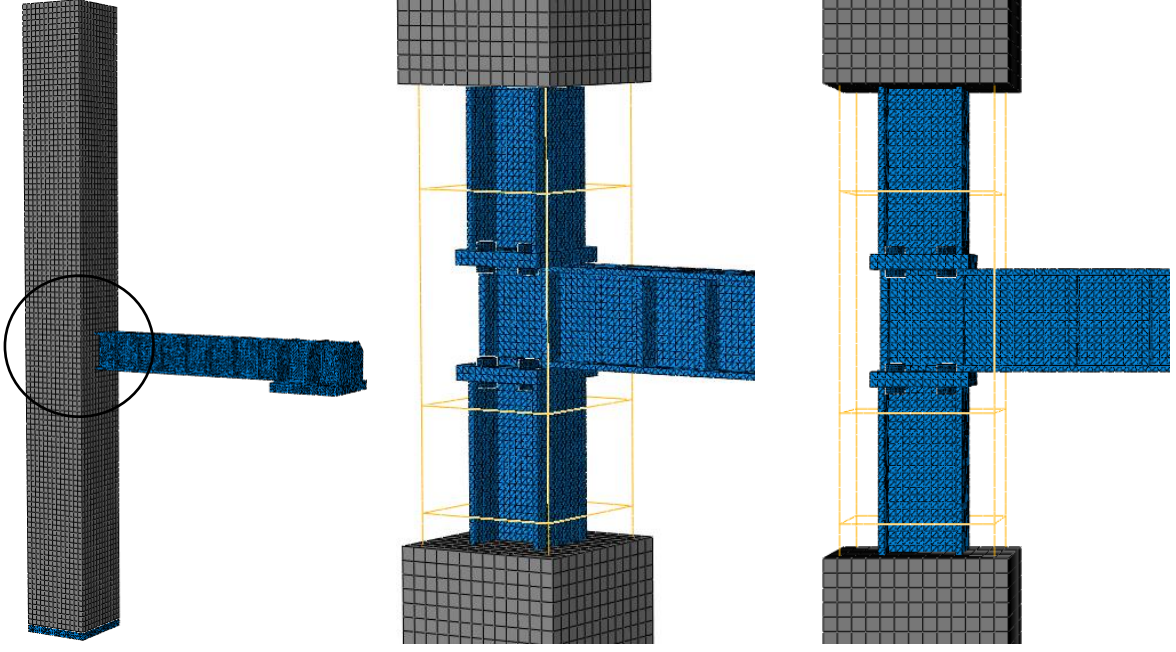
Deneyel çalışmada bulunan kompozit kolon içine gömülen HEA profil ile beton arasında temas yüzeyi (contact) bulunmaktadır, dolayısı ile doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri uzun sürmektedir. Ayrıca sonlu eleman analizi sonucu, kompozit kolondaki betonun ezilme ve çatlamasını görebilmek için sonlu eleman sıklığı(mesh) küçük olmak zorundadır. Yapılan çalışmalar sonucu optimum sonlu eleman sıklığı belirlenmiştir. Optimum sonlu eleman sıklığı, betonarme elemanda 20mmx20mm, çelik kiriş, beton içine gömülen HEA profil ve plakalarda 10mmx10mm, bulon ve somunlarda ise 1mm olarak belirlenmiştir. Şekil 2.91-Şekil 2.98 arasında sekiz deney elemanın sonlu eleman sıklığına ayrılmış modelleri gösterilmiştir.



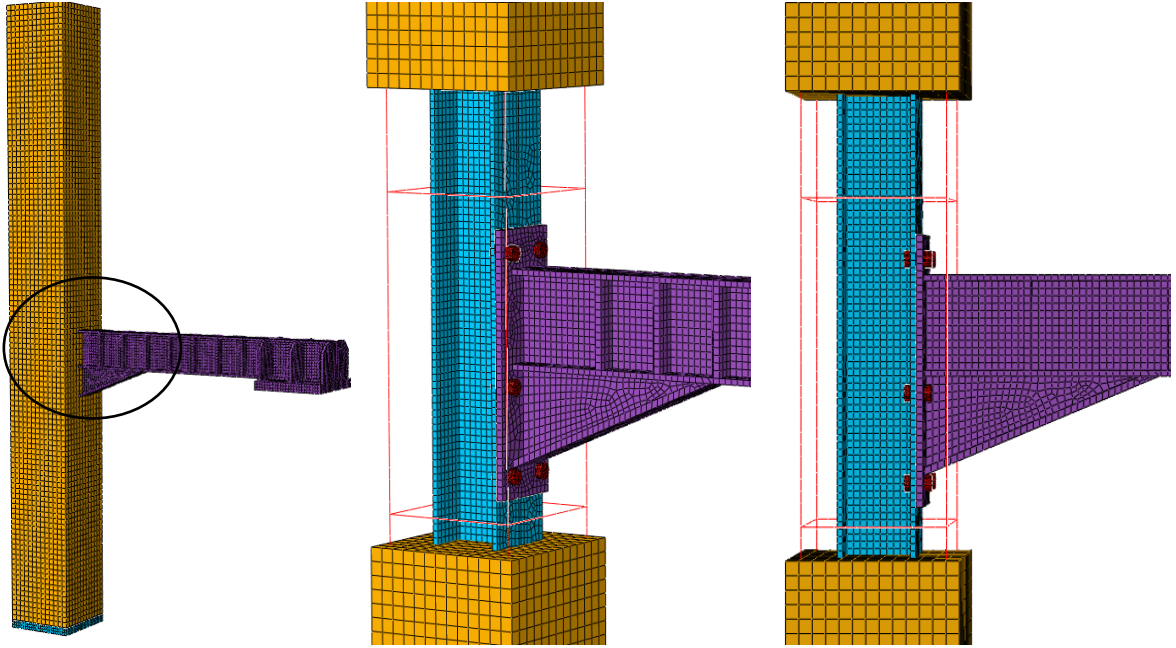
Şekil 2.91. KKB-A deney elemanın ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri



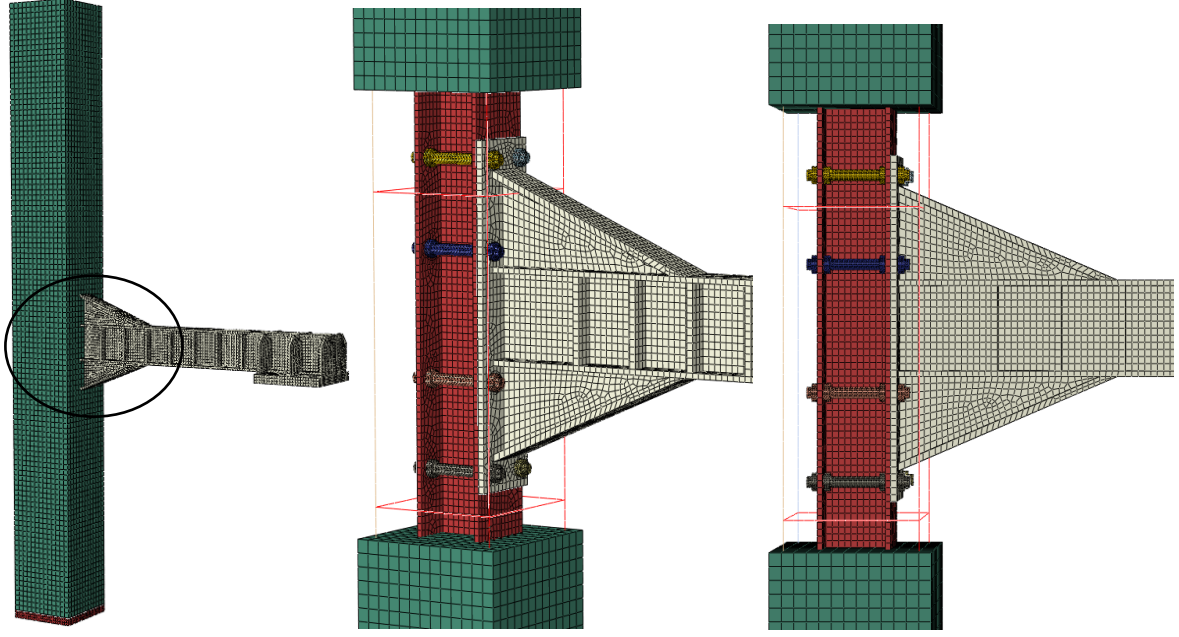
Şekil 2.92. KKB-B deney elemanın ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri



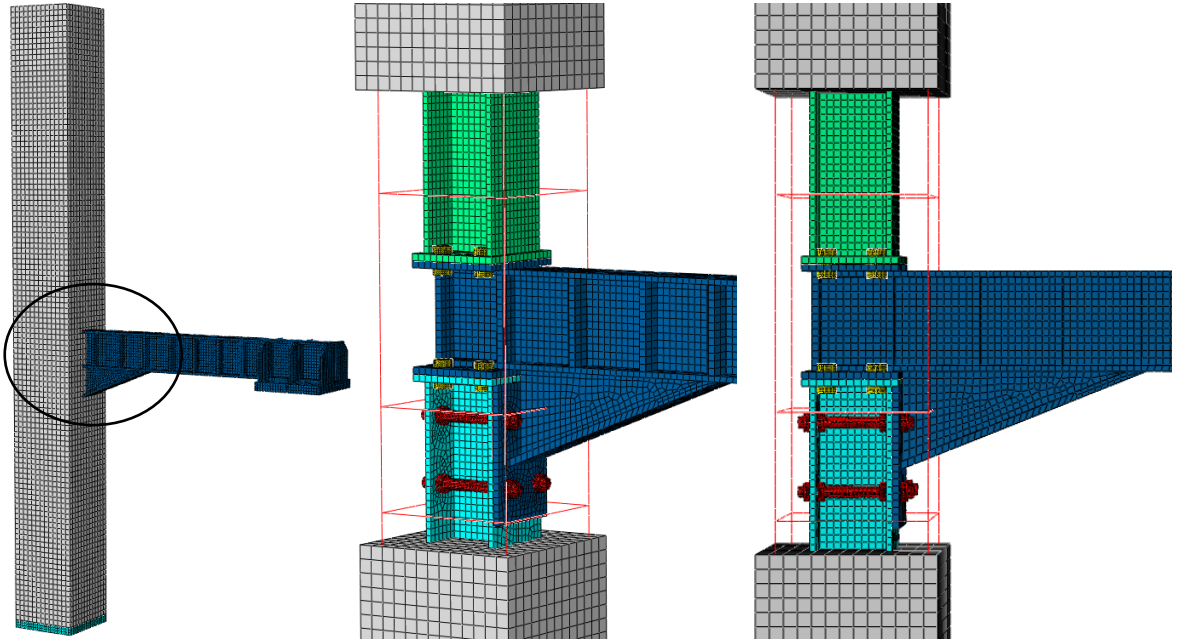
Şekil 2.93. KKB-C deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri



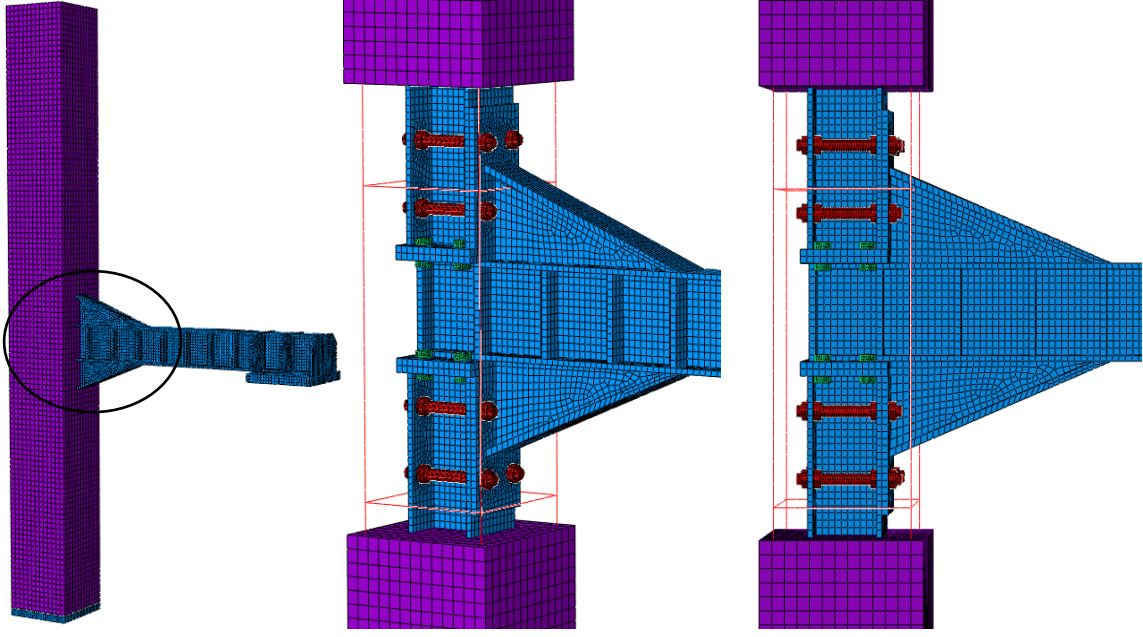
Şekil 2.94. KKB-D deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri



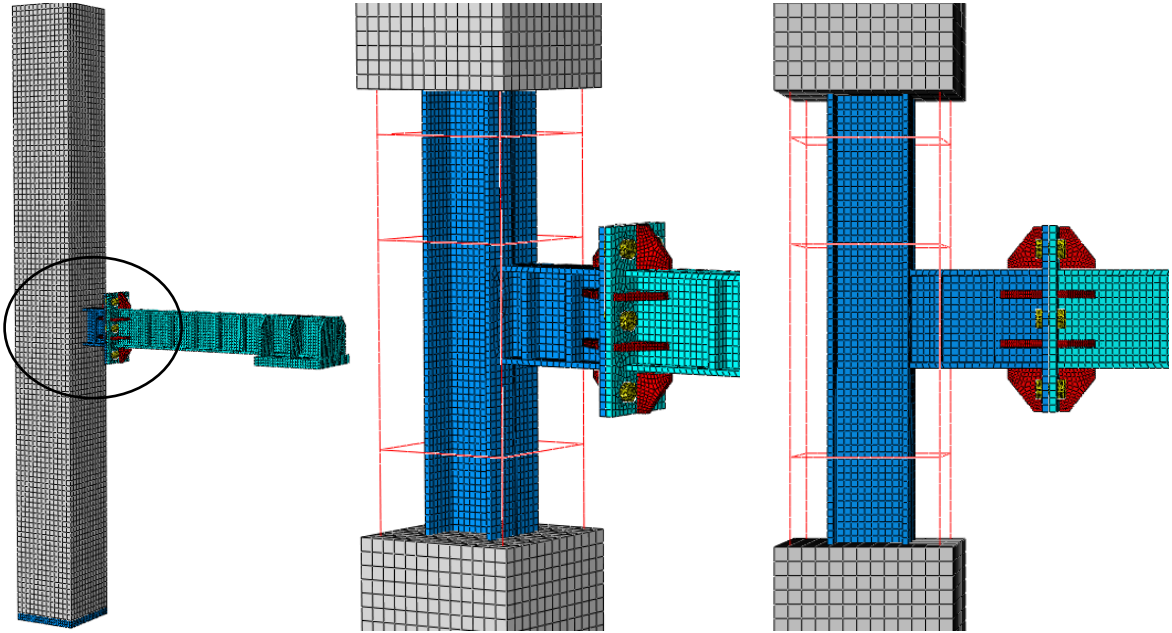
Şekil 2.95. KKB-E deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri



Şekil 2.96. KKB-F deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri



Şekil 2.97. KKB-G deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri



Şekil 2.98. KKB-H deney elemanının ve birleşim bölgesinin sonlu elemana ayrılmış sayısal modelleri

Sonlu eleman modellerinde bulonlara gerekli olan öngerme kuvveti verilmiştir (Eurocode, 2005). Öngerme kuvveti bağıntı 2.7'den hesaplanarak aksel olarak bulonların gövdelerine uygulanmıştır. Şekil 2.99'da KKB-H deney elemanın sayısal modelindeki bulonlara uygulanan öngerme kuvveti şematik olarak gösterilmiştir.

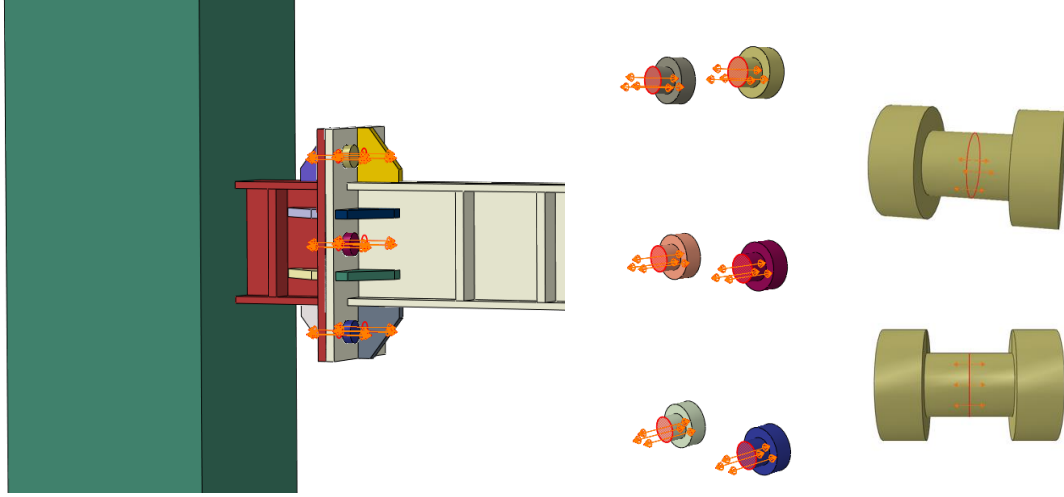
$$F_p = 0.7 \times f_u \times A_s \quad (2.6)$$

Burada;

F_p , uygulanacak olan öngerme kuvveti,

F_u , bulonun kopma dayanımı

A_s , bulonun enkesit alanı



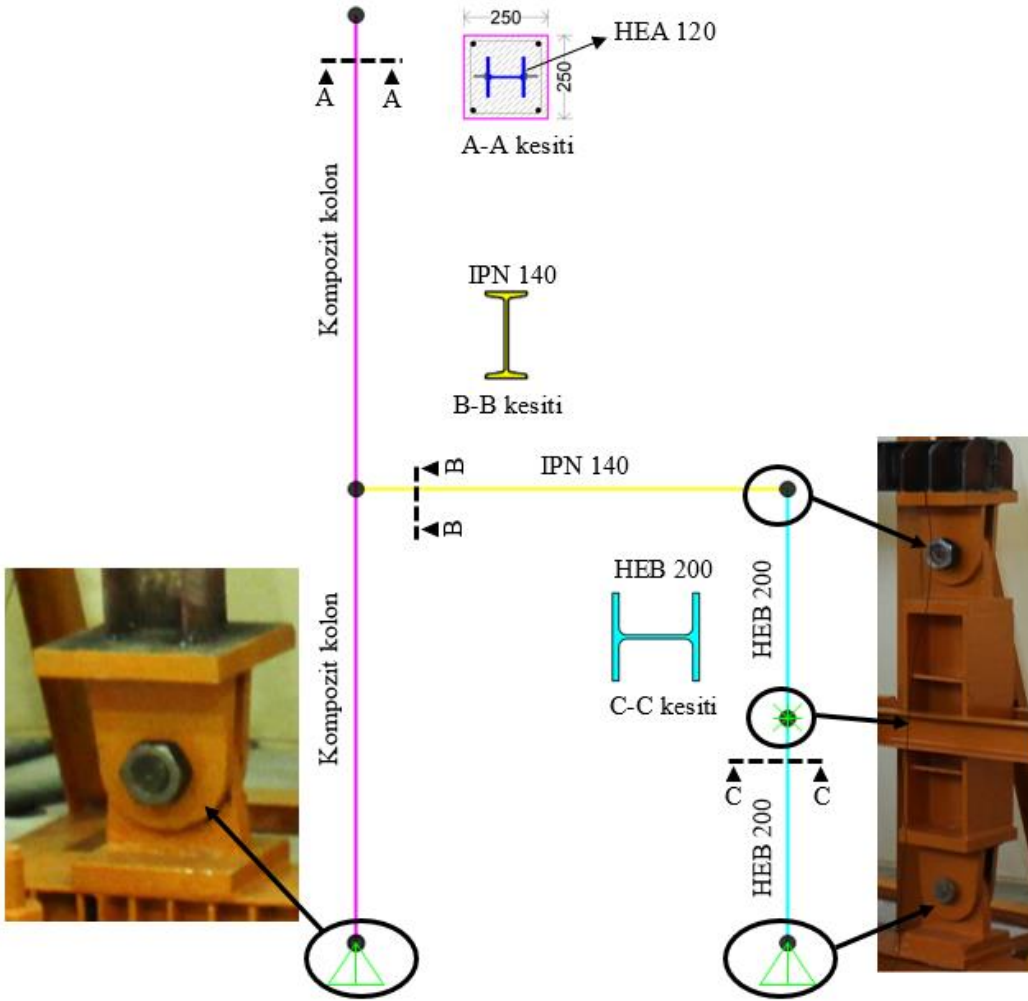
Şekil 2.99. KKB-H deney elemanına ait sonlu elemana ayrılmış sayısal model

2.10. Dinamik Karakteristiklerin Sayısal Olarak Belirlenmesi

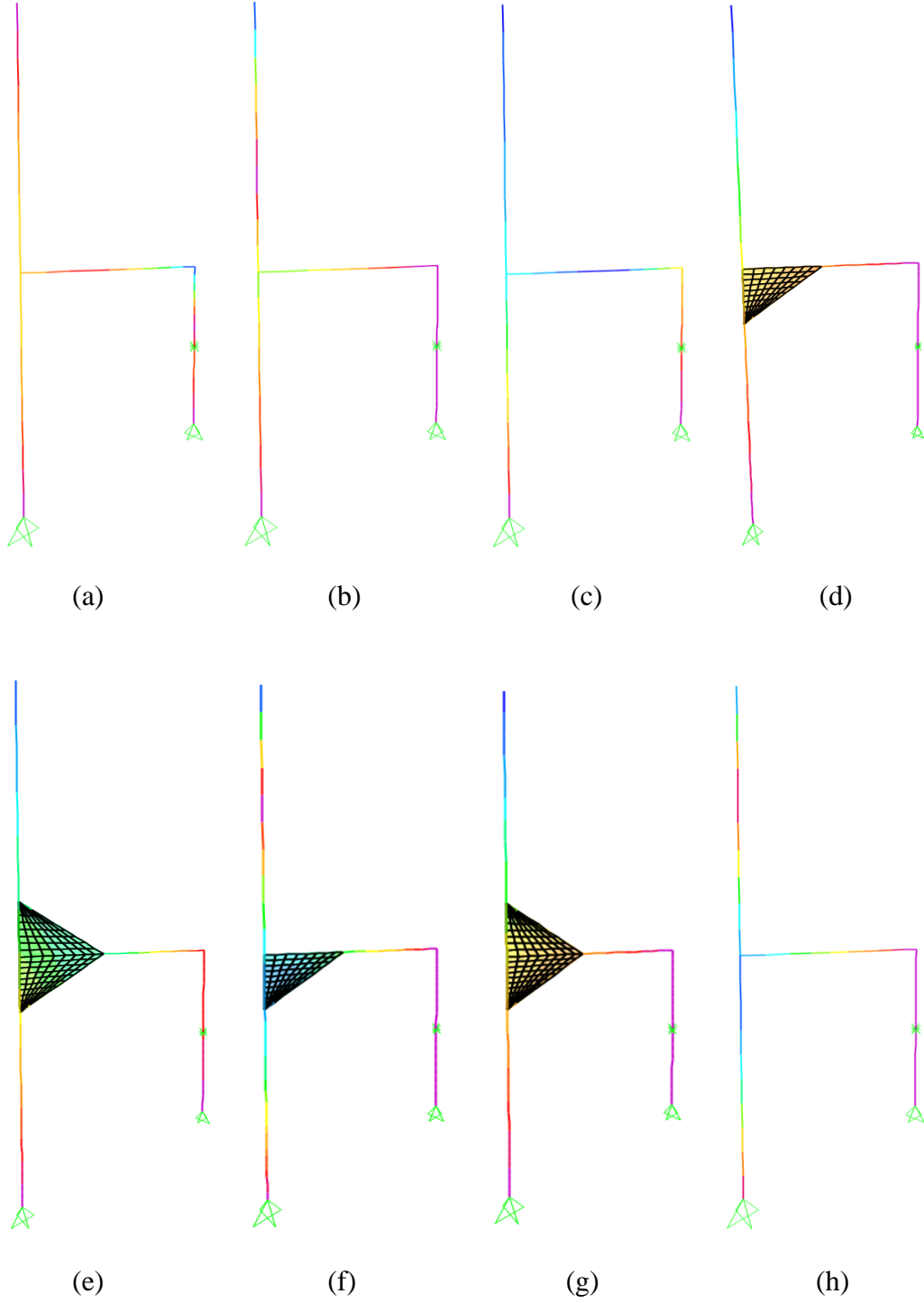
Deney elemanların dinamik karakteristikleri sayısal olarak doğrusal elastik analiz yöntemi kullanılarak SAP 2000 (2018) bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiştir. Nümerik modeller oluştururken malzemelerin doğrusal elastik özellikleri tanımlanmış olup, sayısal modellerde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 2.13'te verilmiştir. Sonlu eleman modellemesinde kompozit kolon, çelik kiriş ve rijit kolonda çubuk (Frame) elemanı, guseli birleşimlerin modellemesinde ise kabuk (shell) elemanı kullanılmıştır. Sınışartları tanımlanırken deney düzeneğinde olduğu gibi üç adet mafsalları tanımlayarak, düzlem içi hareketi serbest bırakılmış ve düzlem dışı hareketi sınırlandırılmıştır (Şekil 2.100). Kolon kiriş birleşim bölgelerinin özelliğini tanımlamak için rijitlik yayı (spring) kullanılarak farklı birleşim bölgeleri idealleştirilmiştir. Deney elemanlarına ait, SAP 2000 programı kullanılarak oluşturulan sayısal modeller Şekil 2.101'de verilmiştir.

Tablo 2.13. Doğrusal elastik analizde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	Beton	Çelik	Donatı
Beton Sınıf	C30/37	S235	S420
Elastisite modül (GPa)	32	195	210
Poisson oranı	0.20	0.30	0.30
Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	25.0	78.5	78.5



Şekil 2.100. SAP2000 programında oluşturulan KKB-A deney elemanına ait sayısal model



Şekil 2.101. (a) KKB-A, (b) KKB-B, (c) KKB-C, (d) KKB-D, (e) KKB-E, (f) KKB-F, (g) KKB-G ve (h) KKB-H SAP2000 programında oluşturulan deney elemanına ait sayısal modeller

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

3.1. Giriş

Çalışma kapsamında hazırlanan sekiz adet gömme kompozit kolon-çelik kirişli deney elemanları, FEM 461 yükleme protokolüne göre tekrarlı yatay yükleme deneylerine tabi tutulmuştur. Bu bölümde, ilk önce her bir deney elemanı için elde edilen bulgular ayrı ayrı verilmekte, ardından elde edilen deneysel bulgular karşılaştırılmalı olarak irdelenmektedir. Daha sonra, tekrarlı yatay yükleme durumunda sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan lineer olmayan analiz sonuçları deneysel sonuçlar ile irdelenmektedir.

Tekrarlı yatay yükleme deneylerinden elde edilen tüm eğrilerde (+) itmeyi ve (-) çekme yüklemesini ifade etmektedir. Yüklemenin son altı çevrimin daha iyi anlaşılması için ayrı ayrı genel yatay yük-yatay yerdeğiştirme grafiklerin altında verilmiştir.

İkinci olarak hazırlanan deney elemanların dinamik karakteristikleri olan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranları Deneysel Modal Analiz yöntemiyle elde edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar ile sayısal olarak her bir deney elemanı için hesaplanan dinamik karakteristiklerin bulguları ve karşılaştırmaları bu bölümün sonunda verilmektedir.

Bu bölümde, kolon kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasarların tanımlanması sırasında karışıklık olmaması için yüzeyler Şekil 3.1’de gösterildiği gibi adlandırılmıştır. Kompozit kolon-çelik kirişin olduğu yüzey, birleşim ön yüzeyi, bunun tam karşısındaki yüzey ise birleşim arka yüzeyi, kompozit kolonun ön ve arka yüzeyleri olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.1 Kolon-kiriş birleşim yüzeylerinin adlandırılması

3.2. Deney Elemanlarının Tekrarlı Yatay Yükleme Altındaki Davranışları

3.2.1. Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Geleneksel Alın Levhali Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-A)

Yükleme protokolüne uygun olarak, KKB-A deney elemanı tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmaya ait genel görünüm Şekil 3.2’de ve deney boyunca yatay yerdeğiştirmeye bağlı olarak gömme kompozit kolondaki betonda oluşan çatlakların ilerleme aşamaları Şekil 3.3’te verilmiştir. Ayrıca deney sonunda elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve son altı çevrime ait detaylı eğrileri Şekil 3.4’te verilmiştir.

Yüklemenin birinci çevriminde 1.28 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 3.81 kN, çekmede ise 3.72 kN yük değeri okunmuştur. İkinci çevrimde 1.68 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.15 kN, çekmede ise 3.95 kN yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde 2.24 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.51 kN, çekmede ise 4.35 kN yük değeri okunmuştur. Dördüncü yükleme çevriminde 3.14 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 5.37 kN, çekmede ise 5.38 kN yatay yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrim sonunda kompozit kolonun-çelik kiriş birleşim ön yüzeyinde kılcal çatlaklar oluşmaya başlanmıştır. Fakat çatlakların genişliği çok küçük olduğundan yerdeğiştirme değeri sıfır olduğunda çatlaklar tamamen gözle görünememiştir. Beşinci çevrimde 4.39 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 6.69 kN, çekmede ise 6.06 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Ayrıca beşinci çevrimin sonunda birleşim bölgesindeki çatlak kolonun ön yüzeyine kadar ulaşmış ve kolonun ön yüzeyinde düşey çatlaklar da görünmeye başlanmıştır.

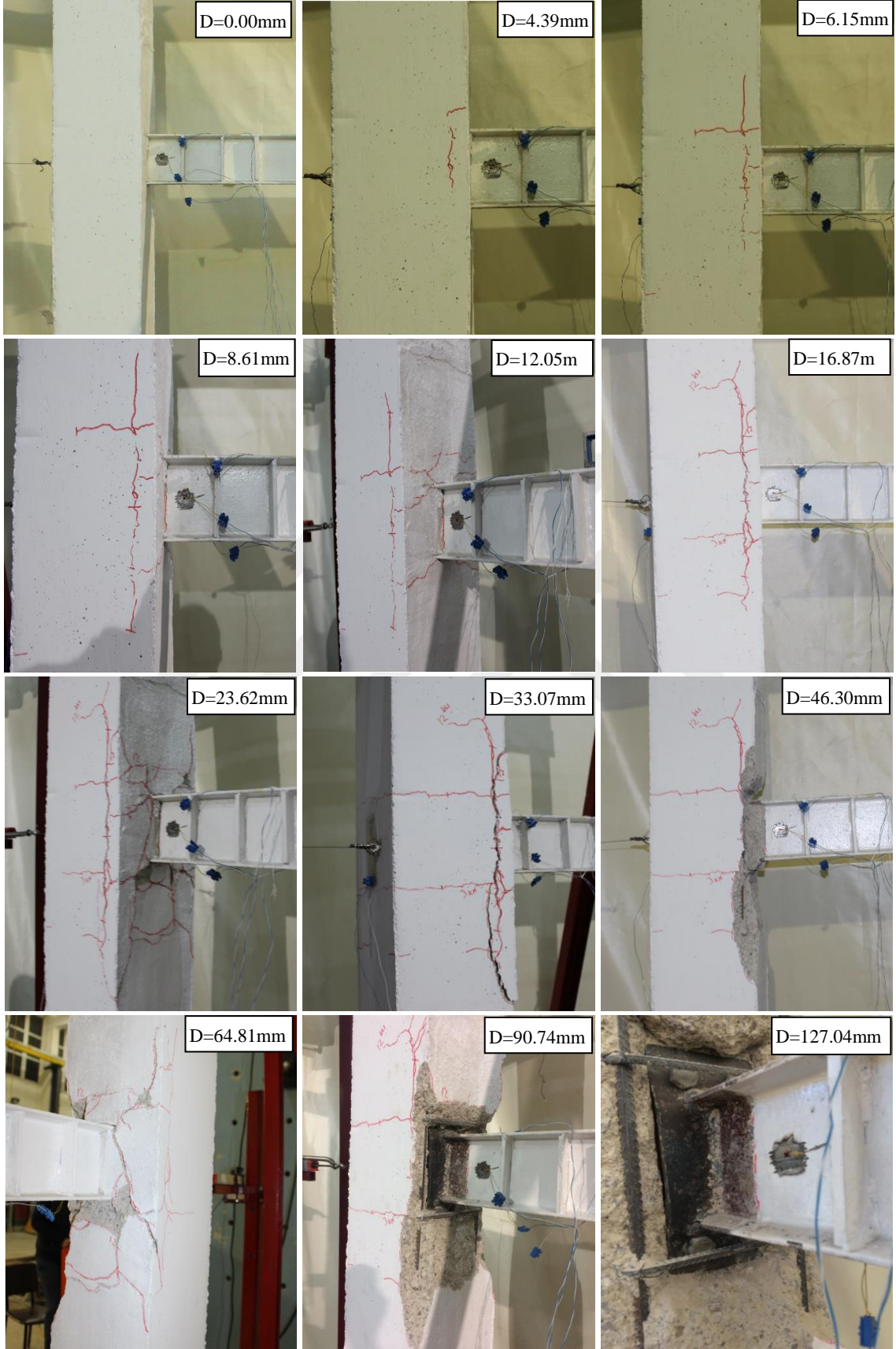
Altıncı yükleme çevriminde 6.15 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 7.34 kN, çekmede ise 6.97 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde de betondaki çatlaklar ilerlemeye devam ederek hem düşey hem de yatay yönde ilerlemiştir. Yedinci yükleme çevriminde 8.61 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 9.02 kN, çekmede ise 8.63 kN yük değeri okunmuştur. Sekizinci yükleme çevriminde 12.05 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 10.69 kN, çekmede ise 10.11 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrime kadar yük yerdeğiştirme eğrisinin eğimi kısmı doğrusal olup bundan sonra eğimde azalma gözükmemektedir. Bu durum elastik bölgenin tamamlandığını ifade etmektedir. Ayrıca bu çevrimin sonunda, daha önce oluşan çatlakların genişlikleri artarak ilerlemiş ve gömme kompozit kolonun arka yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluşmaya başlanmıştır.

KKB-A deney elemanın tekrarlı yatay yükleme deneyin dokuzuncu çevriminde 16.87 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 12.31 kN, çekmede ise 11.79 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde oluşan yatay düşey ve diyagonal çatlaklar ilerlemeye devam etmiştir. Onuncu çevriminde, 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 16.27 kN, çekmede ise 16.89 kN yük değerine ulaşılmıştır. Onuncu çevrimin sonunda çatlaklar birleşim bölgesine yakın yerde yoğunlaşmış ve çelik kiriş gövdesinden başlayarak aşağıya doğru betonda ezilmeler meydana gelmiştir.

Yüklemenin on birinci çevriminde 33.07 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 17.86 kN, çekmede ise 17.11 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde kolon ön yüzeyine yakın olan düşey çatlak genişliği 10 mm'den fazla olmuş ve düşey çatlak boyunca betonda kırılmalar oluşmuştur. On ikinci yükleme çevriminde 46.30 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 18.58 kN, çekmede ise 18.08 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde birleşim ön yüzeyindeki ezilmiş olan beton parçaları dökülmüş ve boyuna donatıları görünmüştür.



Şekil 3.2. KKB-A deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü

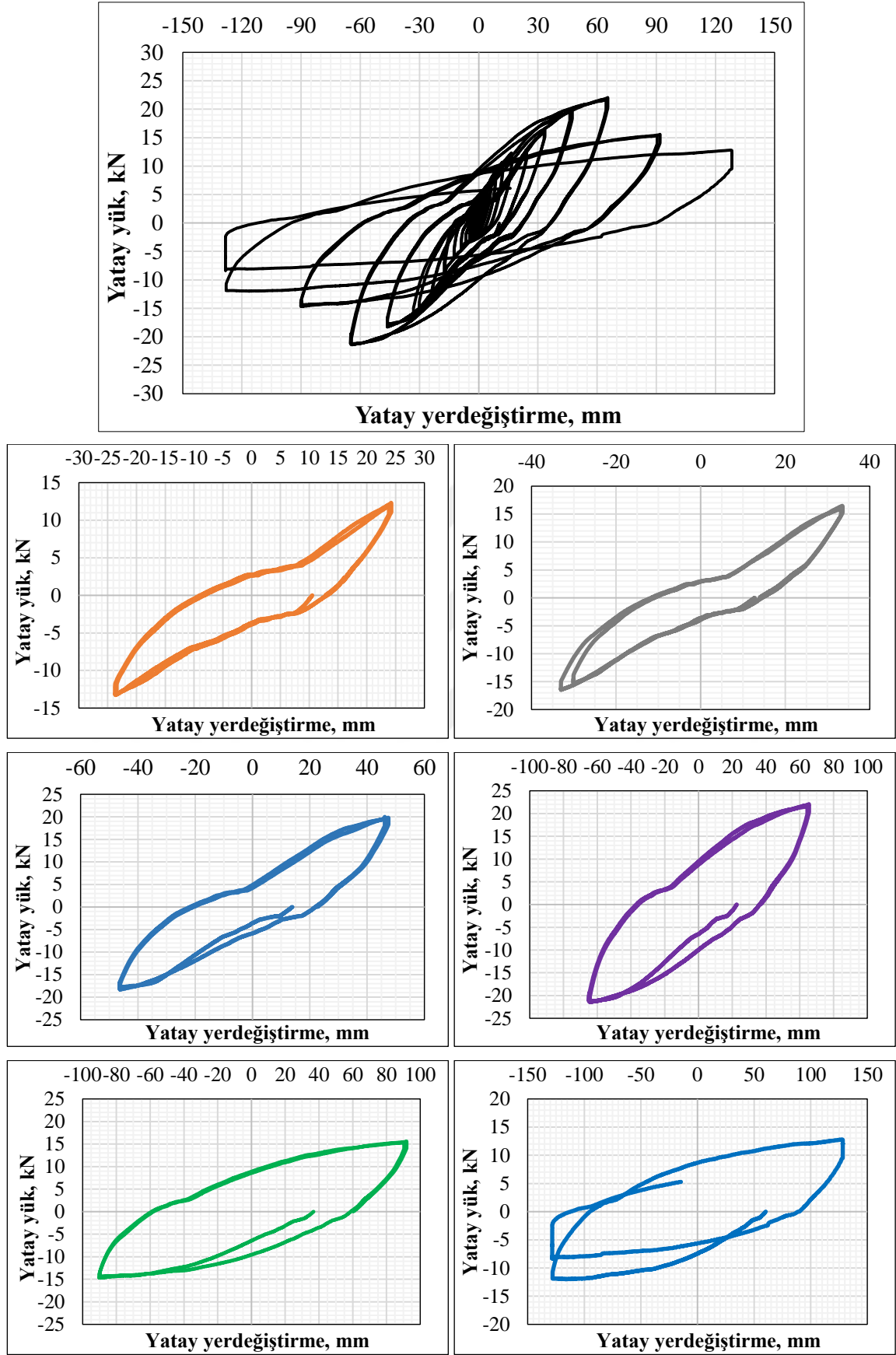


Şekil 3.3. Deney sırasında KKB-A deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları

On üçüncü çevrimde 64.81 mm yatay yerdeğiştirme değerine karşılık, itmede 21.87 kN, çekmede ise 21.42 kN yük değeri kayıt edilmiştir. On üçüncü çevrim, KKB-A deney elemanın ulaştığı maksimum yük değeri olup bundan sonraki çevrimlerde hem itme hem çekmedeki yük değerinde ani düşüşler gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çevrimde kolonun arka yüzeyinde diyagonal şekilde kırılmalar gözlemlenmiştir.

Tekrarlı yatay yükleme deneyin on dördüncü çevriminde 90.74 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 15.59 kN, çekmede ise 14.68 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda kolon ön yüzeyindeki ezilmiş beton parçaları tamamen dökülmüş ve çelik kirişin sonuna kaynatılan alın levhası, kolonun boyuna ve enine donatıları görünmüştür (Bkz şekil 3.3). Çalışma kapsamında belirlenen standart yükleme protokolün son yükleme çevriminde 127.04 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 12.82 kN, çekmede ise 11.98 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde birleşim bölgesindeki alın levhası eğilmiş ve çelik kirişin başlıkları ile levha arasındaki kaynaklarda kopmalar gözlemlenmiştir. şekil 3.5'ten görüldüğü gibi son çevrimin ikinci yüklemesinde deney elemanı tamamen dayanımını kaybetmiş ve deney bu yükleme çevrimiyle beraber sonlandırılmıştır.

Deney sonunda elemanın maksimum yük değerindeki azalma, itmede % 41, çekmede ise % 44 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.4. KKB-A deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri

Çalışma kapsamında belirlenen standart yükleme protokolüne uygun bir şekilde tamamlanan tekrarlı yatay yükleme deneyi sonunda KKB-A deney elemanında, kolon-kiriş birleşim bölgesindeki beton birleşim yüzeyinde ezilerek dökülmüş ve oluşan çatlaklar kolonun ortasına kadar ön ve arka yüzeyde ilerlemiştir. Birleşim arka yüzeyinde herhangi bir hasar veya büyük çatlak gözlemlenmemiştir. Çelik kirişin sonuna kaynatılan alın levhası eğilerek dayanımını kaybetmiştir. Gömme kompozit kolon içindeki çelik profil ve bulonların hasar durumunu daha iyi anlayabilmek için deney elemanı düzenekten sökülerek yatay düzlemde kırıcı yardımıyla kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgesindeki beton tamamen kırılarak temizlenmiştir. Şekil 3.5'ten görüldüğü gibi alın levha ile çelik kiriş arasındaki kaynaklarda kopmalar görülmektedir. Bu kopmalar özellikle alt bölümde daha belirgindir.

Gömme kompozit kolon içindeki çelik profilde herhangi bir hasar oluşmamış, birleşim bölgesindeki bulonlarda ise bir miktar gevşeme tespit edilmiştir. Ayrıca kompozit kolonun boyuna ve enine donatılarında herhangi bir hasar durumu gözlemlenmemiştir.

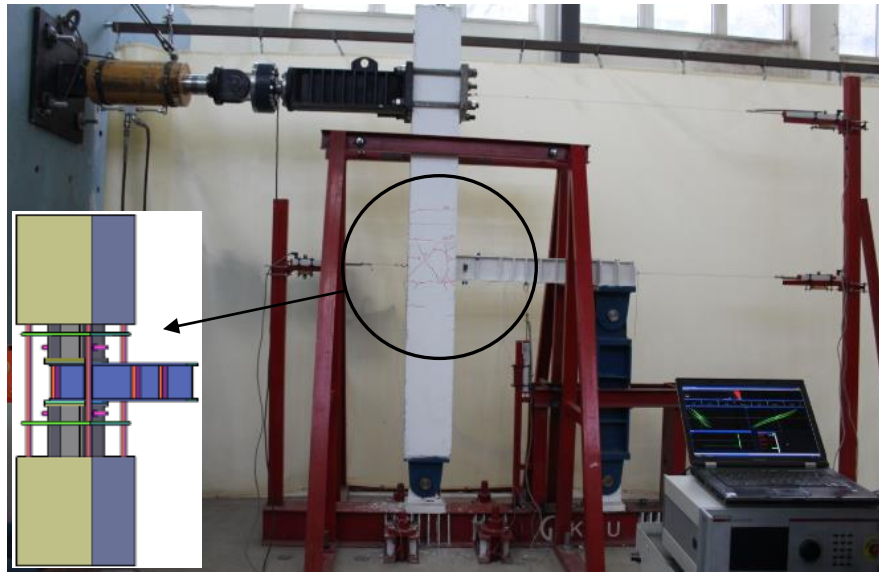


Şekil 3.5. Deney sonunda KKB-A deney elemanında oluşan hasar durumları

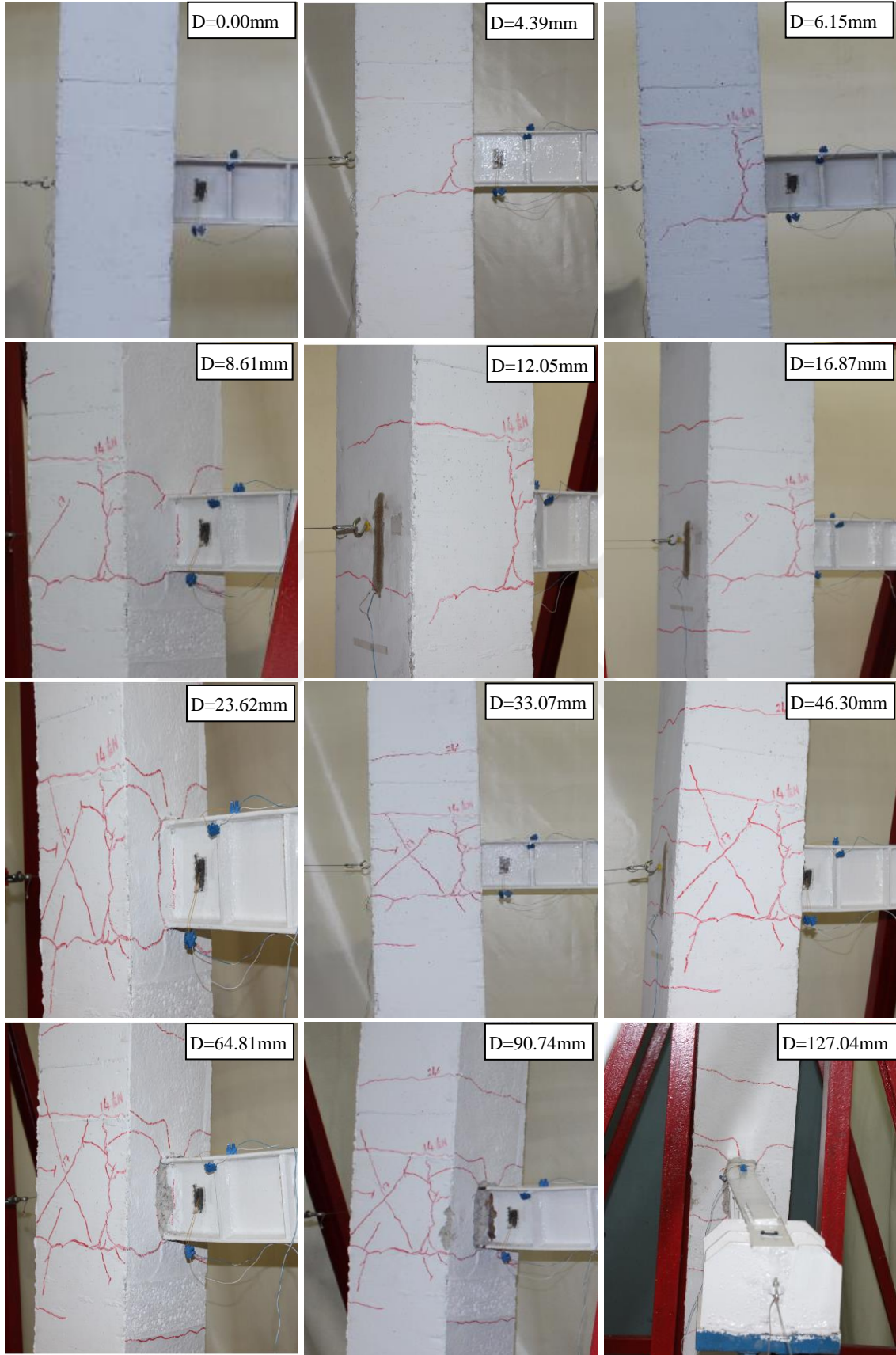
3.2.2. Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Kaynaklı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-B)

Yükleme protokolüne uygun olarak çevrimsel yatay yüklemeye deneyi KKB-B elemanı üzerine gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaya ait genel görünüm Şekil 3.6’da ve deney boyunca gömme kompozit kolondaki betonda oluşan çatlakların ilerleme aşamaları yatay yerdeğiştirme değerleriyle birlikte Şekil 3.7’de verilmiştir. Ayrıca deney sonunda elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve son altı çevrime ait detaylı eğrileri Şekil 3.8’de verilmiştir.

Yüklemenin birinci çevriminde 1.28 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.18 kN, çekmede ise 4.21 kN yük değeri okunmuştur. İkinci çevrimde 1.68 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.82 kN, çekmede ise 4.50 kN yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde 2.24 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.95 kN, çekmede ise 3.97 kN yük değeri okunmuştur. Dördüncü yüklemeye çevriminde 3.14 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 5.78 kN, çekmede ise 5.16 kN yatay yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrimde gömme kompozit kolonun-çelik kiriş birleşim bölgesindeki betonunda kılcal çatlaklar oluşmaya başlanmıştır. Beşinci çevrimde 4.39 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 6.90 kN, çekmede ise 6.68 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Ayrıca beşinci çevrimin sonunda birleşim bölgesindeki çatlak kolon ön yüzeyine kadar ulaşmış ve yatay olarak da bir miktar ilerlemiştir(Şekil 3.7).



Şekil 3.6. KKB-B deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü

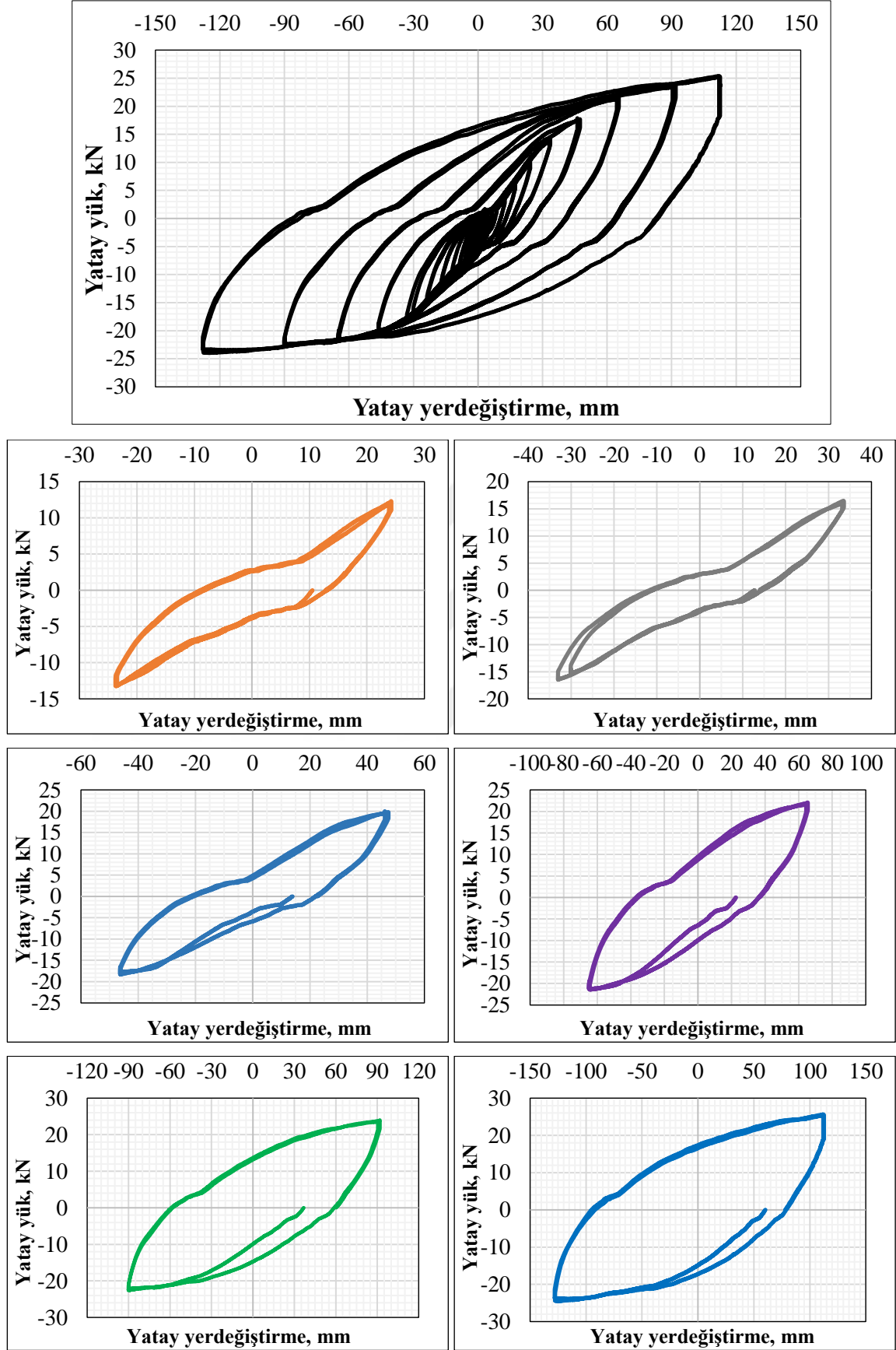


Şekil 3.7. Deney sırasında KKB-B deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları

Altıncı yükleme çevriminde 6.15 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 7.67 kN, çekmede ise 7.21 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde de betondaki çatlaklar ilerlemeye devam etmiştir. Yedinci yükleme çevriminde 8.61 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 8.15 kN, çekmede ise 7.93 kN yük değeri okunmuştur. Sekizinci yükleme çevriminde 12.05 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 9.74 kN, çekmede ise 9.17 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde gömme kompozit kolon arka yüzeyinde yatay çatlaklar gözükmeğe başlanmıştır. Dokuzuncu çevrimde 16.87 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 11.57 kN, çekmede ise 11.04 kN yük değerine ulaşılmıştır. Ayrıca bu çevrimde kompozit kolon ön yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluşmaya başlanmıştır.

KKB-B deney elemanın çevrimsel yatay yükleme deneyin onuncu çevriminde, 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 13.26 kN, çekmede ise 12.99 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrime kadar yük yerdeğiştirme eğrisinin eğimi kısmı doğrusal olup bundan sonra eğimde azalma gözükmektedir. Bu da elastik bölgenin tamamlandığını ifade etmektedir. Ayrıca onuncu çevrimde kolonun her iki yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluşmuş ve yatay çatlakların genişlikleri artmıştır. On birinci yükleme çevrimde 33.07 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 16.48 kN, çekmede ise 16.05 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde çelik kirişin gövde bölgesine yakın betonda ezilmeler gözle görülür hale gelmiştir.

On ikinci yükleme çevriminde 46.30 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 19.38 kN, çekmede ise 18.79 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde mevcut olan çatlak genişlikleri artmış olup kolon arka yüzeyinde yeni yatay çatlaklar oluşmuştur. On üçüncü çevrimde 64.81 mm yatay yerdeğiştirme değerine karşılık, itmede 22.07 kN, çekmede ise 21.43 kN yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrimde çelik kiriş gövdesine yakın bölgede ezilen betonlar dökülmeye başlanmıştır. Ancak dökülen bu beton miktarları çok fazla değildir. On dördüncü yükleme çevriminde 90.74 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 23.99 kN, çekmede ise 22.60 kN yük değerine ulaşılmıştır. On dördüncü çevrimin sonunda, çelik kirişte yanal burkulma gözle görülür hale gelmiştir (Şekil 3.7). Ayrıca ezilen beton parçaları da kirişin her iki tarafından dökülmüştür. Bu yüklemeden sonra hala sistem yük taşımaya devam etmektedir. Çalışma kapsamındaki yükleme protokolün son yükleme çevriminde 127.04 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 25.64 kN, çekmede ise 23.85 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde çelik kiriş tamamen yanal olarak burkulmuştur. Son çevrimde çekme bölgesindeki yatay yük -yerdeğiştirme eğrisi yataylaşmaya başlamış, ancak itmede ise hala yük taşımaya devam ettiğini görülmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. KKB-B deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri

Standart yükleme protokolüne uygun bir şekilde tamamlanan tekrarlı yatay yükleme deneyi sonunda KKB-B deney elemanında betonarme bölümde çatlaklar oluşsa dahi, betondaki ezilmeler sadece kiriş gövdesine yakın bölgede gözlemlenmiştir. Deney sonunda çelik kiriş tamamen yanal olarak burkulmuştur. Beton içinde kalan kolon-çelik kiriş birleşim bölgesinin hasar durumunu öğrenmek için birleşim bölgesinin betonu kırıcı yardımıyla çelik profillere zarar vermeden kırılarak temizlenmiştir. Şekil 3.9'dan görüldüğü gibi beton içindeki kolon-kiriş birleşim bölgesinde herhangi bir hasar oluşmamıştır. Bu deney elemanında KKB-A deney elemanındaki gibi kaynaklarda kopma ve birleşim levhalarında eğilme gibi hasarlar tespit edilmemiştir. Kompozit kolonun boyuna ve enine donatılarda herhangi bir açılma veya burkulma gibi durumlar gözlemlenmemiştir.

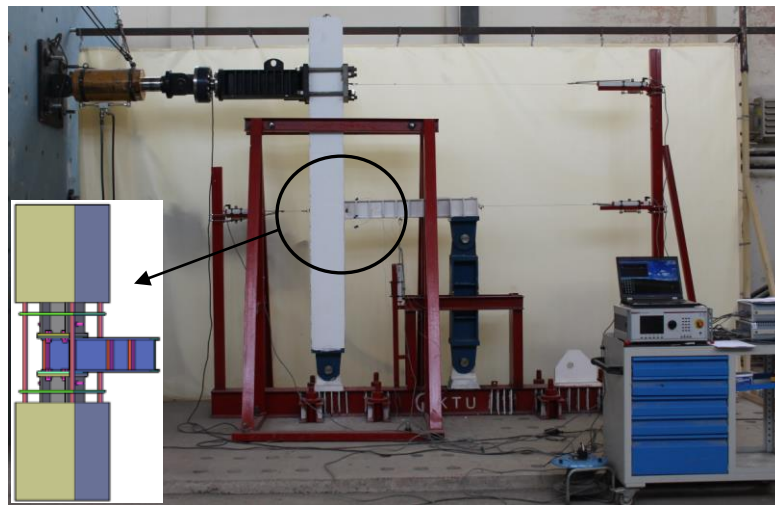


Şekil 3.9. Deney sonunda KKB-B deney elemanında oluşan hasar durumları

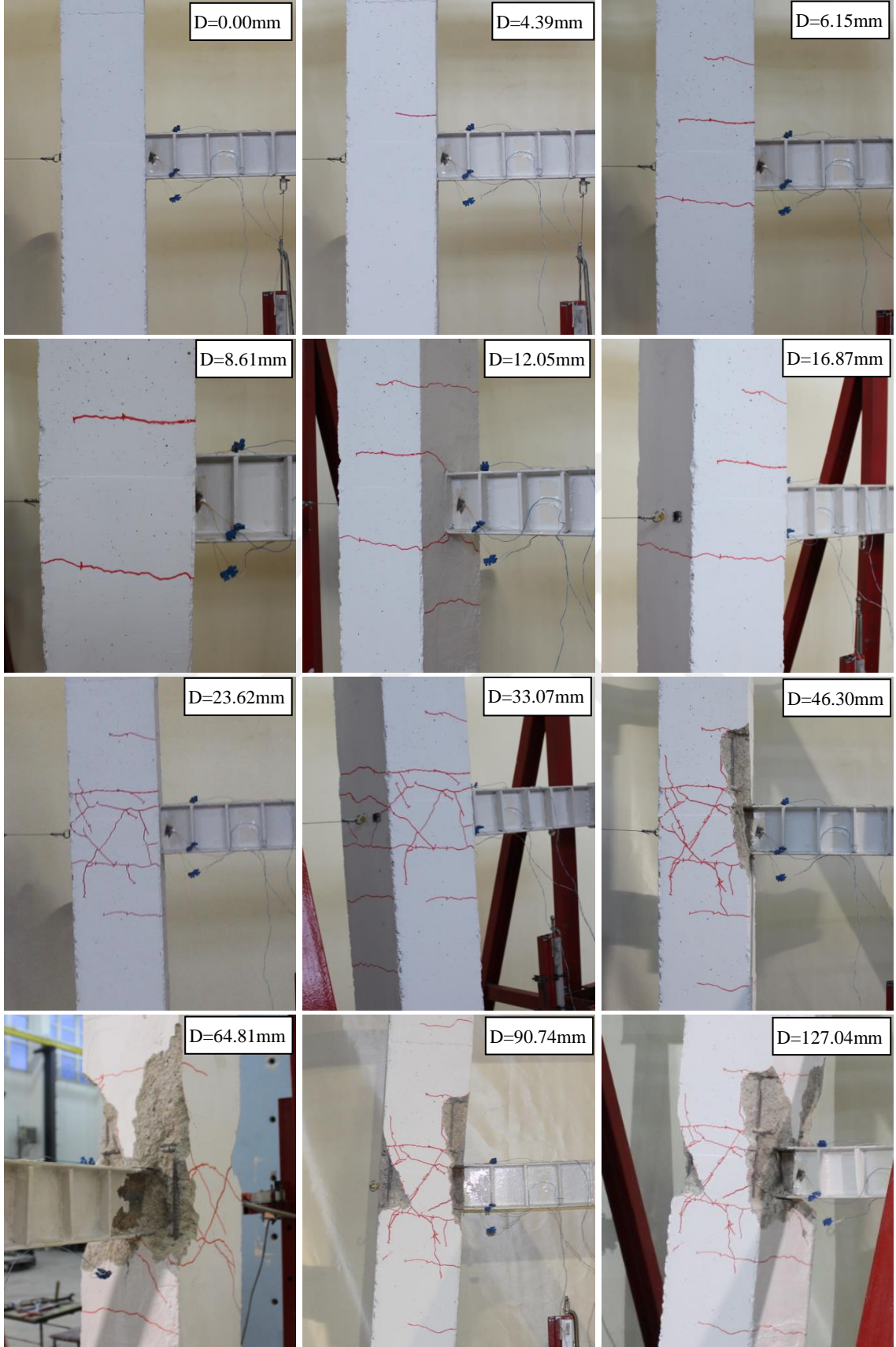
3.2.3. Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Bulonlu Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-C)

KKB-C kodlu deney elemanına belirlenen standart yükleme protokolüne uygun olarak tekrarlı yatay yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaya ait genel görünüm Şekil 3.10'da ve deney boyunca yatay yerdeğiştirmeye bağlı olarak gömme kompozit kolondaki betonda oluşan çatlakların ilerleme aşamaları Şekil 3.11'de verilmiştir. Ayrıca deney sonunda elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve son altı çevrime ait detaylı eğrileri Şekil 3.12'de sunulmuştur.

Yüklemenin birinci çevriminde 1.28 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 3.67 kN, çekmede ise 3.59 kN yük değeri okunmuştur. İkinci çevrimde 1.68 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 3.88 kN, çekmede ise 3.74 kN yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde 2.24 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.48 kN, çekmede ise 4.43 kN yük değeri okunmuştur. Dördüncü yükleme çevriminde 3.14 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 5.11 kN, çekmede ise 5.04 kN yatay yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrime kadar gömme kompozit kolonun-çelik kiriş birleşim bölgesindeki çatlaklar gözle görülmemiştir. Beşinci çevrimde 4.39 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 5.79 kN, çekmede ise 5.36 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Ayrıca beşinci çevrimin sonunda birleşim bölgesindeki çatlak kolon ön yüzeyine kadar ulaşmış ve yatay olarak da bir miktar ilerlemiştir (Şekil 3.11). Altıncı yükleme çevriminde 6.15 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 6.62 kN, çekmede ise 6.19 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda birleşim bölgesinde çelik kirişe paralel üst ve alt bölgede iki adet yatay çatlak oluşmuştur.



Şekil 3.10. KKB-C deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü

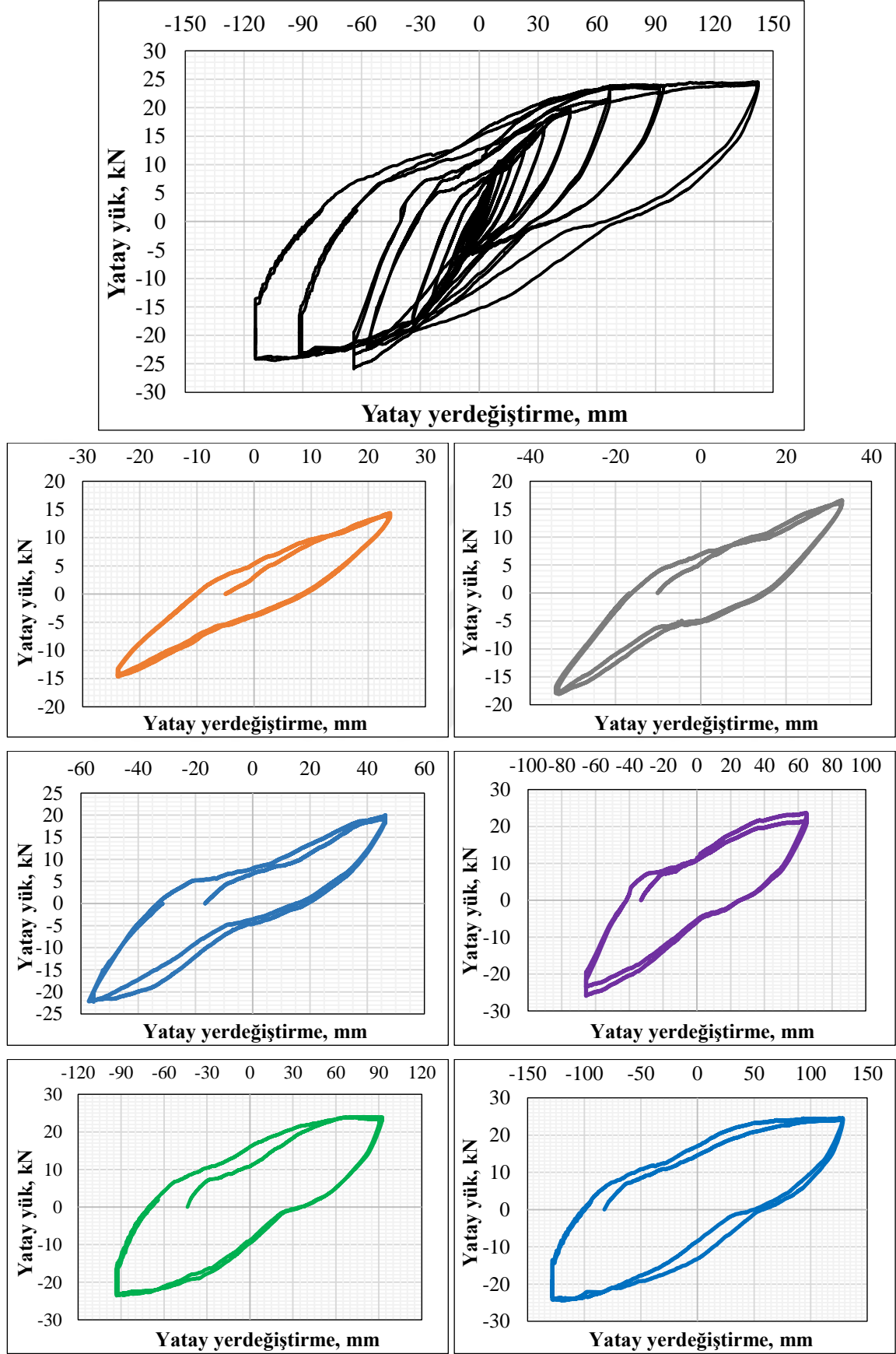


Şekil 3.11. Deney sırasında KKB-C deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları

Yüklemenin yedinci çevriminde 8.61 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 8.90 kN, çekmede ise 7.58 kN yük değeri okunmuştur. Sekizinci yükleme çevriminde 12.05 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 10.70 kN, çekmede ise 9.85 kN yük değeri ulaşılmıştır. Dokuzuncu çevrimde 16.87 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 12.11 kN, çekmede ise 11.76 kN yük değeri ulaşılmıştır. Ayrıca bu çevrimde kompozit kolon arka yüzeyinde yatay çatlak oluşmuştur. Bu çatlak, yükün kompozit kolonun arka yüzeyine de aktarıldığının bir göstergesi olarak yorumlanabilmektedir.

KKB-C deney elemanın çevrimsel yatay yükleme deneyin onuncu çevriminde, 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 13.99 kN, çekmede ise 14.64 kN yük değeri ulaşılmıştır. Onuncu çevrimsel yüklemenin sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesinde diyagonal çatlaklar oluşmuş ve çatlaklar yoğunlaşmıştır. Ayrıca bu çevrime kadar genelde çekmede ölçülen yük değeri itmeden daha düşük değere sahipken, onuncu çevrimde çekmedeki yük değeri itmeden daha yüksektir. On birinci yükleme çevrimde 33.07 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 16.63 kN, çekmede ise 17.91 kN yatay yük değeri okunmuştur. Bu çevrimde kolon arka yüzeyindeki paralel çatlakların sayısı artmış ve diyagonal çatlaklar da birleşim bölgesinin tüm yüzeylerinde oluşmuştur.

On ikinci yükleme çevriminde 46.30 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 20.10 kN, çekmede ise 21.83 kN yük değeri ulaşılmıştır. On ikinci çevrimde birleşim ön yüzeyinde beton parçaları dökülmüştür. On üçüncü çevrimde 64.81 mm yatay yerdeğiştirme değeri karşılık, itmede 23.63 kN, çekmede ise 25.61 kN yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrimin sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesinin iç yüzünde de beton parçaları dökülmüş ve kolonun donatıları gözükmeye başlanmıştır. Ayrıca bu çevrimde çekmedeki yük değeri maksimum düzeyine ulaşmış bundan sonraki çevrimlerde azalmaya başlamıştır. On dördüncü yükleme çevriminde 90.74 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 24.06 kN, çekmede ise 23.58 kN yük değeri ulaşılmıştır. Bu çevrimde birleşim arka yüzeyindeki beton parçaları dökülmüş ve çevrimin sonunda çelik kirişte yanal burkulma gözlemlenmiştir. On beşinci ve son çevrimde 127.04 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 24.53 kN, çekmede ise 24.15 kN yük değeri ulaşılmıştır. Bu çevrimde çelik kiriş tamamen yanal olarak burkulmuştur. Son çevrimlerde yanal burkulma nedeniyle itme bölgesindeki eğri dar olup çekmedeki eğri daha geniş bir alana sahip olduğu görülmüştür (Şekil 3.12). KKB-C elemanında KKB-B elemanına göre daha çok beton parçaları kırılarak birleşim bölgesinden dökülmüştür. Her iki birleşim tipi ise kirişteki yanal burkulma ile dayanımlarını kaybetmişlerdir.



Şekil 3.12. KKB-C deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri

Tersinir tekrarlı yatay yük etkisindeki deneye tabi tutulan KKB-C elemanındaki çelik kiriş deney sonunda tamamen yanal burkulmuştur. Kirişin birleşim bölgesinin dışında, başlık boyalarında buruşmalar görünmüştür. Bu deney elemanındaki hasar durumu ise, birleşim bölgesindeki dış betonların çoğu kırılarak dökülmüştür. KKB-C deney elemanında beton içine gömülen kolon-kiriş birleşim bölgesinin hasar durumunu incelemek için daha önceki deney elemanlarında olduğu gibi kalan beton parçaları kırılarak temizlenmiştir (Şekil 3.13). Bu şekilden görüldüğü gibi birleşim bölgesindeki kaynaklarda herhangi bir kopma ve çatlama oluşmamıştır. Ayrıca birleşim bölgesinde kullanılan plakalarda da eğilme gözlemlenmemiştir. Gömme kompozit kolonun boyuna ve enine donatılarda herhangi bir hasar tespit edilmezken çelik kolon ve çelik kiriş bağlantısında kullanılan bulonlarda bir miktar gevşeme tespit edilmiştir.

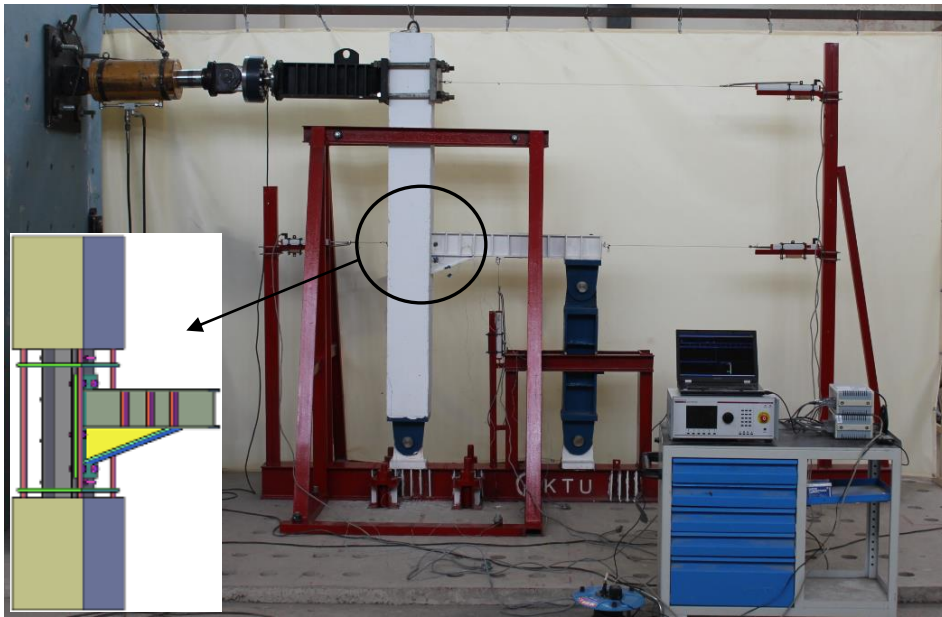


Şekil 3.13. Deney sonunda KKB-C deney elemanında oluşan hasar durumları

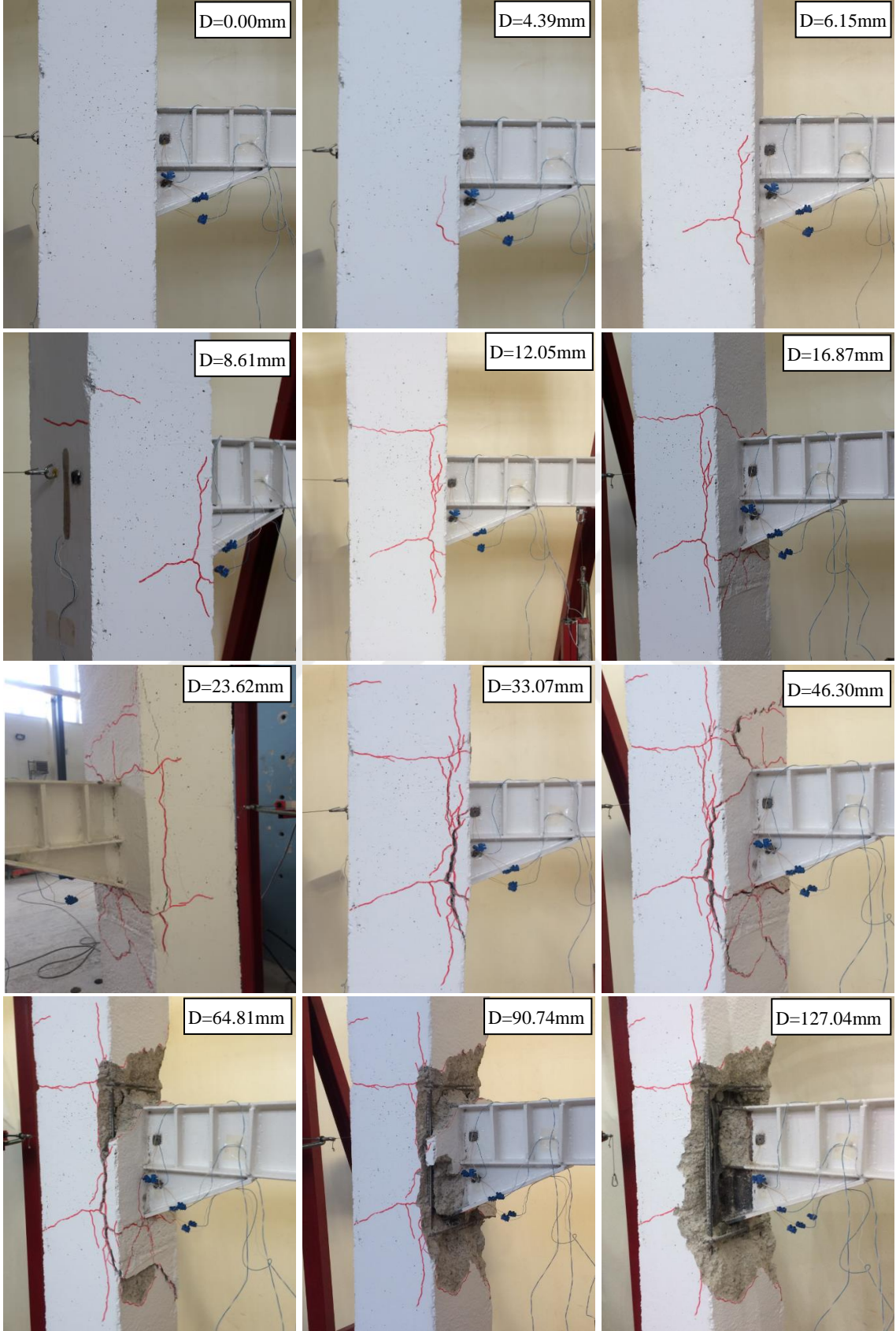
3.2.4. Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-D)

Standart yükleme protokolüne uygun olarak tekrarlı yatay yük etkisinde KKB-D elemanı deneye tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmaya ait genel görünüm Şekil 3.14'te ve deney boyunca yatay yerdeğiştirmeye bağlı olarak gömme kompozit kolondaki betonda oluşan çatlakların ilerleme aşamaları Şekil 3.15'te verilmiştir. Ayrıca deney sonunda elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve son altı çevrime ait detaylı eğrileri Şekil 3.16'da sunulmuştur.

Çevrimsel yüklemenin birinci çevriminde 1.28 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.36 kN, çekmede ise 4.24 kN yük değeri okunmuştur. İkinci çevrimde 1.68 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.83 kN, çekmede ise 4.53 yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde 2.24 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 5.16 kN, çekmede ise 4.94 kN yük değeri okunmuştur. Dördüncü yükleme çevriminde 3.14 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 5.38 kN, çekmede ise 5.40 kN yatay yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrime kadar gömme kompozit kolonun-çelik kiriş birleşim bölgesindeki çatlaklar gözle görülmemiştir. Beşinci çevrimde 4.39 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 7.15 kN, çekmede ise 6.87 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Beşinci çevrim sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesindeki guseden başlayarak kolon ön yüzeyine kadar gözle görülebilen ilk çatlak oluşmuştur.



Şekil 3.14. KKB-D deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü



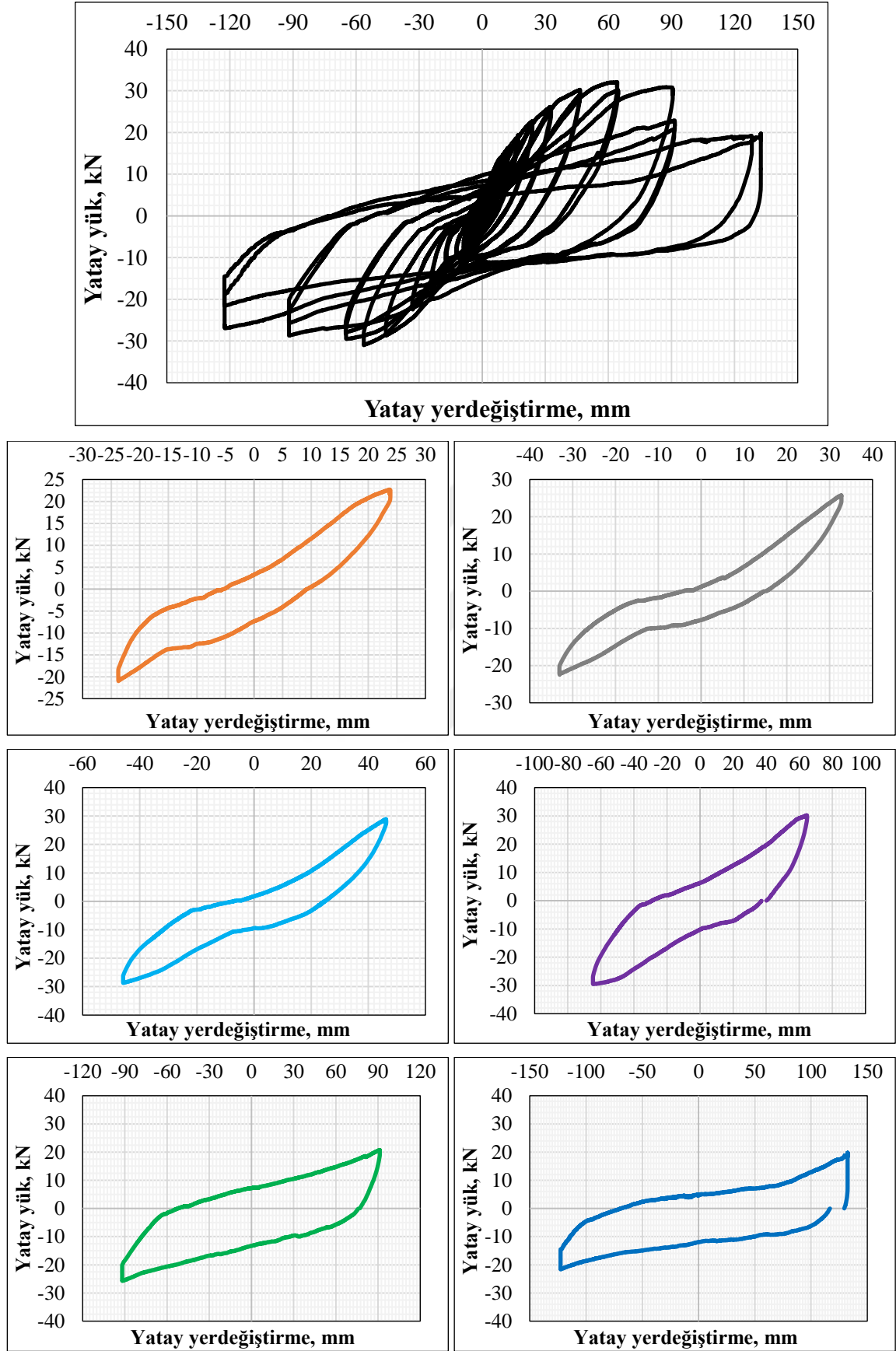
Şekil 3.15. Deneý sırasında KKB-D deneý elemanında oluřan çatlakların ilerleme ařamaları

Tekrarlı yatay yüklemenin altıncı yükleme çevriminde 6.15 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 9.12 kN, çekmede ise 8.78 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda çatlaklar kolon ön yüzeyinde diyagonal olarak ilerlemeye devam etmiştir. Yedinci çevrimde 8.61 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 10.96 kN, çekmede ise 11.04 kN yük değeri okunmuştur. Sekizinci yükleme çevriminde 12.05 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 13.70 kN, çekmede ise 13.35 kN yük değerine ulaşılmıştır. Dokuzuncu çevrimde 16.87 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 17.49 kN, çekmede ise 16.89 kN yük değerine ulaşılmıştır.

KKB-D deney elemanın çevrimsel yatay yüklemeye deneyin onuncu çevriminde, 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 22.55 kN, çekmede ise 21.14 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda birleşim bölgesindeki dikey çatlak genişliği 5mm olarak ölçülmüştür. On birinci yükleme çevrimde 33.07 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 25.77 kN, çekmede ise 23.45 kN yatay yük değeri okunmuştur. On birinci çevrimin sonunda guseye yakın bölgedeki betonda kırılmalar oluşmuştur.

Yatay yüklemenin on ikinci yükleme çevriminde 46.30 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 30.22 kN, çekmede ise 29.18 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda mevcut olan çatlakların genişlikleri iyice artmış ve yeni çatlaklar oluşmaya devam edilmiştir. On üçüncü çevrimde 64.81 mm yatay yerdeğiştirme değerine karşılık, itmede 32.10 kN, çekmede ise 31.28 kN yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrimin sonunda birleşim ön yüzeyinden ilk beton parçaları dökülerek kompozit kolonun boyuna ve enine donatıları gözükmeye başlanmıştır. Ayrıca KKB-D deney elemanın maksimum yük değerine ulaştığı yükleme adımı da on üçüncü adım yani 64.81 mm yatay yer değiştirme olarak elde edilmiştir. Bundan sonraki çevrimlerde hem itmede hem de çekmede yük değerleri azalmıştır.

On dördüncü yükleme çevriminde 90.74 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 30.80 kN, çekmede ise 29.14 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda birleşim bölgesine yakın ezilen betonlar dökülmeye devam etmiştir. On beşinci ve son çevrimde 127.04 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 19.22 kN, çekmede iste 26.94 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda çelik kirişin sonuna kaynatılan alın levhası gözükmeye başlamış ve eğildiği görülmüştür. Çalışma kapsamında belirlenen yükleme protokolü tamamlandığı için KKB-D deney elemanın deneyi on beşinci çevrimin sonunda sonlandırılmıştır.



Şekil 3.16. KKB-D deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri

KKB-D deney elemanında, tekrarlı yatay yükleme deneyi sonunda çatlaklar bölge olarak daha geniş bir alana yayılmış, fakat KKB-A deney elemanına benzer bir şekilde çatlak ve beton dökülmeleri yoğun olarak birleşim ön yüzeyinde oluşmuştur. Birleşim arka yüzeyine sadece iki tane küçük çatlak oluşmuş ve arka yüzeye doğru herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir. Dolayısıyla birleşim bölgesinin hasarını daha iyi incelemek için önceki deney elemanlarda olduğu gibi kolon-kiriş birleşim bölgesindeki beton kırılarak temizlenmiştir.

Şekil 3.17'den görüldüğü gibi çelik kirişin sonuna kaynaklı alın levhası eğilmiş ve çelik kiriş ile arasındaki kaynaklarda çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca birleşim bölgesini alttan takviye eden çelik guse ve alın levhası arasındaki kaynak tamamen kopmuştur. Alın levhasını gömme kompozit kolonun içindeki çelik profile bağlayan 6 adet bulonda bir miktar gevşemeler tespit edilmiş, özellikle en üstteki iki bulon diğerlerine göre daha çok gevşemiştir. Kompozit kolonun donatılarında herhangi bir burkulma, eğilme ve açılma gibi sorunlar gözlemlenmemiştir.

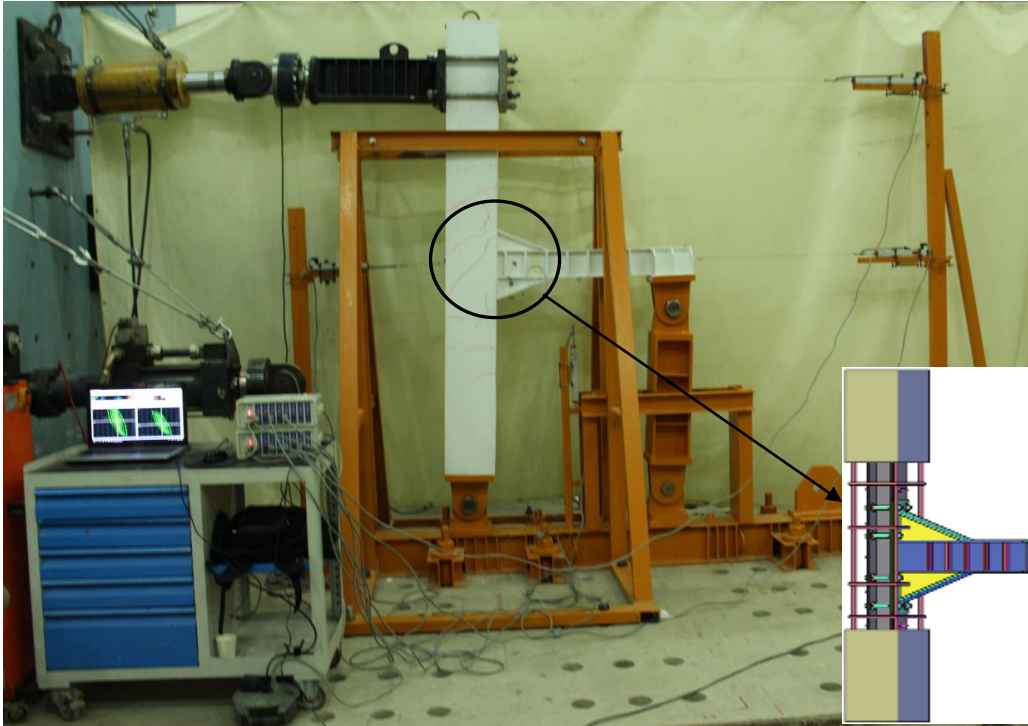


Şekil 3.17. Deney sonunda KKB-D deney elemanında oluşan hasar durumları

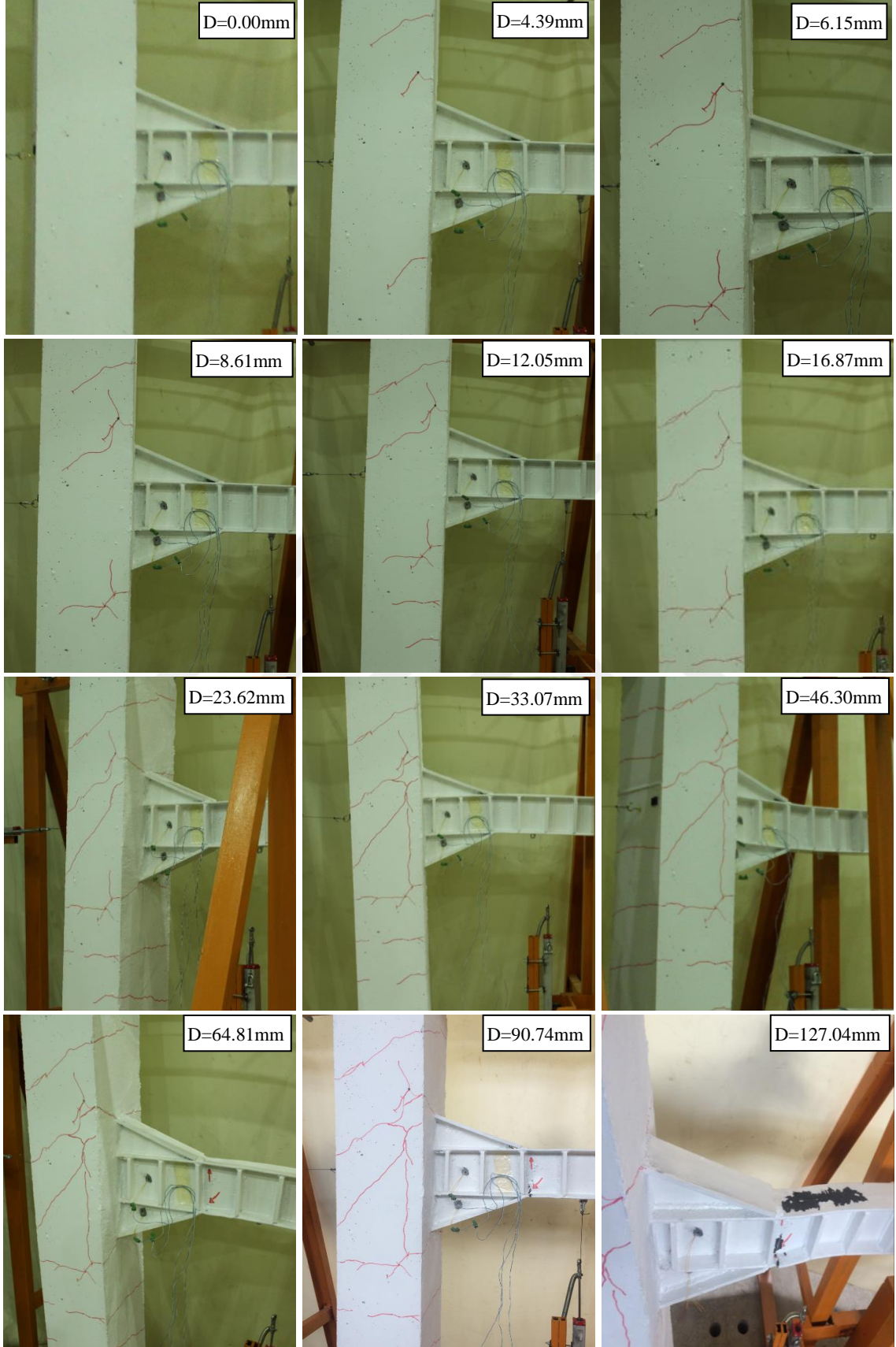
3.2.5. Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-E)

Çalışma kapsamında, KKB-A, KKB-B, KKB-C ve KKB-D deney elemanlarının üzerine gerçekleştirilen deneylerden elde edilen bulgulara göre KKB-E, KK-F, KKB-G ve KKB-H deney elemanların birleşim bölgeleri tasarlanmıştır. KKB-A ve KKB-D elemanlarda kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarlar birleşim ön yüzeyinde yoğun olup beton kırılmaların tamamı bu bölgede oluşmuştur. Dolayısıyla buradan çıkan bulgular doğrultusunda tekrarlı yatay yükleme deneyi sırasında kompozit kolonun içine gömülen çelik profilin arka bölümüne yükün aktarılmadığı kanaatine varılmıştır. KKB-E, KKB-F ve KKB-G elemanların birleşim bölgesinde, çelik kiriş ile çelik kolonu bağlayan bulonlar çelik kolonun her iki başlığından geçerek montajlanmıştır.

Standart yükleme protokolüne uygun olarak tekrarlı yatay yük etkisinde KKB-E kodlu deney elemanın deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaya ait genel görünüm Şekil 3.18’de ve deney boyunca yatay yerdeğiştirmeye bağlı olarak gömme kompozit kolondaki betonda oluşan çatlakların ilerleme aşamaları Şekil 3.19’da verilmiştir. Ayrıca deney sonunda elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ile son altı çevrime ait detaylı eğrileri Şekil 3.20’de sunulmuştur.



Şekil 3.18. KKB-E deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü



Şekil 3.19. Deney sırasında KKB-E deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları

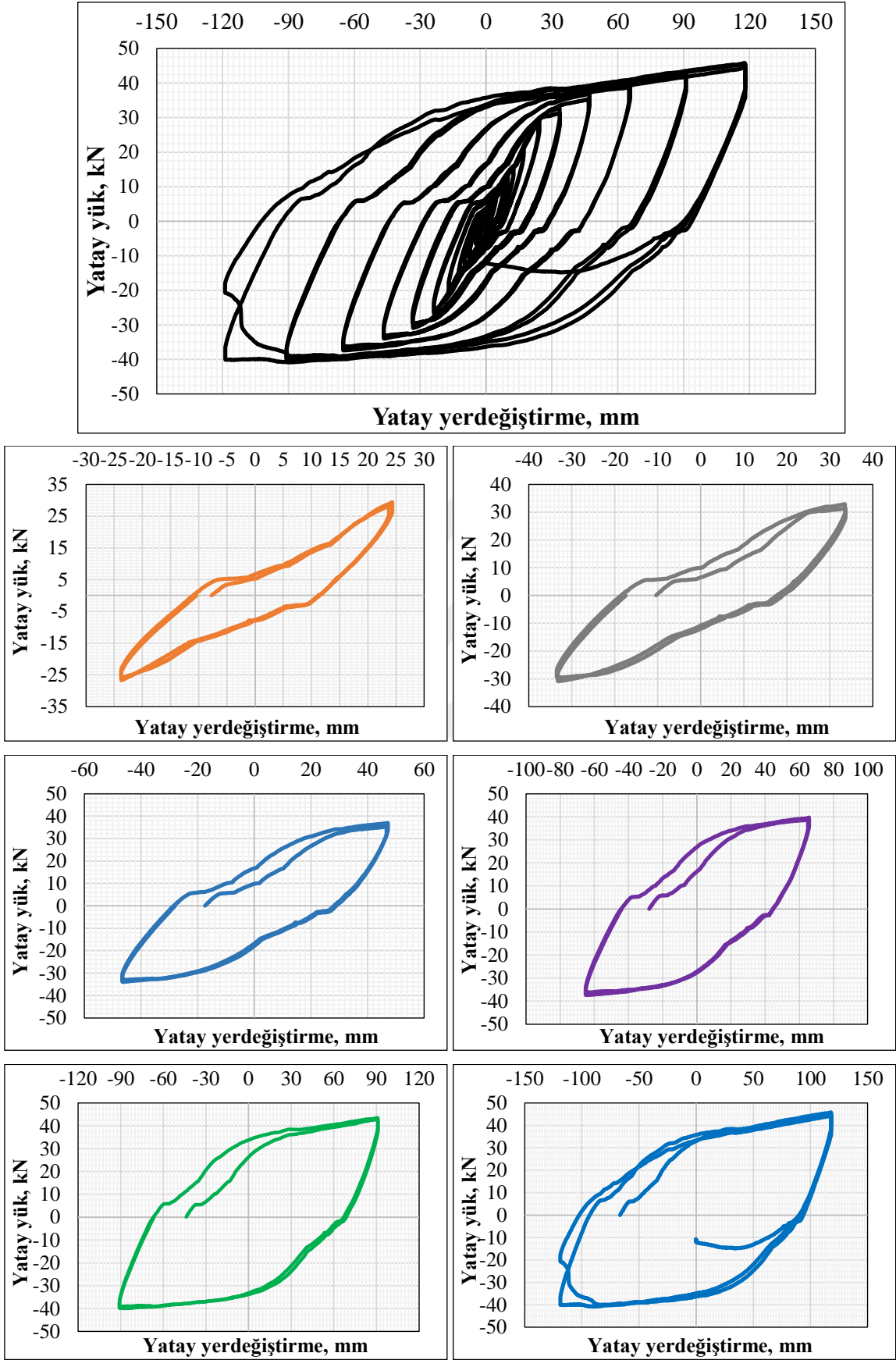
Çevrimsel yüklemenin birinci çevriminde 1.28 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 5.54 kN, çekmede ise 5.49 kN yük değeri okunmuştur. İkinci çevrimde 1.68 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 6.08 kN, çekmede ise 5.99 yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde 2.24 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 6.46 kN, çekmede ise 6.39 kN yük değeri okunmuştur. Dördüncü yükleme çevriminde 3.14 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 6.88 kN, çekmede ise 6.39 kN yatay yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrime kadar gömme kompozit kolonun-çelik kiriş birleşim bölgesindeki çatlaklar gözle görülmemiştir. Beşinci çevrimde 4.39 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 8.41 kN, çekmede ise 8.17 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Beşinci çevrim sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesindeki alt ve üst guselerden başlayarak kolon ön yüzeyine kadar gözle görülebilen ilk çatlaklar oluşmuştur.

Tekrarlı yatay yüklemenin altıncı yükleme çevriminde 6.15 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 11.23 kN, çekmede ise 11.08 kN yük değerine ulaşılmıştır. Yedinci çevrimde 8.61 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 13.56 kN, çekmede ise 13.38 kN yük değeri okunmuştur. Bu çevrime kadar yük-yerdeğiştirme eğrisi yaklaşık olarak doğrusal bir şekilde olduğu görülmüştür. Yedinci çevrimden sonra eğrinin eğimi azalmaya başlamış bu da elastik bölgedeki yüklemenin tamamlandığını ifade edilmektedir. Ayrıca bu çevrimin sonunda oluşan çatlaklar homojen olarak kolon ön ve arka yüzeyinde oluşmuştur.

Sekizinci yükleme çevriminde 12.05 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 16.49 kN, çekmede ise 16.33 kN yük değerine ulaşılmıştır. Dokuzuncu çevrimde 16.87 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 21.83 kN, çekmede ise 21.23 kN yük değerine ulaşılmıştır. Onuncu çevriminde, 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 29.12 kN, çekmede ise 27.71 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan çatlaklar birleşim bölgesinden başlayarak yukarı ve aşağıya doğru çok geniş bir alana yayılmıştır. Ayrıca KKB-E deney elemanında oluşan çatlaklar daha önceki deney elemanların tersine daha küçük genişliğe sahiptir. On birinci yükleme çevriminde 33.07 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 32.91 kN, çekmede ise 31.40 kN yatay yük değeri okunmuştur. Yatay yüklemenin on ikinci yükleme çevriminde 46.30 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 36.98 kN, çekmede ise 34.18 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda birleşim bölgesinin tüm yüzeylerinde çatlaklar görünmüş ancak çatlak genişlikleri önceki deney elemanlarına göre çok küçük olduğu görülmektedir. On ikinci çevrim sonunda çelik guselerin bitiş bölgesinde, çelik kiriş başlıklarının boysisı buruşmaya başlamıştır.

Yükleme protokolün on üçüncü çevriminde 64.81 mm yatay yerdeğiştirme değerine karşılık, itmede 39.71 kN, çekmede ise 37.39 kN yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrimin sonunda çatlakların oluşması devam etmiş, fakat betonarme bölümde herhangi bir ezilme veya kırılma görülmemiştir. On üçüncü çevrimin sonunda çelik kirişte çok küçük miktarda yanal burkulma gözle görülür hale gelmiştir.

On dördüncü yüklemeye çevriminde 90.74 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 41.78 kN, çekmede ise 40.07 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda alttaki çelik guse ile kirişin birleştiği bölgede alttan başlayarak kiriş yüksekliğinin dörtte biri kadar bir kırılma oluşmuştur. Bu kırılma gevrek bir şekilde oluşmuştur. On beşinci ve son çevrimde 127.04 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 45.572 kN, çekmede ise 40.14 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda çelik kirişte oluşan kırılma kirişin orta noktasını geçmiştir. Ayrıca çelik kiriş tamamen yanal burkularak dayanımını kaybetmiştir. Şekil 3.19'da gösterildiği gibi yüklemeye protokolün son çevriminde yatay yük-yer değiştirme eğrisi basınçta yük almaya devam ederken çekmede tamamen yataylaşmıştır. Son çevrimde deney elemanı dayanımını tamamen kaybetmiş ve eğri ekseninde sapmıştır. Böylece çalışma kapsamında belirlenen yüklemeye protokolü tamamlandığı için KKB-E deney elemanın deneyi onbeşinci çevrimin sonunda sonlandırılmıştır.



Şekil 3.20 KKB-E deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri

KKB-E deney elemanının tekrarlı yatay yükleme deneyi sonunda betonda oluşan çatlaklar daha büyük bir alana yayılmış olsa da genişlikleri az olup herhangi bir kırılma, ezilme ve dökülme gibi durumlar oluşmamıştır. Bu birleşimde kullanılan uzun bulonların amacı, gelen yükü çelik kolon arka yüzeyine aktarmaktır. Deney sonunda kolonun arka yüzeyinde oluşan çatlaklar bu tip tasarımın faydalı olduğunu göstermiştir. KKB-D ile KKB-E deney elemanları arasındaki iki fark vardır. Birincisi KKB-E deney elemanının çift guseli olması, ikincisi ise bulonların uzun olmasıdır. KKB-E elemanında oluşan hasarlar birleşim bölgesinde olmayıp hepsi çelik kirişte oluşarak güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisini göstermiştir. İlk önce çelik kiriş başlıklarında lokal burkulmalar oluşmuş, daha sonra kiriş yanalları burkularak guse ile birleştiği bölgeden kırılmıştır. Beton içine gömülen birleşim bölgesinin hasarını daha iyi incelemek için önceki deney elemanlarda olduğu gibi kolon-kiriş birleşim bölgesindeki beton kırılarak temizlenmiştir. Şekil 3.21’den görüldüğü gibi kolon-kiriş birleşim bölgesinde herhangi bir hasar oluşmamış, bağlantılarda kullanılan bulonlarda da gevşeme tespit edilmemiş, hasarın tamamı çelik kirişte oluşmuştur. Depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerine göre hasar ve plastik mafsallın kirişte olması istenmektedir.

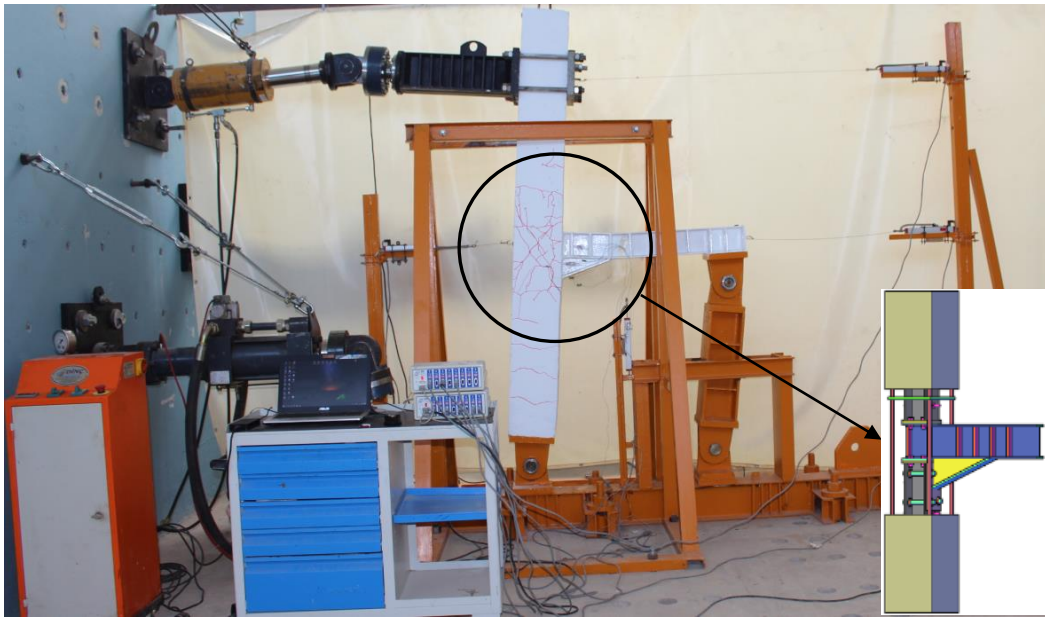


Şekil 3.21. Deney sonunda KKB-E deney elemanında oluşan hasar durumları

3.2.6. Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-F)

KKB-F deney elemanı çalışma kapsamında belirlenen yükleme protokolüne uygun olarak tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmaya ait genel görünüm Şekil 3.22’de, deney boyunca yatay yerdeğiştirmeye bağlı olarak gömme kompozit kolondaki betonda oluşan çatlakların ilerleme aşamaları Şekil 3.23’te verilmiştir. Ayrıca deney sonunda elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve son altı çevrime ait detaylı eğrileri Şekil 3.24’te sunulmuştur.

Çevrimsel yüklemenin birinci çevriminde 1.28 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.85 kN, çekmede ise 4.49 kN yük değeri okunmuştur. İkinci çevrimde 1.68 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 5.28 kN, çekmede ise 5.13 yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde 2.24 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 5.96 kN, çekmede ise 5.74 kN yük değeri okunmuştur. Dördüncü yükleme çevriminde 3.14 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 6.12 kN, çekmede ise 6.20 kN yatay yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrime kadar gömme kompozit kolonun-çelik kiriş birleşim bölgesindeki çatlakların kılcal düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Beşinci çevrimde 4.39 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 6.84 kN, çekmede ise 6.93 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Beşinci çevrim sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesindeki gusenin altında ve kiriş üst kısmına yakın yerlerde çatlaklar oluşmaya başlanmıştır.



Şekil 3.22. KKB-F deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü



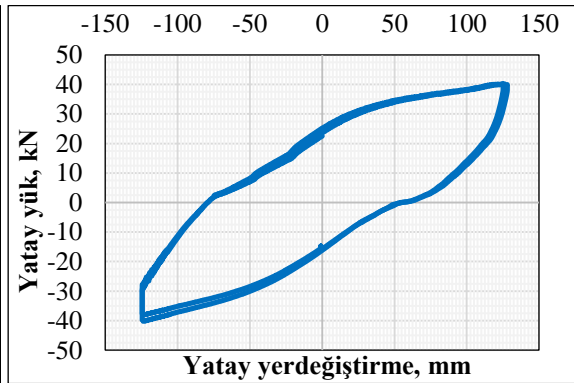
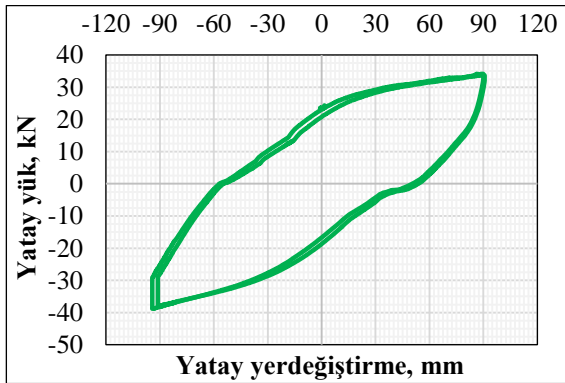
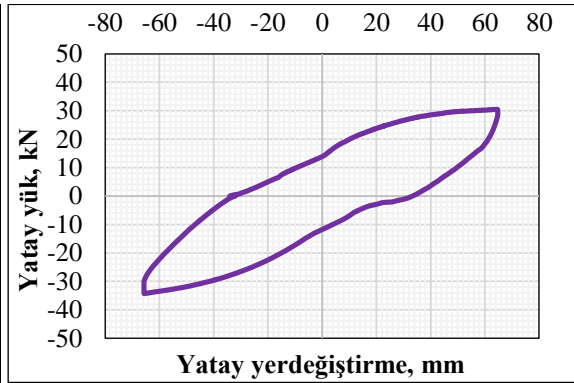
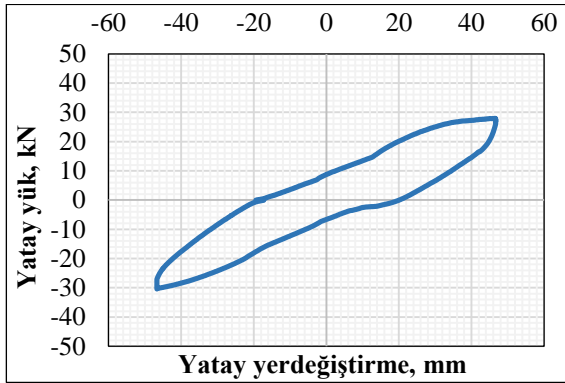
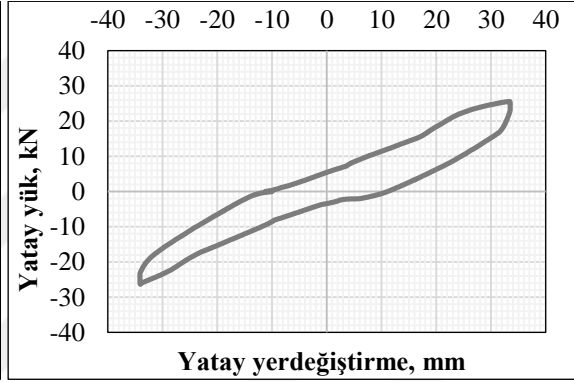
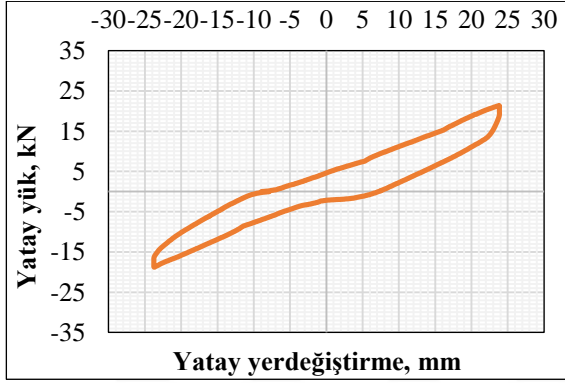
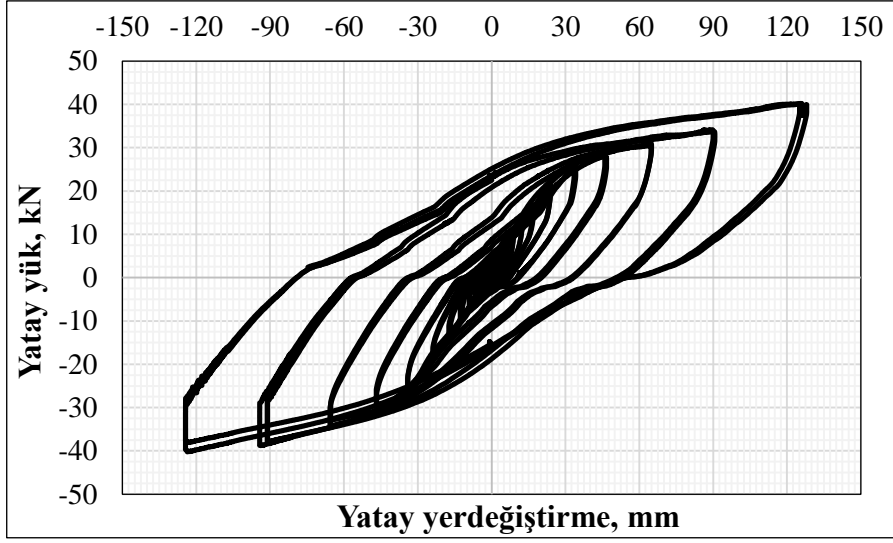
Şekil 3.23. Deney sırasında KKB-F deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları

Tekrarlı yatay yüklemenin altıncı yükleme çevriminde 6.15 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 8.12 kN, çekmede ise 7.98 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda çatlaklar kolon ön yüzeyinde diyagonal olarak ilerlemeye devam etmiştir. Yedinci çevrimde 8.61 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 10.86 kN, çekmede ise 10.14 kN yük değeri okunmuştur. Sekizinci yükleme çevriminde 12.05 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 13.70 kN, çekmede ise 12.85 kN yük değerine ulaşılmıştır. Dokuzuncu çevrimde 16.87 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 16.01 kN, çekmede ise 15.17 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan çatlakların yoğunluğu artmış fakat çatlak genişlikleri çok fazla olmadığı gözlemlenmiştir.

KKB-F deney elemanın çevrimsel yatay yükleme deneyin onuncu çevriminde, 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 20.33 kN, çekmede ise 19.64 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda kompozit kolon boyunca üst ve alt tarafta yatay çatlaklar oluşmaya devam etmiştir. On birinci yükleme çevriminde 33.07 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 25.58 kN, çekmede ise 25.45 kN yatay yük değeri okunmuştur.

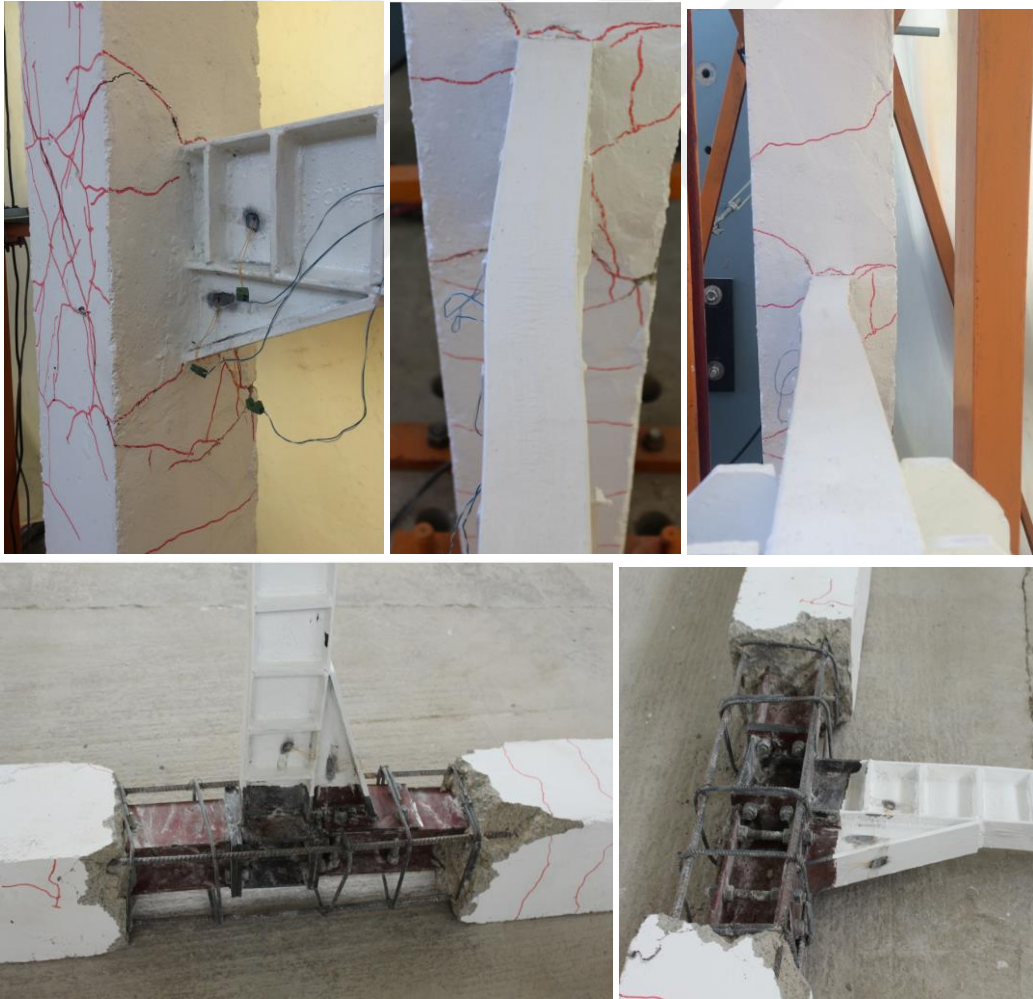
Yatay yüklemenin on ikinci yükleme çevriminde 46.30 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 27.92 kN, çekmede ise 27.31 kN yük değerine ulaşılmıştır. On üçüncü çevrimde 64.81 mm yatay yerdeğiştirme değerine karşılık, itmede 29.90 kN, çekmede ise 30.13 kN yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrimin sonunda birleşim bölgesine yakın olan ana çatlakların genişliği 5mm'ye kadar ulaşmıştır. Ayrıca çelik kirişte çok küçük miktarda yanal burkulma gözlemlenmiştir. On üçüncü çevrimden sonra yatay yük-yerdeğiştirme eğrisinin eğimi azalmaya başlasa da sistem hala yük taşımaya devam etmiştir. On dördüncü yükleme çevriminde 90.74 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 37.80 kN, çekmede ise 38.54 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda çelik kirişteki yanal burkulma rahatlıkla gözle görülür hale gelmiştir.

Çevrimsel yatay yük etkisinde KKB-F deney elemanın son çevriminde 127.04 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 40.67 kN, çekmede iste 40.23 kN yük değerine ulaşılmıştır. Deney sonunda çelik kiriş tamamen yanal olarak burkulmuş ancak yük boşaldığında plastik şekil değiştirme miktarının daha az olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.24'te verilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrilerinden de görüldüğü gibi çelik kiriş burkulmuş olsa da sistem hala yük taşımaya devam etmektedir.



Şekil 3.24. KKB-F deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri

KKB-F deney elemanının tekrarlı yatay yükleme deneyi sonunda, betonda daha büyük bir alana yayılan çatlakların genişlikleri az olup herhangi bir kırılma, ezilme ve dökülme gibi durumlar oluşmamıştır. KKB-F deney elemanı KKB-C deney elemanı ile aynı detaya sahip olup sadece alttan çelik guse ile takviye edilmiştir. Şekil 3.25'ten görüldüğü gibi bu deney elemanının birleşim bölgesindeki betonda büyük hasarlar olmayıp deney elemanı çelik kirişin yanal burkulması ile dayanımını kaybetmiştir. Çelik kirişte oluşan yanal burkulma güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisini de göstermektedir. Beton içine gömülen birleşim bölgesinin hasarını daha iyi incelemek için önceki deney elemanlarda olduğu gibi kolon-kiriş birleşim bölgesindeki beton kırılarak temizlenmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde herhangi bir hasar oluşmamış, hasarın tamamı çelik kirişte oluşmuştur. Ayrıca birleşimde kullanılan yatay ve düşey bulonlarda herhangi bir gevşeme tespit edilmemiştir.



Şekil 3.25. Deney sonunda KKB-F deney elemanında oluşan hasar durumları

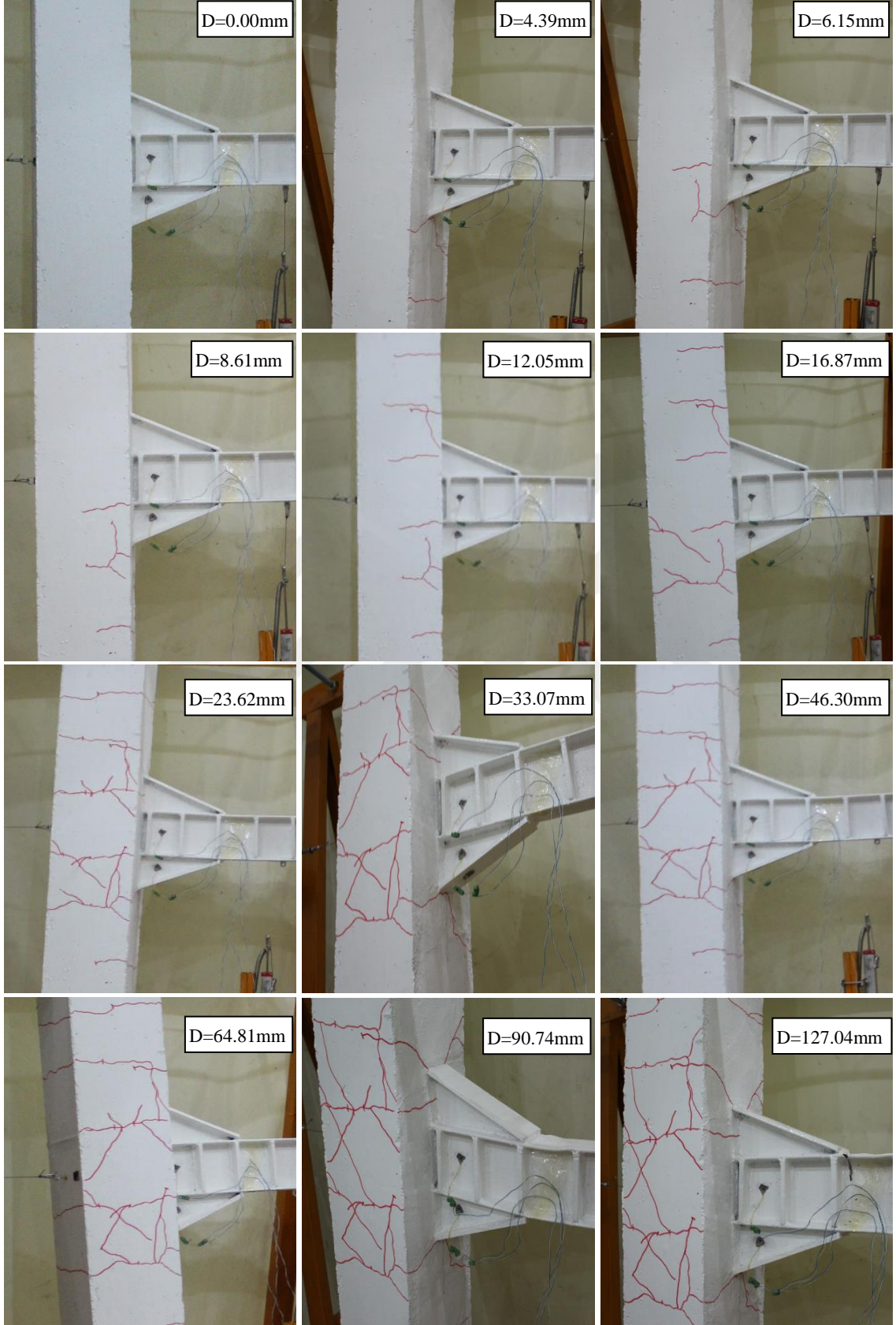
3.2.7. Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-G)

Standart yükleme protokolüne uygun olarak tekaralı yatay yük etkisinde KKB-G kodlu deney elemanın deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaya ait genel görünüm Şekil 3.26'da ve deney boyunca yatay yerdeğiştirmeye bağlı olarak gömme kompozit kolondaki betonda oluşan çatlakların ilerleme aşamaları Şekil 3.27'de verilmiştir. Ayrıca deney sonunda elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ile son altı çevrime ait detaylı eğrileri Şekil 3.28'de sunulmuştur.

Çevrimsel yüklemenin birinci çevriminde 1.28 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 5.50 kN, çekmede ise 5.40 kN yük değeri okunmuştur. İkinci çevrimde 1.68 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 6.09 kN, çekmede ise 5.93 kN yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde 2.24 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 7.18 kN, çekmede ise 6.97 kN yük değeri okunmuştur. Dördüncü yükleme çevriminde 3.14 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 7.88 kN, çekmede ise 7.69 kN yatay yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrime kadar gömme kompozit kolonun-çelik kiriş birleşim bölgesindeki çatlaklar kılcal düzeyde olup güçlkle görülebilmştir. Beşinci çevrimde 4.39 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 9.84 kN, çekmede ise 9.47 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Beşinci çevrim sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesindeki alt guseden başlayarak kolon ön yüzeyine kadar gözle görülebilen ilk çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 3.26. KKB-G deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü

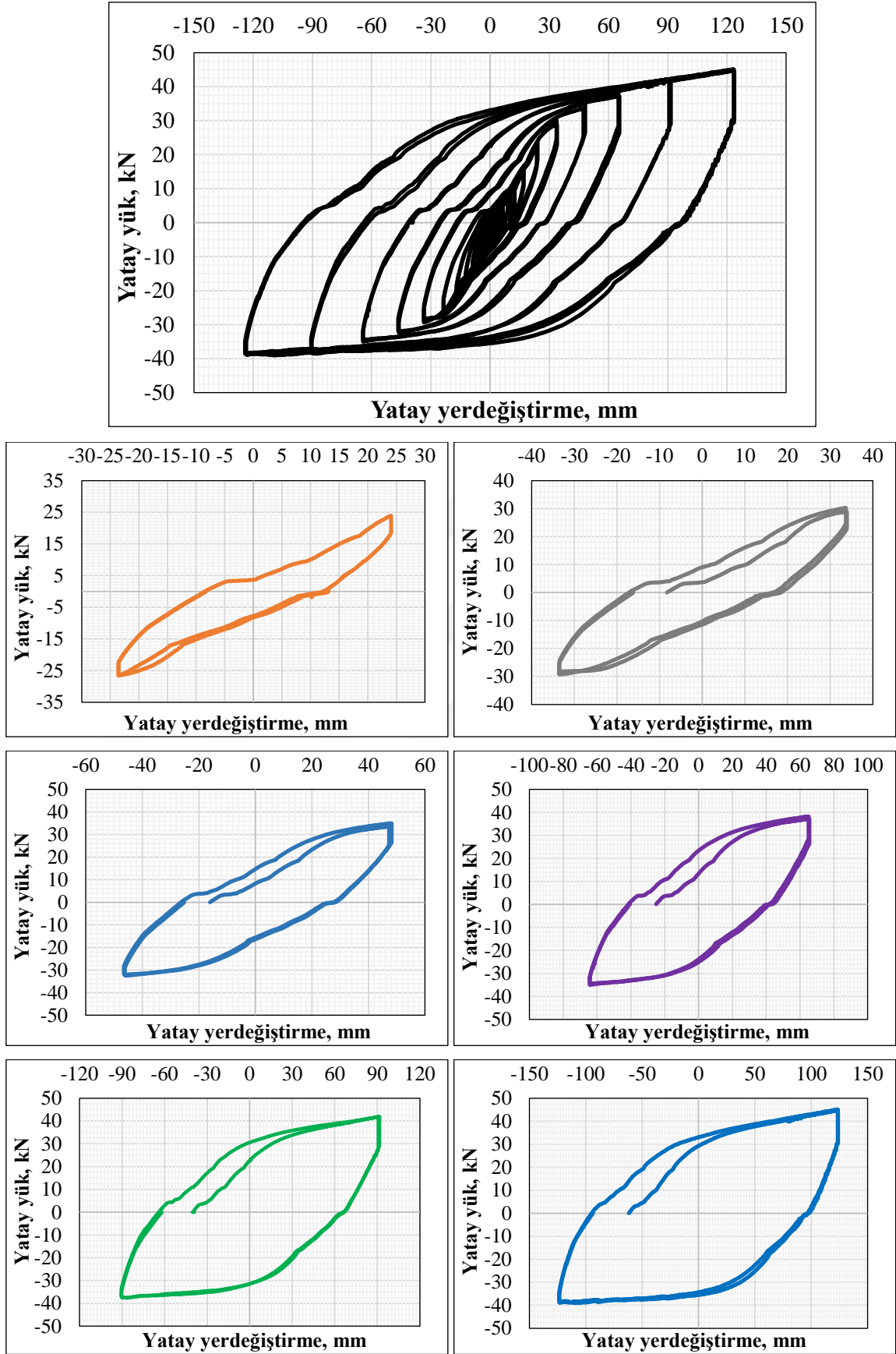


Şekil 3.27. Deney sırasında KKB-G deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları

Tekrarlı yatay yüklemenin altıncı yükleme çevriminde 6.15 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 12.53 kN, çekmede ise 11.89 kN yük değerine ulaşılmıştır. Yedinci çevrimde 8.61 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 14.96 kN, çekmede ise 13.38 kN yük değeri okunmuştur. Bu çevrime kadar yük-yerdeğiştirme eğrisi yaklaşık olarak doğrusal bir şekilde olduğu görülmüştür. Yedinci çevrimden sonra eğrinin eğimi azalmaya başlamış, bu da elastik bölgedeki yüklemenin tamamlandığını ifade edilmektedir. Ayrıca bu çevrimin sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesindeki çatlaklar sadece alt bölgede olup üst gusenin olduğu bölgede herhangi bir çatlak görülmemiştir.

Sekizinci yükleme çevriminde 12.05 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 17.49 kN, çekmede ise 16.83 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda üst gusenin olduğu bölgede yatay çatlaklar gözükümüştür. Dokuzuncu çevrimde 16.87 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 22.33 kN, çekmede ise 21.16 kN yük değerine ulaşılmıştır. Onuncu çevrimde, 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 25.01 kN, çekmede ise 25.18 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan çatlaklar artmaya devam etmiştir. Bu deney elemanındaki çatlaklar KKB-B, KKB-E ve KKB-F deney elemanlarına benzer bir şekilde olup genişliklerinin çok küçük oldukları gözlemlenmiştir. On birinci yükleme çevriminde 33.07 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 30.86 kN, çekmede ise 30.18 kN yatay yük değeri okunmuştur. Yatay yüklemenin on ikinci yükleme çevriminde 46.30 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 34.15 kN, çekmede ise 34.05 kN yük değerine ulaşılmıştır. Yükleme protokolün on üçüncü çevriminde 64.81 mm yatay yerdeğiştirme değerine karşılık, itmede 37.71 kN, çekmede ise 36.21 kN yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrimin sonunda çatlakların oluşması devam etmiştir. Ayrıca yatay yüklemeye değerinin maksimum düzeyinde çelik kırıta eğilmeler belirlenmiştir.

Ondördüncü yükleme çevriminde 90.74 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 40.64 kN, çekmede ise 39.47 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda gusenin bitiş bölgesindeki çelik kiriş başlıklarında lokal burkulamalar ve kirişin tamamında ise yanal burkulma gözlemlenmiştir. On beşinci ve son çevrimde 127.04 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 44.82 kN, çekmede ise 39.47 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimin sonunda üst gusenin sonunda çelik kırıta düşey yönde kırılma oluşmuştur. Bununla birlikte deney sonlandırılmıştır. KKB-G elemanındaki yük değerleri ve kırılma şekli KKB-E elemanına çok benzer ve değer olarak da çok yakındır. Sadece KKB-E elemanında çelik kırıta oluşan kırılma alt gusedeyken KKB-G deney elemanında aynı şekildeki kırılma çelik kirişin üst bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 3.28. KKB-G deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri

KKB-G deney elemanının tekrarlı yatay yükleme deneyi sonunda betonda daha büyük bir alana yayılan çatlakların genişlikleri az olup herhangi bir kırılma, ezilme ve dökülme gibi durumlar oluşmamıştır. KKB-G elemanda oluşan plastik mafsallaşma kolon ve birleşim bölgesinde olmayıp çelik kirişte oluşarak güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisini göstermiştir. İlk önce çelik kiriş başlıklarında lokal burkulmalar oluşmuş daha sonra kiriş yanal burkularak alt guse ile birleştiği bölgeden kırılmıştır. Beton içine gömülen birleşim bölgesinin hasarını daha iyi incelemek için önceki deney elemanlarda olduğu gibi kolon-kiriş birleşim bölgesindeki beton kırılarak temizlenmiştir. Şekil 3.29'dan görüldüğü gibi kolon-kiriş birleşim bölgesinde herhangi bir hasar oluşmamış, hasarın tamamı çelik kirişte oluşmuştur. Ayrıca birleşim bölgesindeki yatay ve düşey bulonlarda herhangi bir gevşeme tespit edilmemiştir.



Şekil 3.29. Deney sonunda KKB-G deney elemanında oluşan hasar durumları

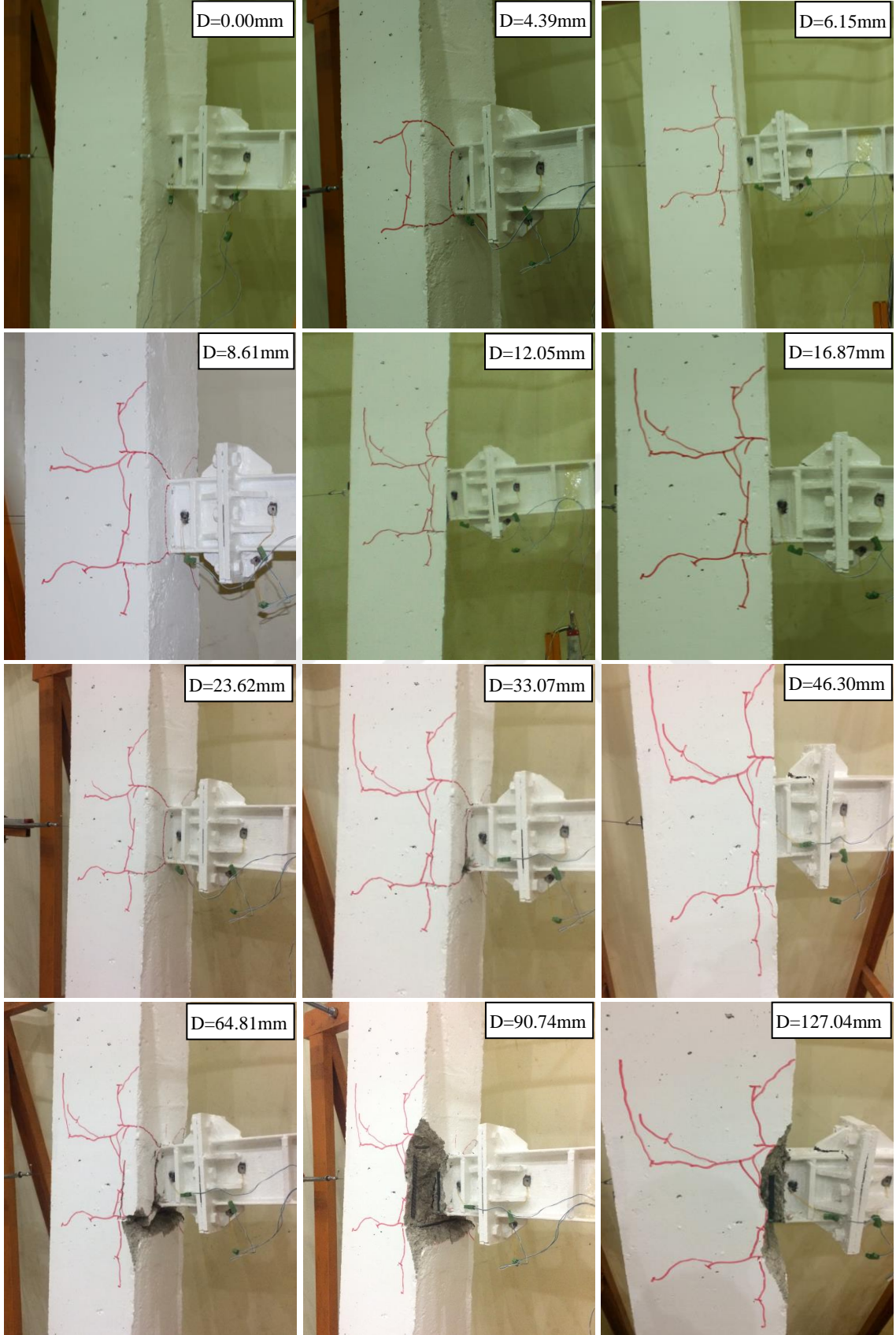
3.2.8. Kompozit Kolon-Rijitleştirilmiş Alın Levhalı Çelik Kiriş Birleşimli Deney Elemanı (KKB-H)

Yükleme protokolüne uygun olarak tekrarlı yatay yük deneyi KKB-H deney elemanı üzerine gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaya ait genel görünüm Şekil 3.30'da ve deney boyunca gömme kompozit kolondaki betonda oluşan çatlakların ilerleme aşamaları Şekil 3.31'de verilmiştir. Ayrıca deney sonunda elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve son altı çevrime ait detaylı eğrileri Şekil 3.32'de sunulmuştur.

Yüklemenin birinci çevriminde 1.28 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.55 kN, çekmede ise 4.42 kN yük değeri okunmuştur. İkinci çevrimde 1.68 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 4.88 kN, çekmede ise 4.96 kN yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde 2.24 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 5.62 kN, çekmede ise 5.19 kN yük değeri okunmuştur. Dördüncü yüklem çevriminde 3.14 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 6.33 kN, çekmede ise 6.16 kN yatay yük değeri kayıt edilmiştir. Dördüncü çevrim sonunda birleşim bölgesindeki betonda kılcal çatlaklar oluşmuştur. Beşinci çevrimde 4.39 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 6.90 kN, çekmede ise 6.68 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Ayrıca beşinci çevrimin sonunda birleşim bölgesindeki çatlak kolon ön yüzüne kadar ulaşmış, yatay ve düşey olarak ilerlemeye devam etmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.30. KKB-H deney elemanın deney sırasındaki bir görünümü

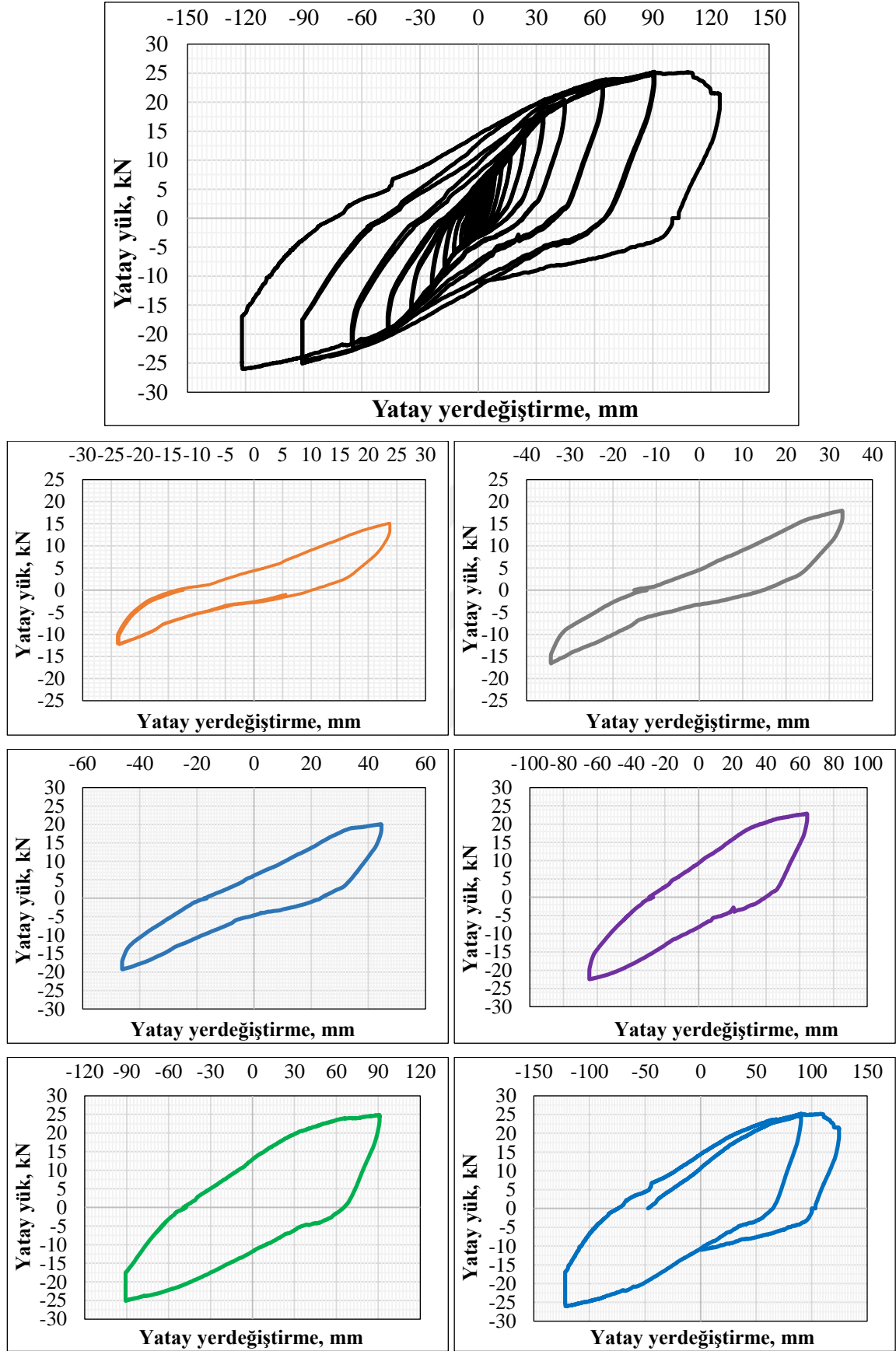


Şekil 3.31. Deney sırasında KKB-H deney elemanında oluşan çatlakların ilerleme aşamaları

KKB-H deney elemanın tekrarlı yatay yük etkisindeki deneyin altıncı yükleme çevriminde 6.15 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 7.67 kN, çekmede ise 7.21 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrime kadar yük yerdeğiştirme eğrisinin eğimi kısmı doğrusal olup bundan sonra eğimde azalma gözükmektedir. Bu da elastik bölgenin tamamlandığını ifade etmektedir. Yedinci yükleme çevriminde 8.61 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 9.53 kN, çekmede ise 9.25 kN yük değeri okunmuştur. Sekizinci yükleme çevriminde 12.05 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 10.14 kN, çekmede ise 9.87 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde gömme kompozit kolon ön yüzeyinde yatay çatlaklar gözükmeye başlanmıştır. Dokuzuncu çevrimde 16.87 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 11.77 kN, çekmede ise 11.34 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde kompozit kolon ön yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluşmaya başlanmıştır. Ayrıca dokuzuncu çevrimin sonunda çelik kiriş-kiriş birleşim bölgesinde kullanılan üçgen levhanın altındaki kaynaklarda çatlak gözlemlenmiştir.

Yüklemenin onuncu çevriminde, 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 14.96 kN, çekmede ise 13.59 kN yük değerine ulaşılmıştır. On birinci yükleme çevrimde 33.07 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 17.91 kN, çekmede ise 16.76 kN yatay yük değeri okunmuştur. On birinci çevrimin sonunda çelik kirişin gövde bölgesine yakın betonda ezilmeler gözle görülür hale gelmiştir. Ayrıca kiriş-kiriş birleşiminde kullanılan alın levhalar arası açılmıştır.

On ikinci yükleme çevriminde 46.30 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık itmede 20.08 kN, çekmede ise 19.28 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrimde çatlakla kolonun arka yüzeyine doğru ilerlemiş ve çelik kiriş ile alın levha arasında kullanılan üçgen levhasının kaynağı kopmuştur. On üçüncü çevrimde 64.81 mm yatay yerdeğiştirme değerine karşılık, itmede 22.07 kN, çekmede ise 21.43 kN yük değeri kayıt edilmiştir. Bu çevrimde çelik kiriş alt bölgesindeki ezilen betonlar dökülmeye başlanmıştır. On dördüncü yükleme çevriminde 90.74 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 25.25 kN, çekmede ise 25.06 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda KKB-H deney elemanı maksimum yük değerine ulaşmış bundan sonraki çevrimlerde yük değeri azalmaya başlamıştır. Çalışma kapsamındaki yükleme protokolün son yükleme çevriminde 127.04 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 21.14 kN, çekmede iste 26.13 kN yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda üstteki üçgen levhası tamamen kopmuş ve Şekil 3.32'den görüldüğü gibi yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi sıfıra yaklaşmakta ve eleman tamamen dayanımını kaybetmiştir.



Şekil 3.32. KKB-H deney elemanına ait yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri

Standart yükleme protokolüne uygun bir şekilde tamamlanan tekrarlı yatay yükleme deneyi sonunda KKB-H deney elemanındaki betonarme bölümde çatlaklar oluşmuş ve birleşim ön yüzeyinde beton parçaları dökülmüştür. Betonları dökülen bölgelerde kompozit kolonun yatay ve düşey donatıları gözükmemektedir. Ancak buradaki kırılma şekli KKB-A ve KKB-D elemanına benzer bir şekilde olup sadece birleşim bölgesine yakın olan tarafta oluşmuştur. Kolonun arka yüzeyinde çatlak dahi oluşmamıştır. Bu da daha önce belirtildiği gibi uygulanan yükün kompozit kolon içindeki çelik profilin arka başlığına tam olarak aktarılmadığını göstermektedir. Kiriş-kiriş birleşiminde kullanılan üçgen güçlendirme levhasının kaynağı kopmuş ve alın levhaları eğilmiştir.

Yük-yerdeğiştirme eğrisinin ani olarak düşmesinin sebebini anlamak için beton içinde kalan kolon- kiriş birleşim bölgesinde hasar oluşup oluşmamasını tespit etmek amacıyla birleşim bölgesinin betonu kırılarak temizlenmiştir. Şekil 3.33'ten görüldüğü gibi beton içinde kalan çelik kiriş ile çelik kolon arasındaki kaynakta alt başlık kısmında kopma meydana gelmiştir. Ayrıca kolon-kiriş birleşimindeki kaynak, alt kısımda kopmuş ve çelik kiriş diyagonal olarak çatlamıştır. Kompozit kolon boyuna ve enine donatılarında herhangi bir hasar oluşmamış ve kiriş-kiriş birleşiminde kullanılan bulonlarda az miktarda gevşeme tespit edilmiştir.



Şekil 3.33. Deney sonunda KKB-H deney elemanında oluşan hasar durumları

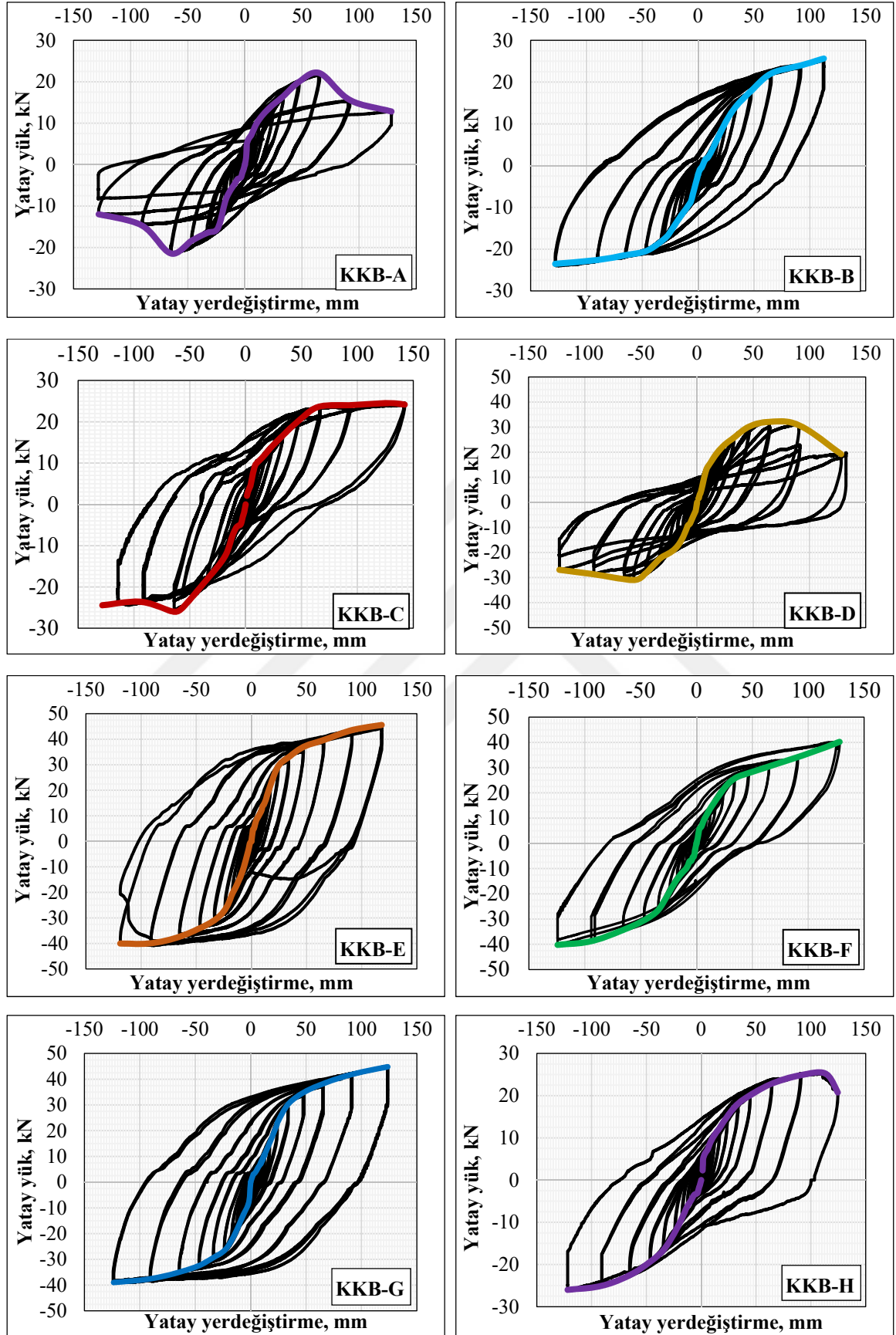
3.3. Deneysel Bulguların Karşılaştırmalı Olarak İrdelenmesi

3.3.1. Yük Taşıma Kapasiteleri

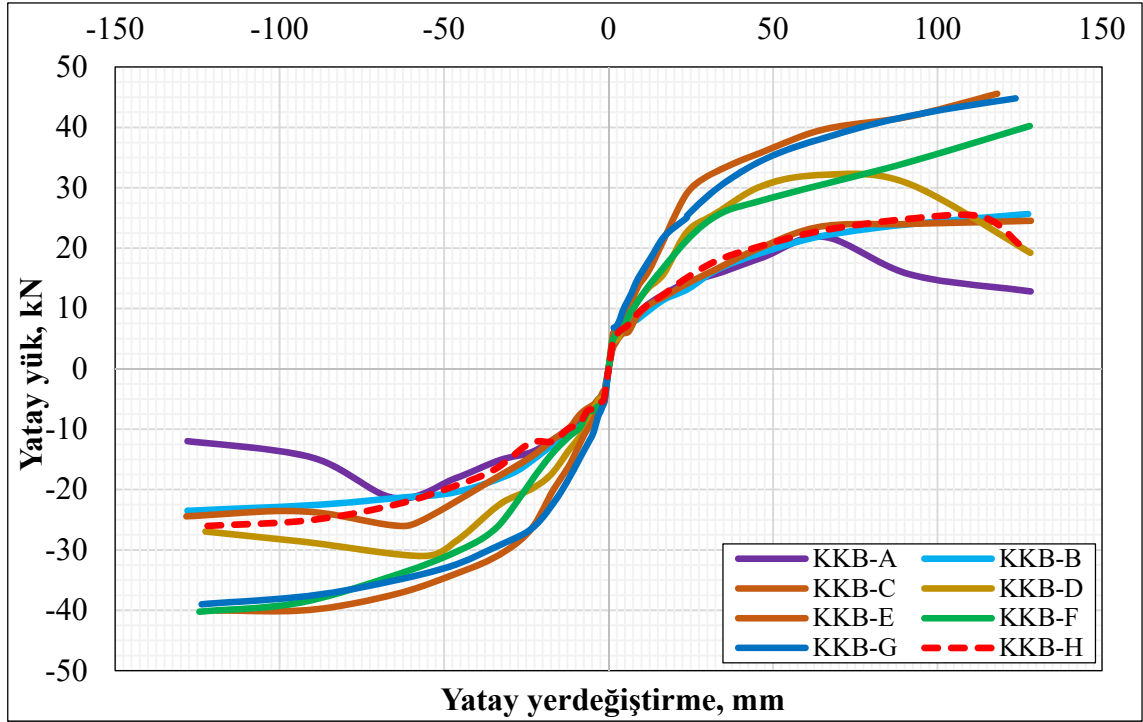
Çalışma kapsamında incelenen sekiz adet kompozit kolon-çelik kiriş birleşimli deney elemanlarının, tekrarlı yatay yük etkisinde deneysel olarak elde edilen dayanım zarfı eğrileri Şekil 3.34'te, karşılaştırmalı olarak ise Şekil 3.35 ve değerleri ise Tablo 3.1'de verilmiştir.

Dayanım zarfı eğrileri incelendiğinde KKB-A, KKB-D ve KKB-H deney elemanlarında yük taşıma kapasitesi maksimum düzeye ulaştıktan sonra, yük-yerdeğiştirme eğrisinde ani azalmalar görülmektedir. Bu azalmaların ana sebebi, söz konusu deney elemanlarında birleşim bölgesi kırılması olduğundan, deney elemanları dayanımını ani olarak kaybetmiştir. KKB-A elemanın deney sırasında ulaştığı maksimum yük değeri itmede 21.87 kN, çekmede 21.42 kN olduğu belirlenmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda, daha önce belirtildiği gibi KKB-A ve KKB-D elemanlarında alın levhaları eğilmiş ve bazı bölgelerde kaynaklar kopmuştur. KKB-H elemanında ise, beton içinde kalan kiriş diyagonal olarak çatlamış ve başlığın alt bölgesindeki kaynaқта kopmanın olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında tasarlanan geçmeli kiriş birleşim detayına sahip olan KKB-B ve KKB-C elemanlarının taşıdığı maksimum yük değerleri sırasıyla itmede 25.64 kN, 24.53 kN, çekmede ise 23.85 kN ve 25.61 kN olarak hesaplanmıştır. Buna göre geçmeli kirişli olarak tasarlanan birleşime sahip deney elemanlarının, KKB-A elemanından kaynaklı olması durumunda % 17, bulonlu olmasında ise % 13 oranında daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir. Kolon-kiriş birleşim bölgesi geçmeli kirişli ve kiriş birleşimi kaynaklı olan KKB-B elemanı, itmede bulon yardımıyla birleşen KKB-C elemanından % 4 oranında daha yüksek yük taşısa da, çekmede % 8 oranında daha düşük bir yük taşıma kapasitesine sahiptir. Tekrarlı yatay yükleme deneyi sonunda, her iki elemanın birleşim bölgesinde kırılma oluşmamış, çelik kiriş yanal burkularak plastik mafsal kirişte oluşmuştur. Bu durumda çalışmada tasarlanan geçmeli kirişli birleşim detayları, güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisini göstermekte ve depreme dayanıklı yapıların tasarımında kullanılabilir.



Şekil 3.34. Deney elemanların yatay yük-yatay yerdeğiştirme ile dayanım zarfı eğrileri



Şekil 3.35. Deney elemanlarının karşılaştırılmalı dayanım zarfı eğrileri

KKB-H deney elemanın maksimum taşıdığı yük itmede 25.25 kN, çekmede 26.13 kN olarak elde edilmiştir. Bu deney elemanı KKB-A elemanı ile karşılaştırıldığında % 20 oranında daha fazla yük taşımaktadır. KKB-B ve KKB-C elemanı ile karşılaştırıldığında ise taşıdığı yük itmede % 1, çekmede ise % 9 oranında fazla olsa da, deney sonunda birleşim bölgesinde bulunan kirişte kırılma ve kaynaklarda kopmalar oluşmuştur. Dolayısıyla KKB-H deney elemanında, birleşim bölgesi kırılması oluşmuş ve güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisi oluşamamıştır.

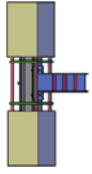
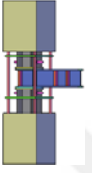
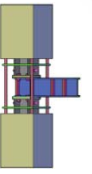
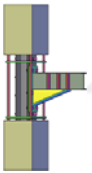
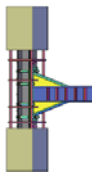
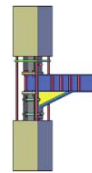
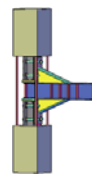
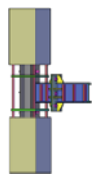
KKB-A elemanın kolon-kiriş birleşim bölgesi, alttan bir guse ile güçlendirilerek oluşturulan KKB-D elemanının tekrarlı yatay yükleme deneyi sonunda, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi itmede 32.10 kN, çekmede ise 31.28 kN olarak elde edilmiştir. Bu durumda güçlendirme gusesi, elemanın yük taşıma kapasitesini itme ve çekmede % 46 oranında artırmıştır.

Kolon-kiriş birleşim bölgesi çift guse ile güçlendirilen KKB-E elemanın çevrimsel yük etkisinde, maksimum yük seviyesi itmede 45.57 kN, çekmede 40.14 kN olarak elde edilmiştir. Geçmeli kirişli kolon-kiriş birleşim bölgesine sahip çift guseli deney elemanı olan KKB-G, aynı yükleme durumunda maksimum yük taşıma kapasitesi itmede 44.82 kN, çekmede 40.47 kN olarak hesaplanmıştır. Bu iki deney elemanın yük taşıma

kapasiteleri arasındaki fark itmede % 1 iken çekmede % 0.8 olarak hesaplanmıştır. Her iki deney elemanındaki bağlantılarda uzun bulon kullanılmıştır. Ayrıca tekrarlı yatay yükleme deneyinde, ilk etapta kirişler yanal burkulmuş ve daha sonra gusenin bitiş bölgesinde kiriş kırılmıştır. Dolayısıyla çift guseli olan KKB-E ve KKB-G deney elemanları güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisini göstermiştir.

KKB-C elemanın kolon-kiriş birleşim bölgesi alttan çelik guse ile güçlendirilerek oluşturulan KKB-F deney elemanın maksimum yük taşıma kapasitesi itmede 40.67 kN, çekmede 40.23 kN olarak elde edilmiştir. Burada yük taşıma kapasitesi KKB-C elemanına göre itmede % 65, çekmede ise % 56 oranında artmıştır. Ancak KKB-D elemanında tek guse ile bu oran % 46 iken, KKB-F elemanında % 56-65'e kadar çıkmasının sebebi ise; KKB-F elemanın kolon-kiriş bağlantılarında uzun bulon kullanılması olduğu düşünülmektedir. Tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulan KKB-F elemanının kirişi, yanal burkularak mafsallaşmıştır. Dolayısıyla depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerinden olan güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisini göstermiştir.

Tablo 3.1. Deney sonuçların maksimum yük ve maksimum yerdeğiştirme değerleri

Birleşim bölgesi 3D çizimi	Kısaltma	Maksimum yük				Maksimum Yerdeğiştirme			
		İtme (+)		Çekme (-)		İtme(+)		Çekme(-)	
		P mak (kN)	Δ (mm)	P mak (kN)	Δ (mm)	P mak (kN)	Δ (mm)	P mak (kN)	Δ (mm)
	KKB-A	21.87	64.81	21.42	64.81	12.82	127.04	11.98	127.04
	KKB-B	25.64	127.04	23.85	127.04	25.64	127.04	23.85	127.04
	KKB-C	24.53	127.04	25.61	64.81	24.53	127.04	24.15	127.04
	KKB-D	32.10	64.81	31.28	64.81	19.22	127.04	26.94	127.04
	KKB-E	45.57	127.04	40.14	127.04	45.57	127.04	40.14	127.04
	KKB-F	40.67	127.04	40.23	127.04	40.67	127.04	40.23	127.04
	KKB-G	44.82	127.04	40.47	127.04	44.82	127.04	40.47	127.04
	KKB-H	25.25	90.74	26.13	127.04	21.14	127.04	26.13	127.04

3.3.2. Rijitliklerin Değerlendirmesi

Tekrarlı yatay yük etkisindeki deney elemanların rijitlik değişimlerinin değerlendirilmesi için her bir deney elemanın rijitlik-yatay yerdeğiştirme eğrileri elde edilerek Şekil 3.36'da ve karşılaştırmalı olarak Şekil 3.37'de verilmiştir.

KKB-A elemanın sırasıyla başlangıç ve çevrimsel deney sonu bitiş rijitliği itmede 2.97 kN/mm, 0.093 kN/mm, çekmede 2.91 kN/mm, 0.098 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre KKB-A elemanı rijitliğini itmede % 96.86 oranında kaybederken çekmede bu oran % 96.55 olarak hesaplanmıştır.

KKB-B elemanın sırasıyla başlangıç ve çevrimsel deney sonu bitiş rijitliği itmede 3.28 kN/mm, 0.18 kN/mm, çekmede 3.26 kN/mm, 0.20 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre KKB-B elemanı rijitliğini itmede % 94.40 oranında kaybederken çekmede bu oran % 93.83 olarak hesaplanmıştır.

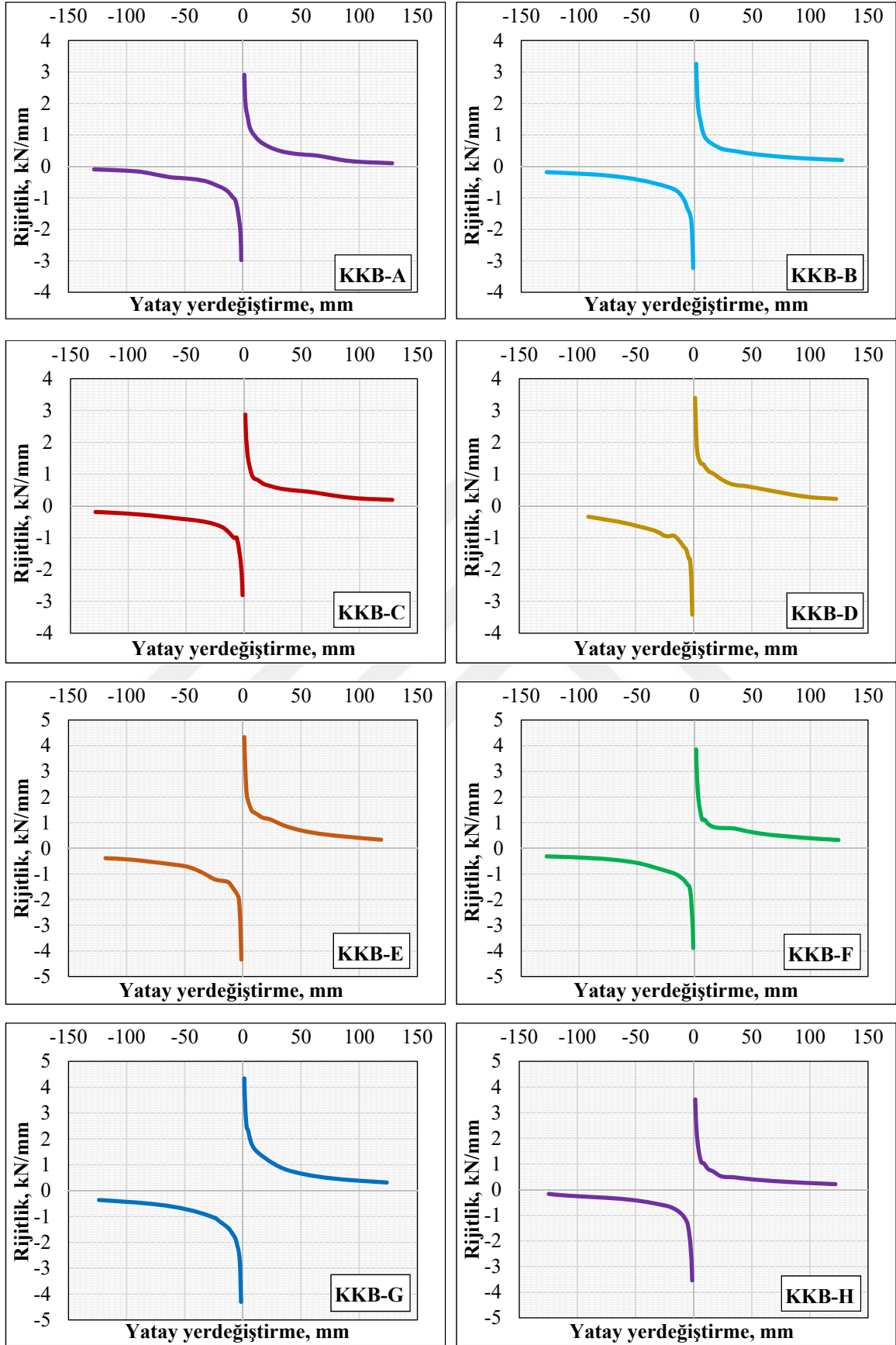
KKB-C elemanın sırasıyla başlangıç ve çevrimsel deney sonu bitiş rijitliği itmede 2.81 kN/mm, 0.19 kN/mm, çekmede 2.87 kN/mm, 0.190 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre KKB-C elemanı rijitliğini itmede % 93.19 oranında kaybederken çekmede bu oran % 93.36 olarak hesaplanmıştır.

KKB-D elemanın sırasıyla başlangıç ve çevrimsel deney sonu bitiş rijitliği itmede 3.42 kN/mm, 0.34 kN/mm, çekmede 3.39 kN/mm, 0.22 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre KKB-D elemanı rijitliğini itmede % 90.05 oranında kaybederken çekmede bu oran % 93.52 olarak hesaplanmıştır.

KKB-E elemanın sırasıyla başlangıç ve çevrimsel deney sonu bitiş rijitliği itmede 4.33 kN/mm, 0.39 kN/mm, çekmede 4.35 kN/mm, 0.35 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre KKB-E elemanı rijitliğini itmede % 91.11 oranında kaybederken çekmede bu oran % 92.23 olarak hesaplanmıştır.

KKB-F elemanın sırasıyla başlangıç ve çevrimsel deney sonu bitiş rijitliği itmede 3.88 kN/mm, 0.31 kN/mm, çekmede 3.85 kN/mm, 0.32 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre KKB-F elemanı rijitliğini itmede % 91.90 oranında kaybederken çekmede bu oran % 91.60 olarak hesaplanmıştır.

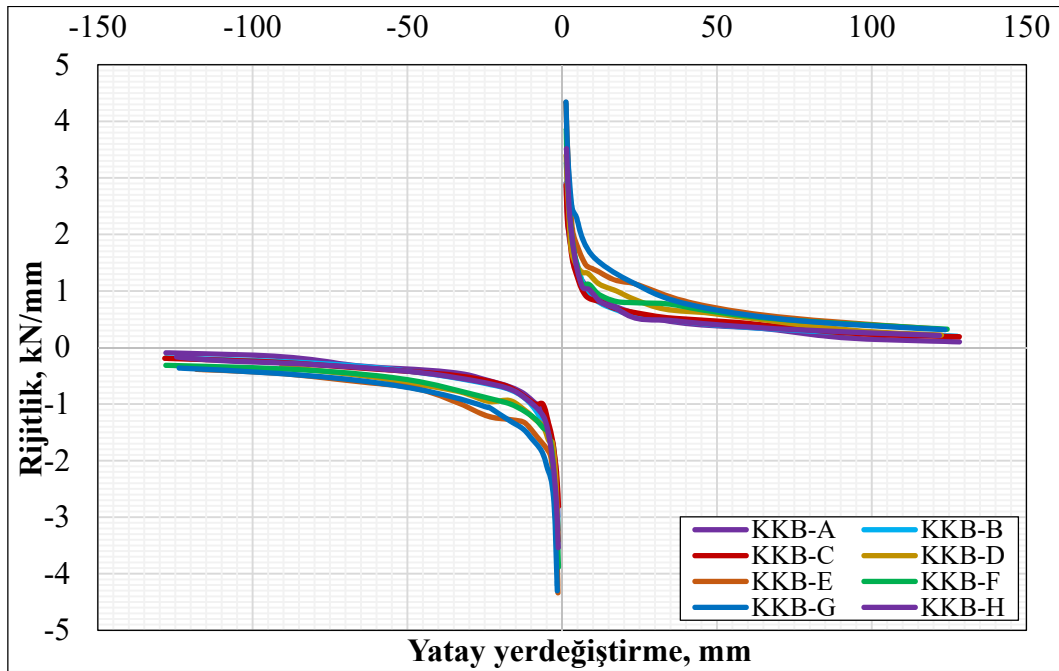
KKB-G elemanın sırasıyla başlangıç ve çevrimsel deney sonu bitiş rijitliği itmede 4.31 kN/mm, 0.37 kN/mm, çekmede 4.34 kN/mm, 0.32 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre KKB-G elemanı rijitliğini itmede % 91,58 oranında kaybederken çekmede bu oran % 92.74 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.36. Deney elemanların rijitlik-yerdeğiştirme eğrileri

KKB-H elemanın sırasıyla başlangıç ve çevrimsel deney sonu bitiş rijitliği itmede 3.53 kN/mm, 0.17 kN/mm, çekmede 3.514 kN/mm, 0.22 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre KKB-H elemanı rijitliğini itmede % 95.29 oranında kaybederken çekmede bu oran % 93.93 olarak hesaplanmıştır.

Rijitlik değerinde oluşan azalmalar incelendiğinde, en büyük azalma KKB-A deney elemanında olup % 96.85, ikinci olarak ise KKB-H elemanında % 95.29 olarak hesaplanmıştır. Bunun sebebi ise; KKB-A ve KKB-H elemanlarında birleşim bölgesi göçmesinden kaynaklanmıştır. Minimum rijitlik kaybı KKB-D elemanında, itmede % 90.05 olarak hesaplanmış olsa da, guseli birleşimlerde başlangıç rijitlik değeri en düşük olduğundan bu oran KKB-E, KKB-F ve KKB-G elemanlarından daha azdır. KKB-B ve KKB-C elemanlarındaki rijitlik azalma farkı % 1.22 olarak hesaplanmıştır. KKB-B elemanı kaynaklı olduğundan, başlangıç rijitliğinin daha fazla olduğu ayrıca yapılan deneysel çalışmadaki gözlemlerde çelik kiriş yanal burkulmasının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Çift guseli olan KKB-E ve KKB-G elemanların başlangıç rijitlikleri karşılaştırıldığında aralarındaki fark % 0.69 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla geçmeli kiriş ve normal kiriş bağlantı arasında rijitlik açısından büyük bir fark oluşmamıştır. Tek guseli olan KKB-D ile KKB-F elemanları karşılaştırıldığında ise, KKB-F deney elemanın başlangıç rijitliği KKB-D'den % 13 oranından daha fazla olduğu bulunmuştur.



Şekil 3.37. Deneysel elemanların karşılaştırılmalı rijitlik-yerdeğiştirme eğrileri

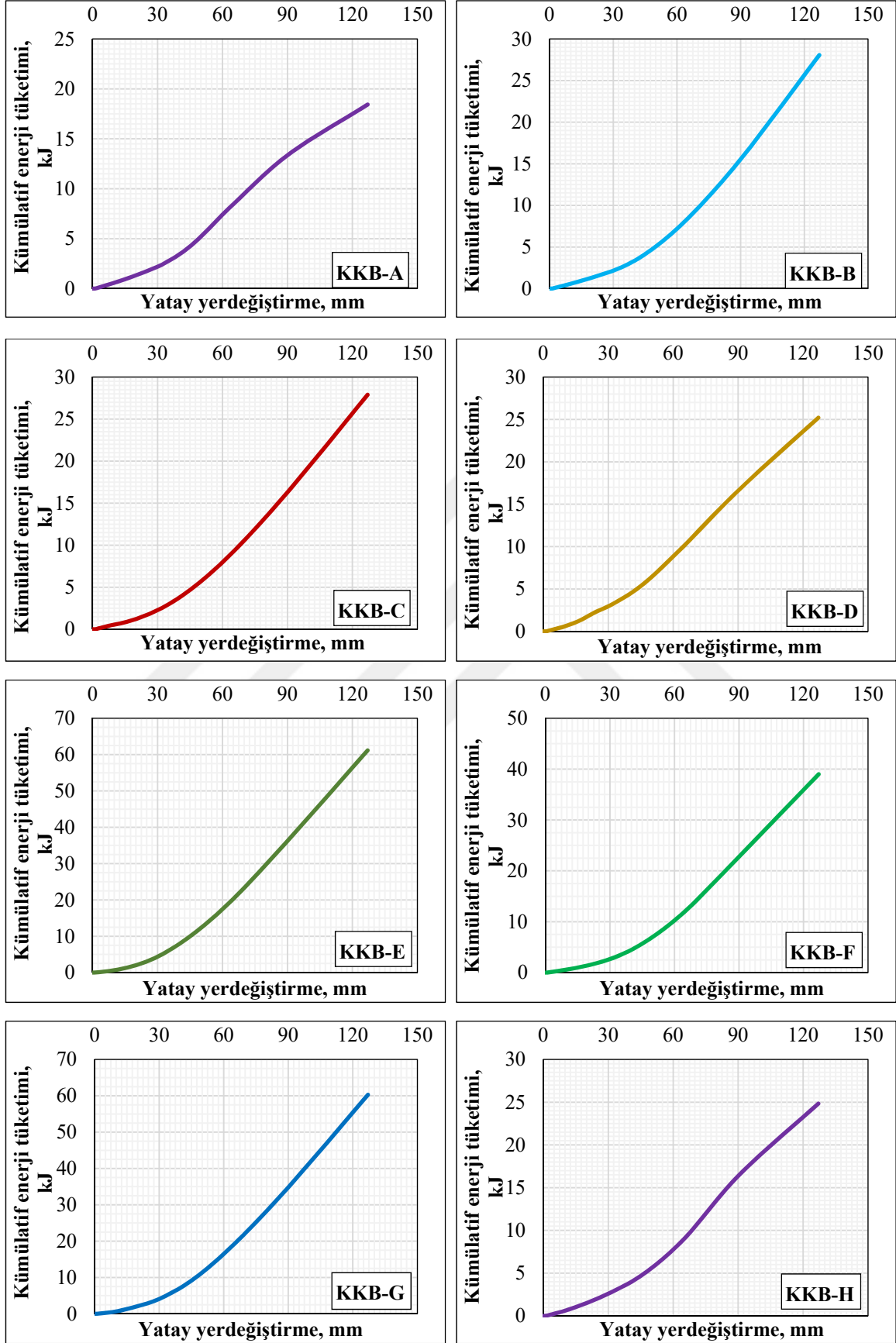
3.3.3. Enerji Tüketme Kapasitelerinin Değerlendirilmesi

İncelenen sekiz farklı kolon-kiriş birleşim detayına sahip deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri hesaplanırken, yatay yük-yatay yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanın toplamı olarak hesaplanmıştır. Deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri karşılaştırmak amacıyla, çalışmada belirlenen standart yükleme protokolüne göre tüm çevrimlerde tükettikleri enerjiler dikkate alınmıştır. Tekrarlı yatay yüklemenin her bir çevriminde tüketilen enerji miktarları kümülatif toplanarak, deney boyunca toplam tüketilen enerji miktarı elde edilmiştir. Deney elemanları için elde edilen kümülatif enerji tüketimi-yerdeğiştirme eğrileri Şekil 3.38’de, tüm elemanların karşılaştırmalı olarak kümülatif enerji tüketimi-yerdeğiştirme eğrileri ise Şekil 3.39’da verilmiştir.

Çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan alın levhalı birleşim detayına sahip KKB-A elemanı deney boyunca 18.48 kJ enerji tüketmiştir. Çalışmada geliştirilen geçmeli kirişli KKB-B ve KKB-C elemanların tükettiği enerji miktarı sırasıyla 28.06 kJ ve 27.90 kJ olarak hesaplanmıştır. Buna göre, geçmeli kirişli kolon-kiriş birleşime sahip deney elemanları alın levhalı birleşime göre, kaynaklı olması durumunda % 52, bulonlu olmasında ise % 50 oranında daha yüksek enerji tüketme kabiliyetine sahip olduğu görülmüştür.

Tek guse ile birleşimi oluşturulan KKB-D ve KKB-F deney elemanların, tekrarlı yatay yükleme deneyi boyunca tükettikleri toplam enerji miktarı sırasıyla 25.21 kJ ve 39.01 kJ olarak elde edilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi KKB-F elemanında KKB-D elemanından % 54 oranında daha yüksek enerji tüketme kabiliyeti bulunmaktadır. Bunun sebebi olarak, KKB-F elemanın birleşim bölgesinde, kirişin geçmeli ve bağlantıda kullanılan bulonların uzun olması olarak yorumlanabilmektedir.

Çift guse ile güçlendirilmiş kolon kiriş birleşim bölgesine sahip KKB-E elemanı deney boyunca 61.17 kJ enerji tüketmişken geçmeli kirişe sahip çift guseli diğer deney elemanı olan KKB-G’nin tükettiği enerji miktarı 60.28 kJ olarak hesaplanmıştır. KKB-G elemanın tükettiği enerji miktarı KKB-E elemanından %1 oranından daha yüksek olmaktadır. Bu oran deney düzeneğinde üç hareketli mafsal olup belli boşlukların olduğu sistemler için çok küçük bir fark olarak nitelendirilebilmektedir. Buradan yola çıkarak tek guseli olan KKB-F elemanın tükettiği enerji KKB-D elemanından % 54 oranında yüksek olduğu hesaplanmıştır. Dolayısıyla bulonlu birleşimlerde uzun bulon kullanılması durumunda, gelen yük kolon-kiriş birleşimin tamamına yayıldığı için tükettiği enerji miktarında artış beklenmekte ve bu artış %50 oranına kadar yükselebilmektedir.

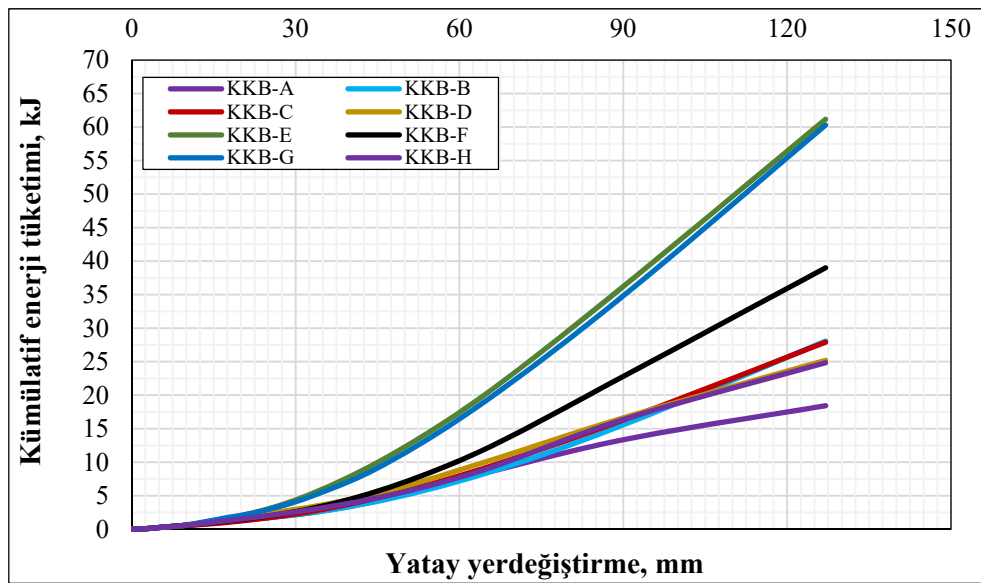


Şekil 3.38. Deney elemanlarının enerji tüketimi-yerdeğiştirme eğrileri

KKB-A deney elemanın tükettiği enerji 18.48 kJ, aynı birleşim bölgesine alttan bir guse eklenerek oluşturulan KKB-D elemanın tükettiği enerji % 36 oranında daha fazla olup 25.21 kJ olarak hesaplanmıştır. KKB-D elemanı üst bölgeden bir guse ile güçlendirilerek KKB-E birleşim detayını oluşturmuş ve tükettiği toplam enerji miktarı 61.17 kJ olarak elde edilmiştir. Bu da tek guseli birleşimli elemanından % 42 oranından daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Geçmeli kirişli birleşime sahip KKB-C elemanın tükettiği toplam enerji miktarı 27.90 kJ iken alttan guse ile birleşim bölgesi güçlendirilerek oluşturulan KKB-F elemanın tükettiği enerji miktarı 39.01 kJ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda tek guse, birleşim bölgesinin enerji tüketme kabiliyetini %39 oranında yükseltmektedir. Aynı birleşim detayı üst bölgeden de çelik bir guse ile güçlendirilerek oluşturulan KKB-G elemanın toplam tükettiği enerji miktarı 60.28 kJ olarak elde edilmiştir. Bu durumda çift guseli birleşim tek guseli birleşimden %54 oranında daha yüksek enerji tüketme kabiliyetine sahiptir. Yapılan bu karşılaştırmalardan sonuç olarak; kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgesi her bir guse ile güçlendirildiğinde enerji tüketme kapasitesi %30-54 arasında artmaktadır.

KKB-H deney elemanın tükettiği enerji miktarı 24.84 kJ olarak elde edilmiştir. Bu da gusesiz olan KKB-A elemanından % 34 oranında yüksekken, KKB-B ve KKB-C elemanlarından % 11 oranında daha düşük olmaktadır. Dolayısıyla gusesiz elemanlarda çalışma kapsamında geliştirilen geçmeli kirişli birleşim detayı, hem bulonlu hem de kaynaklı olarak daha fazla enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.39. Deney elemanlarının karşılaştırılmalı enerji-yerdeğiştirme eğrileri

3.4. Deneysel ve Sayısal Bulguların Karşılaştırmalı Olarak İrdelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde incelenen sekiz farklı kolon-kiriş birleşim detayına sahip deney elemanların ABAQUS programı yardımıyla yapılan sonlu elemanlar analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Her bir deney elemanının üç boyutlu sonlu elemanlar analizine ait modelleme detayı, sınır şartları, seçilen malzeme ve kullanılan eleman tipleri ile ilgili detay bölüm 2.9'da verilmiştir.

3.4.1. Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Geleneksel Alın Levhali Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-A)

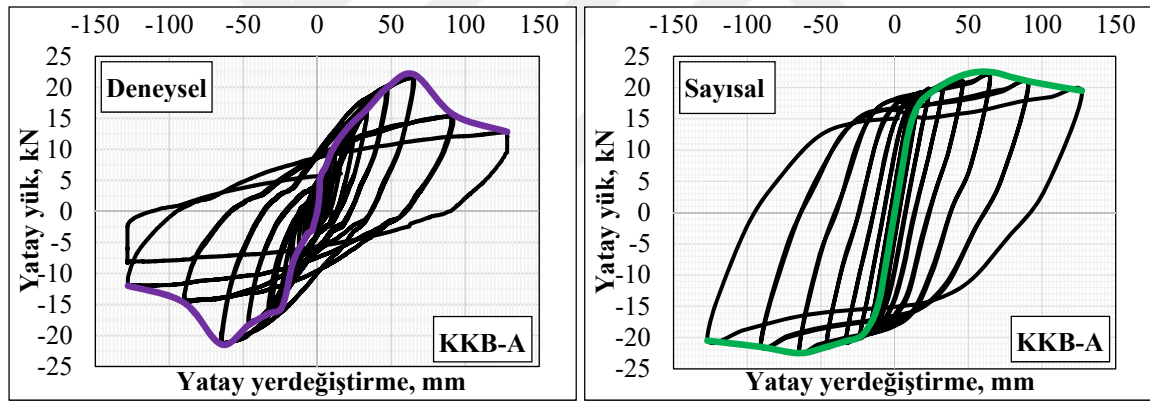
Deneysel çalışmada belirlenen yükleme protokolüne uygun olarak KKB-A deney elemanının sonlu elemanlar modeli üzerine doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi deneysel eğriler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3.40'ta verilmiştir. Şekil 3.40'ta görüldüğü gibi yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri birbirlerine benzemektedir. Ancak sayısal olarak elde edilen yük- yerdeğiştirme eğrilerin dönüş bölgeleri biraz daha geniş olduğu görülmüştür. Değerler arasındaki fark ise, deney düzeneğinde bulunan boşluklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sayısal çalışmada, KKB-A elemanına ait modelin tekrarlı yatay yüklemenin onuncu çevriminde oluşan 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık gelen itmede 17.14 kN, çekmede 18.07 kN hesaplanırken, aynı yükleme adımında deneysel olarak itmede 16.27 kN, çekmede 16.89 kN yük değeri elde edilmiştir. Buna göre onuncu yükleme çevriminde, sayısal yük değerlerinde deneyselden itmede % 5, çekmede ise % 7 civarında fark oluşmaktadır. KKB-A elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine, yüklemenin on üçüncü çevriminde 64.81 mm yatay yerdeğiştirmede ulaştığı görülmektedir. Yüklemenin on üçüncü çevriminde, yük seviyesi itmede 22.19 kN, çekmede 22.18 kN olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen yük değerleri itmede 21.87 kN, çekmede 21.42 kN olarak bulunmuştur. Deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında itmede % 1.50, çekmede ise % 3.5 oranında fark olduğu görülmektedir. Karşılaştırmada oluşan fark değerlendirildiğinde çok fazla detay ve temas yüzeyine sahip olan bir birleşimde, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan doğrusal olmayan analizler için, oluşan farkın küçük değer olduğu kabul edilmektedir. Yüklemenin son çevriminde 127.04 mm yatay yerdeğiştirmede sayısal ve deneysel olarak sırasıyla elde edilen yük değerleri itmede, 19.56 kN, 12.82 kN, çekmede ise 20.33 kN ve 11.98 kN olarak hesaplanmıştır. Maksimum yerdeğiştirmede sayısal ve deneysel yük değerlerindeki fark itmede % 52, çekmede ise % 69 olarak hesaplanmıştır. Buradaki farkın büyük olmasının sebebi ise, deneysel çalışmada kaynakta oluşan kopma ve alın levhasındaki eğilmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak sayısal modelde elemanlar tam bağlı olduğu için, kaynakta kopma

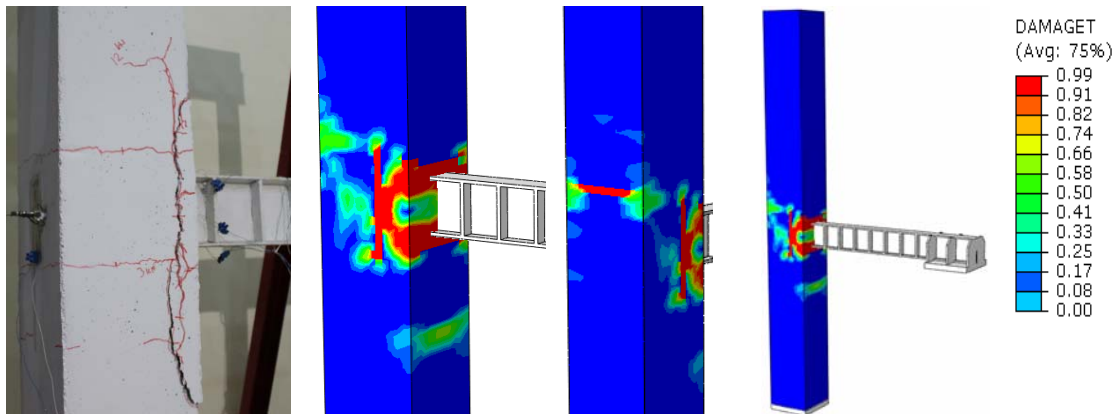
oluşmamış ve alın levhasındaki eğilme miktarı da çok küçük olmasından dolayı, maksimum yerdeğiştirme ve yük taşıma kapasitesi deneysel göre daha fazla olmaktadır

KKB-A deney elemanına ait doğrusal olmayan analiz sonucu, sonlu eleman modelinde oluşan çatlaklar deneysel çalışmaya benzer bir şekilde oluşmuştur. Şekil 3.41'den görüldüğü gibi sayısal çalışmadaki çatlaklar da birleşim ön yüzeyinde yoğun olarak oluşmuş ve birleşim arka yüzeyinde çok sayıda çatlak oluşmamıştır. Analiz sonunda KKB-A elemanında oluşan plastik şekildeğiştirme ve hasar durumları Şekil 3.42'de verilmiştir. Şekil 3.42'de görüldüğü gibi deneysel çalışmaya benzer bir şekilde, kirişte yanal burkulma veya eğilme oluşmamıştır.

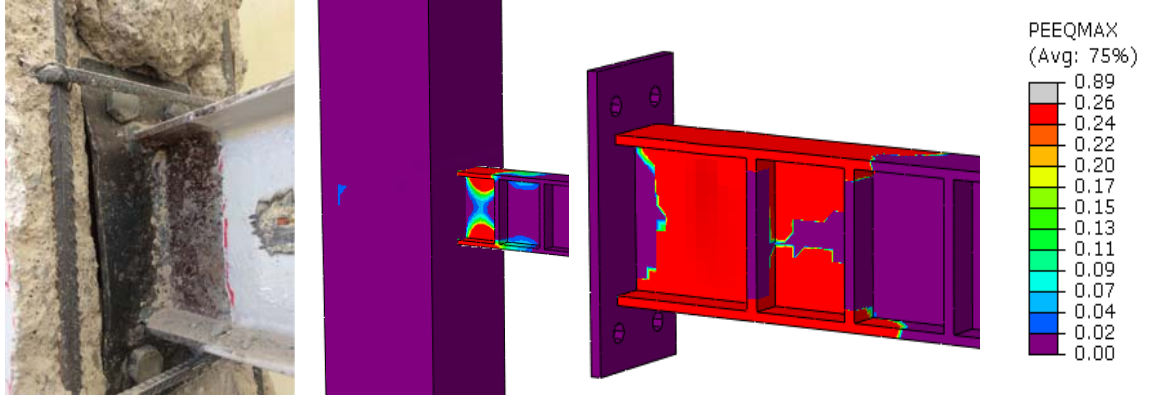
Deneysel ve sayısal sonuçlar birbirine oldukça yakın olmasından dolayı, deneysel olarak elde edilemeyen sonuçlara, sayısal olarak incelenerek bir yaklaşım sağlanabilmektedir. Tekrarlı yatay yükleme deneyin sonunda, KKB-A elemanında oluşan gerilme dağılımları deneysel olarak elde edilememiştir. Ancak sayısal olarak analiz sonucu KKB-A elemanında oluşan gerilme dağılımları Şekil 3.43'te sunulmuştur. Şekil 3.43'te görüldüğü gibi maksimum gerilme kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşmuş ve değeri 461.19 MPa olarak hesaplanmıştır.



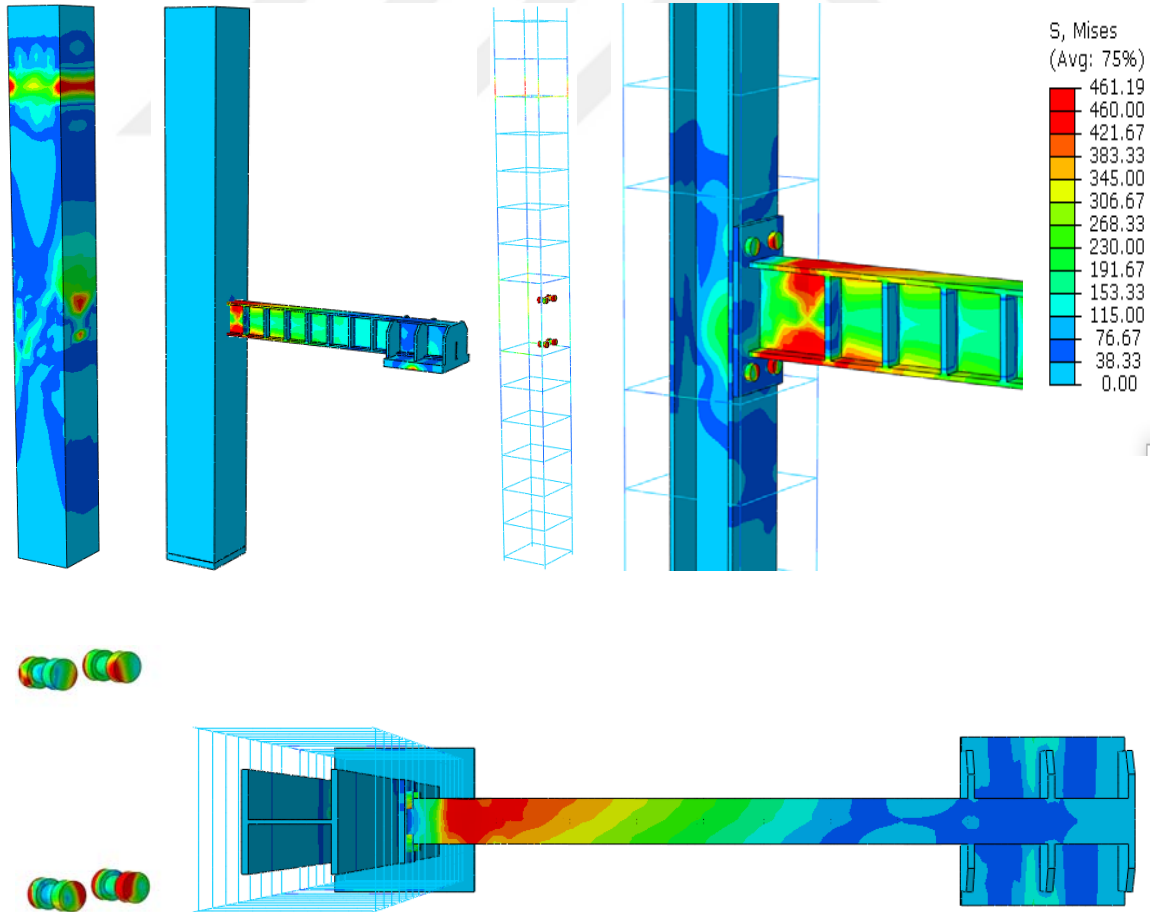
Şekil 3.40. KKB-A elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri



Şekil 3.41. KKB-A elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar



Şekil 3.42. KKB-A elemanında oluşan plastik şekildeğişimler



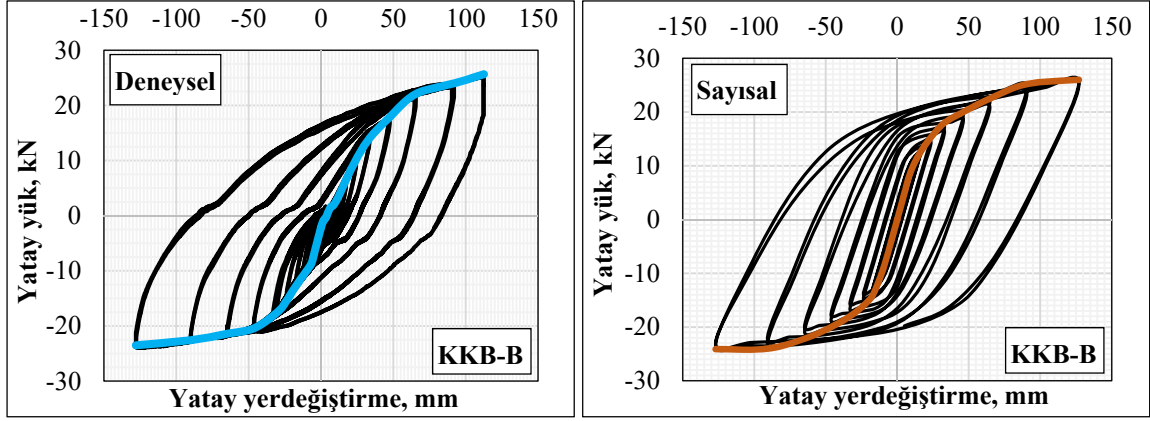
Şekil 3.43. KKB-A elemanın oluşan gerilme dağılımı (MPa)

3.4.2. Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Kaynaklı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-B)

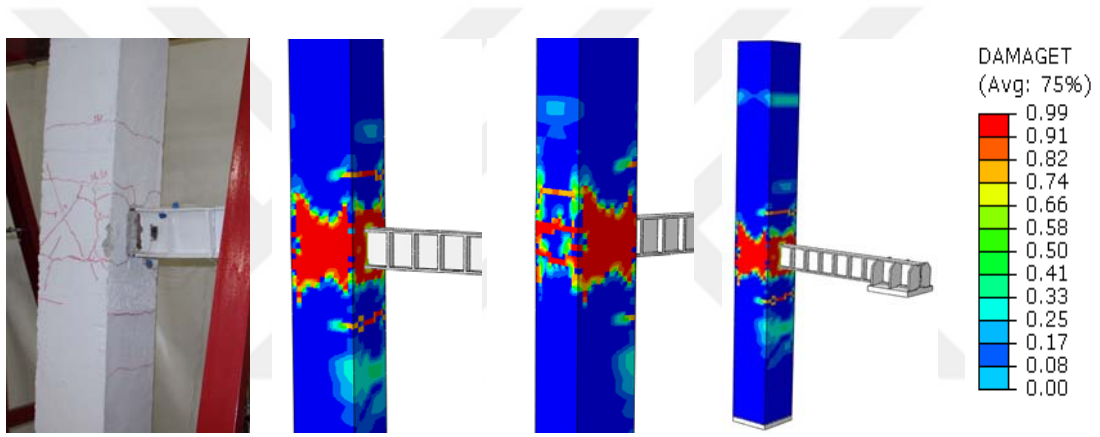
Deneysel çalışmada belirlenen yükleme protokolüne uygun olarak KKB-B deney elemanın sonlu elemanlar modeli üzerine doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen, yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi deneysel eğriler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3.44'te verilmiştir. Şekil 3.44'ten görüldüğü gibi yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri benzerlik göstermektedir. Ancak sayısal olarak elde edilen yük- yerdeğiştirme eğrilerin dönüş bölgeleri biraz daha geniş alana sahip olduğu görülmüştür. Deneysel ve sayısal veriler arasında oluşan farkın deney düzeneğinde bulunan boşluklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sayısal olarak KKB-B elemanın tekrarlı yatay yüklemenin onuncu çevriminde oluşan 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık gelen itmede 16.01 kN, çekmede 15.80 kN hesaplanırken aynı yükleme adımında, deneysel olarak itmede 16.48 kN, çekmede 16.05 kN olarak elde edilmiştir. Buna göre onuncu yükleme çevriminde deneysel yük değerlerinde sayısal çözümlemede itmede % 3, çekmede ise % 1.5 civarında fark oluşmaktadır. KKB-B elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine, yüklemenin onuncu çevriminde 127.04 mm yatay yerdeğiştirmede ulaşmıştır. Ayrıca bu değer KKB-B elemanı için maksimum yerdeğiştirme değeri olup, yük seviyesi itmede 25.19 kN, çekmede 24.12 kN olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen yük değerleri itmede 25.64 kN, çekmede 25.61 kN olarak bulunmuştur. Deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında itmede % 1.70, çekmede ise % 6.1 oranında fark bulunmaktadır. Karşılaştırmada oluşan fark değerlendirildiğinde çok fazla detay ve temas yüzeyine sahip olan bir birleşimde, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan doğrusal olmayan analizler için, oluşan farkın küçük değer olduğu kabul edilmektedir. Şekil 3.44'ten görüldüğü gibi yüklemenin bitiminde, KKB-B elemanında çelik kiriş yanal burkulma da hala yük taşımaya devam etmektedir. Tekrarlı yatay yükleme etkisinde çözümlenmesi yapılmış olan KKB-B elemanında oluşan çatlaklar, deneysel çalışmaya benzer bir şekilde birleşim ön yüzeyi, birleşim arka yüzeyi, kolon ön yüzeyi ve kolon arka yüzeyinde oluşmaktadır. Ayrıca oluşan çatlakların daha geniş bir alana yayılması deneysel çalışmada olduğu gibi, gelen yatay yük birleşimin tamamına aktarıldığını göstermektedir (Şekil 3.45).

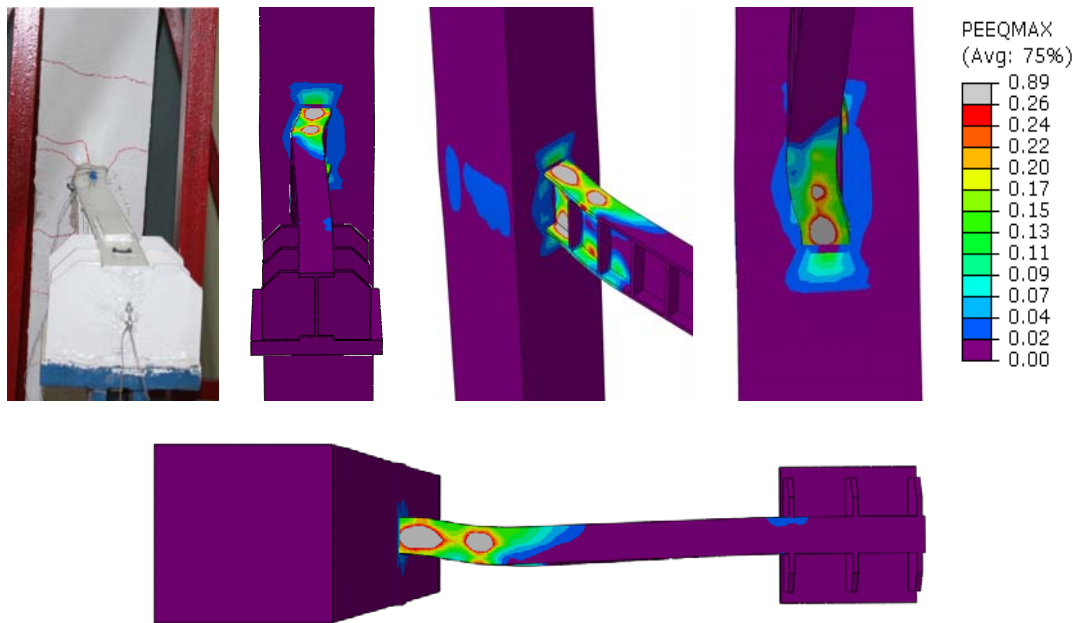
Doğrusal olmayan analiz sonucu KKB-B elemanın sonlu elemanlar modelinde de deneysel çalışmada olduğu gibi çelik kirişte yanal burkulma oluşturmuştur. Şekil 3.46'da sonlu eleman analiz sonucu oluşan, plastik şekil değiştirme ve kirişte oluşan yanal burkulma görünümüleri verilmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar birbirine oldukça yakın olmasından dolayı, deneysel olarak elde edilemeyen sonuçlara, sayısal olarak incelenerek bir yaklaşım sağlanabilmektedir. Tekrarlı yatay yükleme deneyin sonunda, KKB-B elemanında oluşan gerilme dağılımları sayısal olarak elde edilerek Şekil 3.47'de sunulmuştur. Şekil 3.47'den görüldüğü gibi maksimum gerilme, kirişte yanal burkulmanın olduğu bölgede oluşmuş ve değeri 501 MPa olarak hesaplanmıştır.



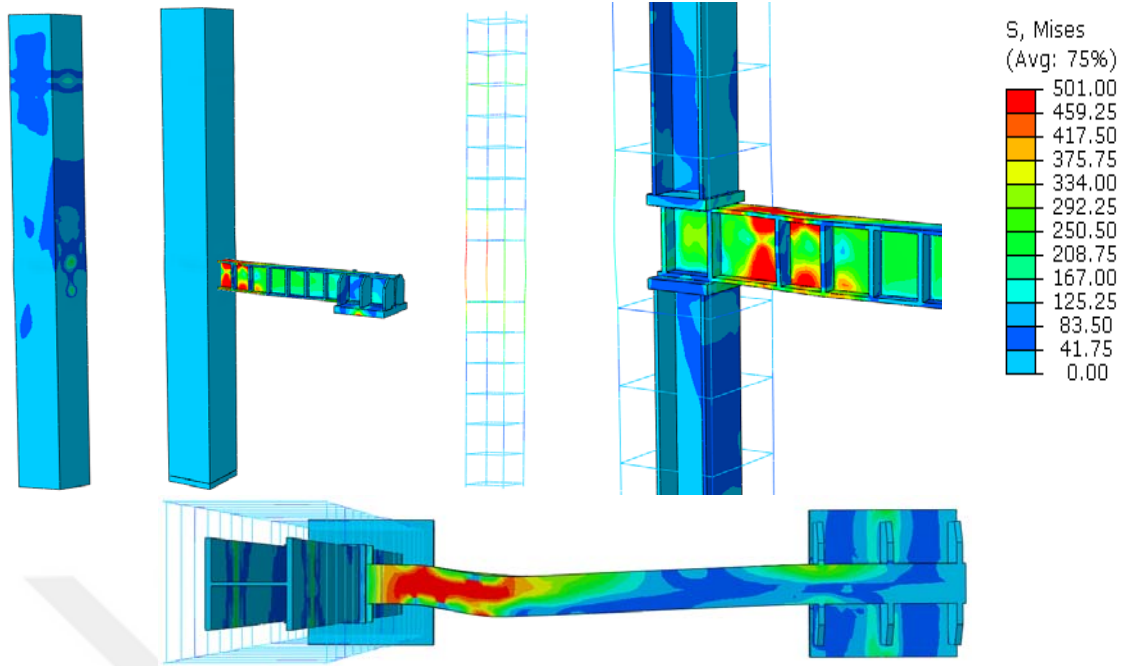
Şekil 3.44. KKB-B elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri



Şekil 3.45. KKB-B elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar



Şekil 3.46. KKB-B elemanında oluşan yanıl burkulma ve plastik şekildeğiştirmeler



Şekil 3.47. KKB-B elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa)

3.4.3. Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Bulonlu Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-C)

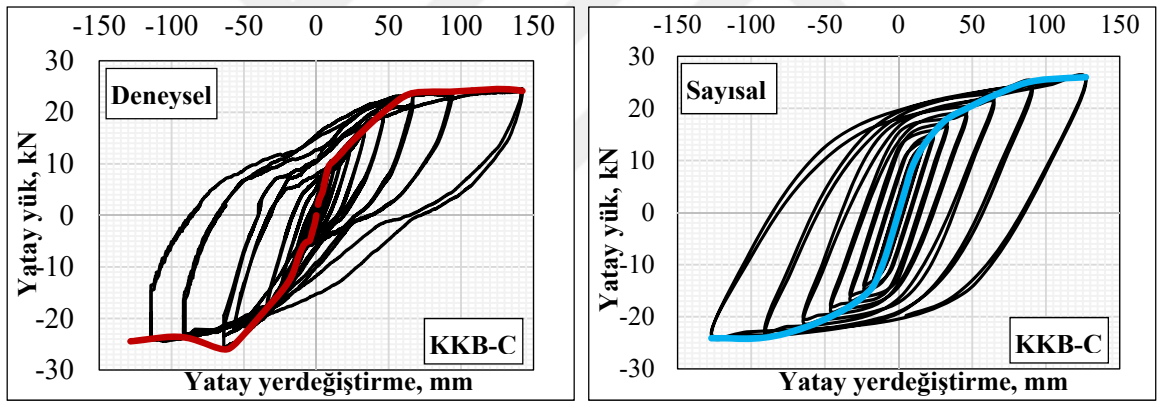
KKB-C elemanın sayısal modeli üzerine standart yükleme protokolüne uygun doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi deneysel eğriler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3.48’de verilmiştir. Şekil3.48’den görüldüğü KKB-C ve KKB-B elemanına ait yük-yerdeğiştirme eğrileri karakteristik olarak benzemese de, ulaştığı yük değeri olarak oldukça yakındır.

Sayısal olarak KKB-C elemanın tekrarlı yatay yüklemenin onuncu çevriminde oluşan 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık gelen itmede 15.35 kN, çekmede 15.87 kN hesaplanırken, aynı yükleme adımında deneysel olarak itmede 13.99 kN, çekmede 14.64 kN olarak elde edilmiştir. Buna göre onuncu yükleme çevriminde sayısal yük değerleri deneyselden itmede % 9.7, çekmede ise % 8.4 oranında fark oluşmaktadır. KKB-C elemanın sayısal modeli maksimum yük taşıma kapasitesine 127.0 mm yatay yerdeğiştirmede ulaşırken, deneysel çalışmada itmede 127.04 mm, çekmede ise 64.81 mm yerdeğiştirmede ulaşmıştır. Yerdeğiştirmede oluşan farkın ana sebebi ise, kompozit kolonun içine yerleştirilen bulonların, sayısal modelde tam bağlı olduğu kabulünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Maksimum yük değeri itmede 25.98 kN, çekmede 24.05 kN olarak hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlardan elde edilen değerler itmede 24.48 kN, çekmede 25.61 kN olarak elde edildiğine göre sayısal ve deneysel sonuçlar arasında itmede % 6.10, çekmede ise % 6.5 oranında fark vardır. Karşılaştırmada oluşan fark değerlendirildiğinde çok fazla detay ve temas yüzeyine sahip olan bir birleşimde, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan doğrusal olmayan analizler için, oluşan farkın küçük

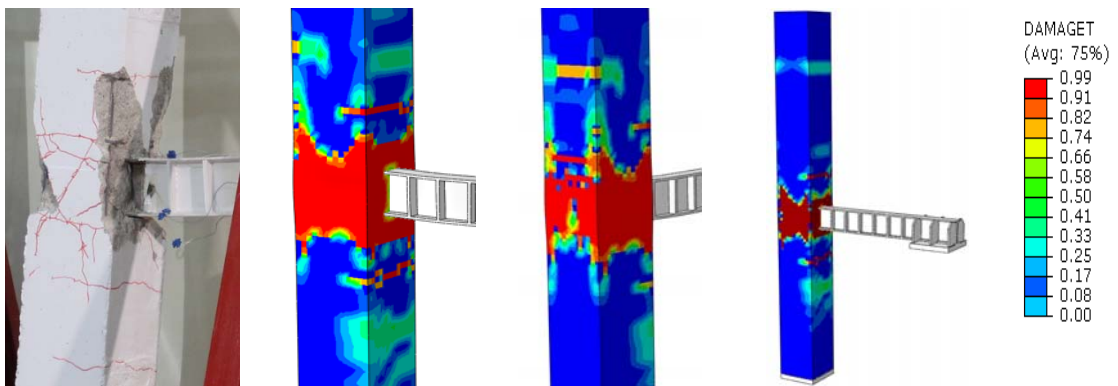
değer olduğu kabul edilmektedir. Sayısal çalışmadan elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrisi incelendiğinde, yüklemenin bitiminde çelik kiriş yanal burkulma dahi yük taşımaya devam ederken, deneysel çalışmada taşıma kapasitesinde düşüş gözlemlenmiştir.

Tekrarlı yatay yükleme etkisinde çözümlenmesi yapılmış olan KKB-C elemanında oluşan çatlaklar, deneysel çalışmaya benzer bir şekilde birleşim ön yüzeyi, birleşim arka yüzeyi, kolon ön yüzeyi ve kolon arka yüzeyinde oluşmuştur. Ayrıca çatlakların daha geniş bir alana yayılması, deneysel çalışmada olduğu gibi gelen yatay yük birleşimin tamamına aktarıldığını göstermektedir (Şekil 3.49).

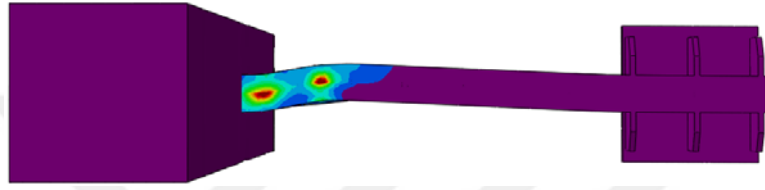
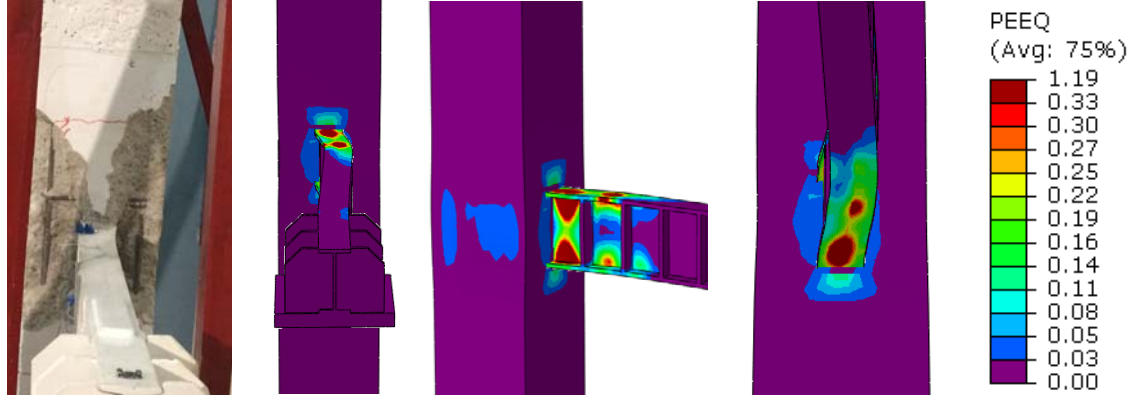
Doğrusal olmayan analiz sonucu KKB-C elemanın sonlu elemanlar modelinde de deneysel çalışmada olduğu gibi çelik kirişte yanal burkulma oluşmuştur. Şekil 3.50'da analiz sonucu oluşan plastik şekil değiştirme ve kirişte oluşan yanal burkulma görünüşleri verilmiştir. Sayısal çalışma sonucu KKB-C elemanında oluşan gerilme dağılımları Şekil 3.51'de sunulmuştur. Şekil 3.51'den görüldüğü gibi maksimum gerilme, kirişte yanal burkulmanın olduğu bölgede oluşarak 483.60 MPa değerine ulaşmaktadır.



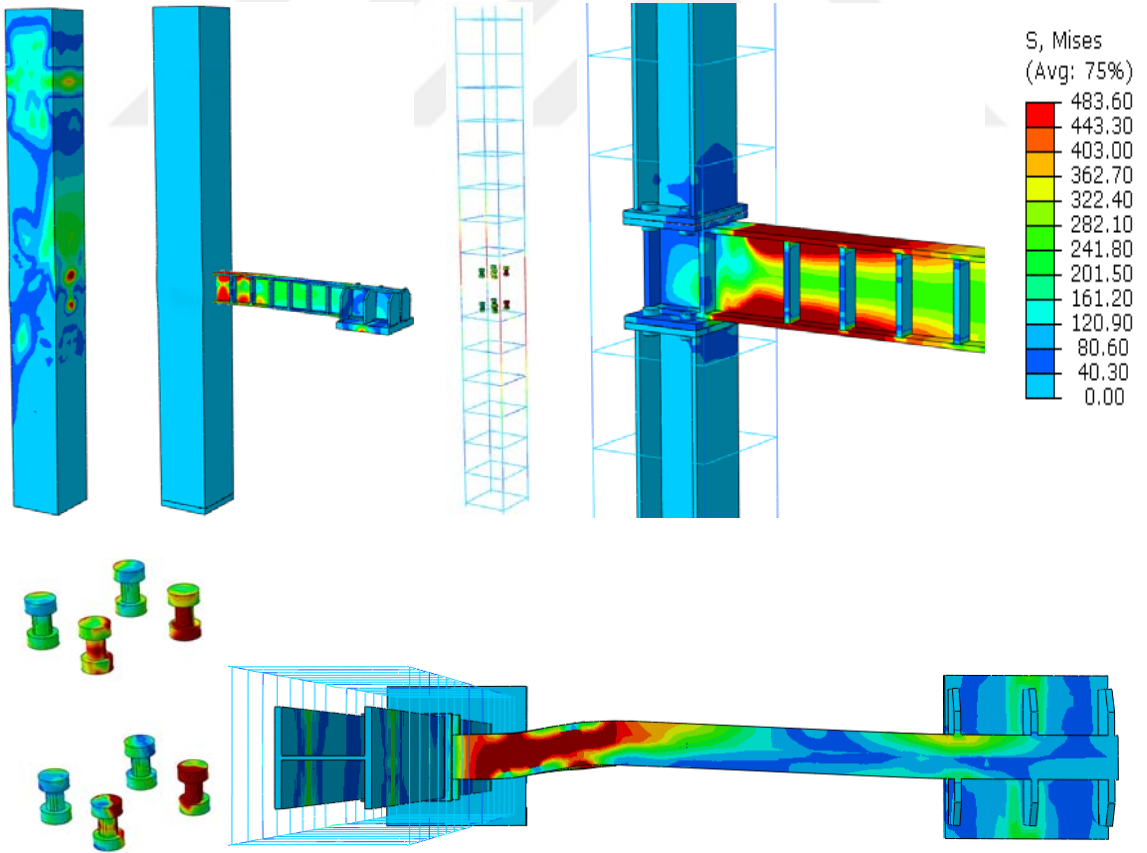
Şekil 3.48. KKB-C elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri



Şekil 3.49. KKB-C elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar



Şekil 3.50. KKB-C elemanında oluşan yanıl burkulma ve plastik şekildeğıştirmeler



Şekil 3.51. KKB-C elemanında oluşan gerilme dağılımları (MPa)

3.4.4. Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-D)

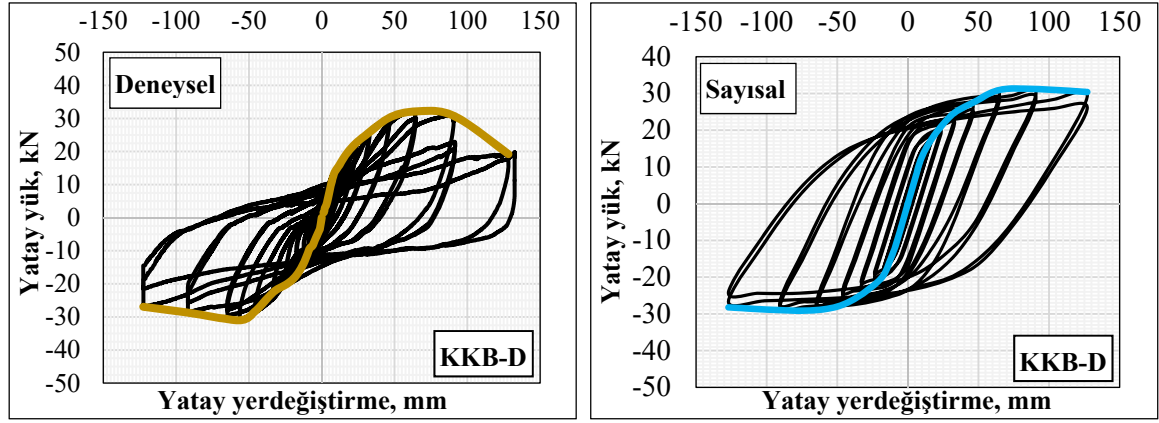
KKB-D elemanın sayısal modeli üzerine standart yükleme protokolüne uygun doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi deneysel eğriler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3.52’de verilmiştir. Şekil 3.52’den görüldüğü gibi KKB-D elemanın eğrileri KKB-B elemanı kadar sayısal eğrisine benzemese de, ulaştığı yük değeri olarak oldukça yakındır.

Sayısal olarak KKB-D elemanın tekrarlı yatay yüklemenin onuncu çevriminde oluşan 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık gelen itmede 22.68 kN, çekmede 22.07 kN hesaplanırken, aynı yükleme adımında deneysel olarak itmede 22.55 kN, çekmede 21.14 kN olarak elde edilmiştir. Buna göre onuncu yükleme çevriminde, sayısal yük değerleri deneyselden itmede % 0.6, çekmede ise % 4.4 civarında fark oluşmuştur. KKB-D elemanı sayısal ve deneysel çalışmada maksimum yük taşıma kapasitesine 64.81 mm yatay yerdeğiştirmede ulaştığı görülmektedir. Yüklemenin onuncu çevriminde, yük değerleri itmede 32.11 kN, çekmede 32.02 kN olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen yük değerleri, itmede 31.85 kN, çekmede 31.47 kN olarak bulunmuştur. Deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında, itmede % 1, çekmede ise % 1.7 oranında fark olduğu görülmektedir. Karşılaştırmada oluşan fark değerlendirildiğinde çok fazla detay ve temas yüzeyine sahip olan bir birleşimde, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan doğrusal olmayan analizler için, oluşan farkın küçük değer olduğu kabul edilmektedir.

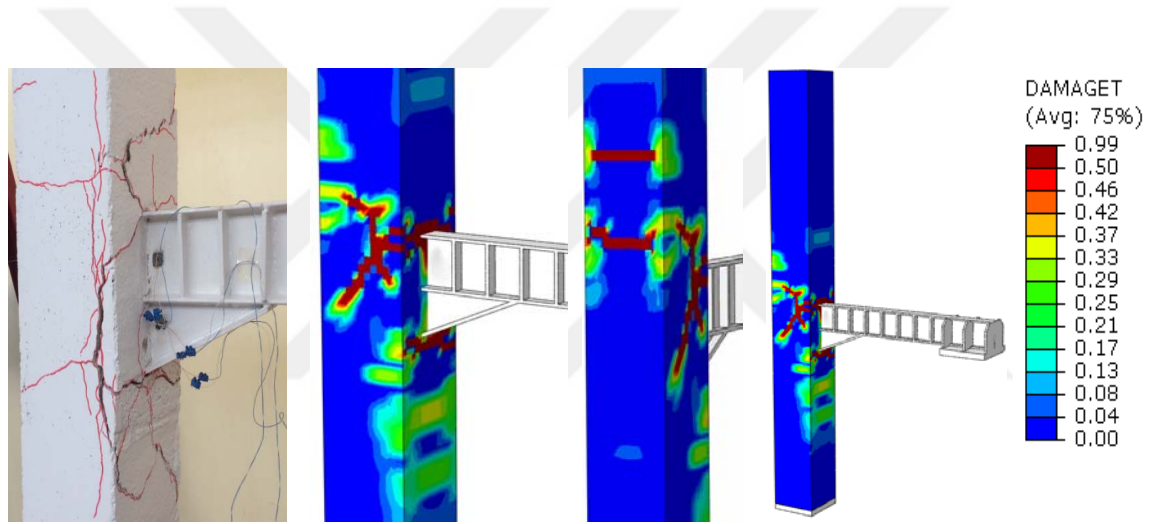
Deneysel yük-yerdeğiştirme eğrisi incelendiğinde maksimum yük düzeyine ulaştıktan sonra yük taşıma kapasitesinde azalmalar gözükmemektedir. Daha önce de belirtildiği gibi deney sonu alın levhasında eğilme ve kaynaklarda kopmalar oluşmuştu. Ancak sayısal çalışmadan elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrisine bakıldığında yük seviyesi maksimum değerine ulaştıktan sonra eğri yataylaşmış ve azalma miktarı çok azdır. Bunun sebebi ise sonlu elemanlar modelinde alın levhası ile çelik kiriş birleşimi tam bağlı kabul edilerek modellenmiş olmasıdır.

Tekrarlı yatay yükleme etkisinde çözümlenmesi yapılmış olan KKB-D elemanında oluşan çatlaklar, deneysel çalışmaya benzer bir şekilde birleşim ön yüzeyinde yoğun bir şekilde oluşurken, birleşimin arka yüzeyinde oluşan çatlak miktarları oldukça az olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise KKB-A elemanında olduğu gibi kullanılan bulonların kısa olması ve kompozit kolon arka yüzeyine yükün tam olarak aktarılmaması olarak yorumlanabilmektedir (Şekil 3.53).

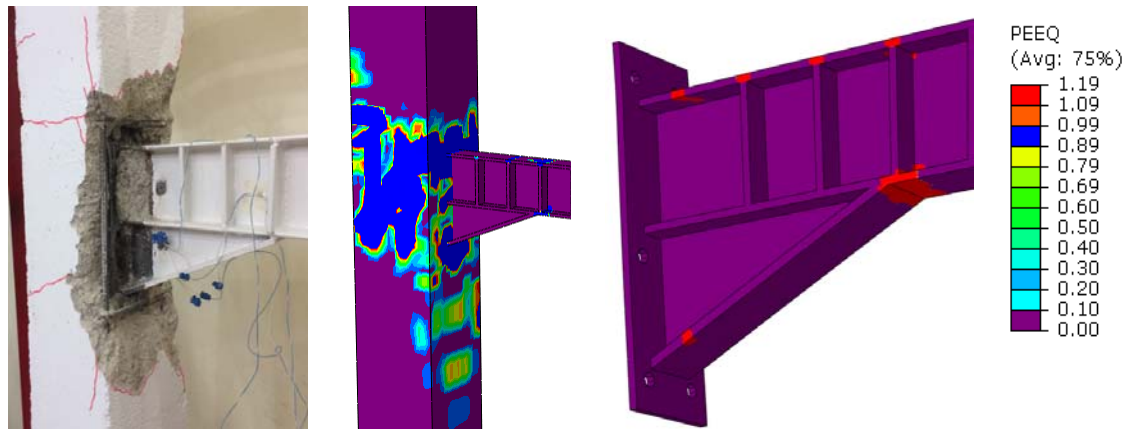
Doğrusal olmayan analiz sonucu KKB-D sonlu elemanlar modelinde oluşan plastik şekildeğiştirme ve hasar durumu Şekil 3.54’te, gerilme dağılımları ise Şekil 3.55’te sunulmuştur. KKB-D elemanında maksimum gerilme kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşmuş ve değeri 488.37 MPa olarak hesaplanmıştır.



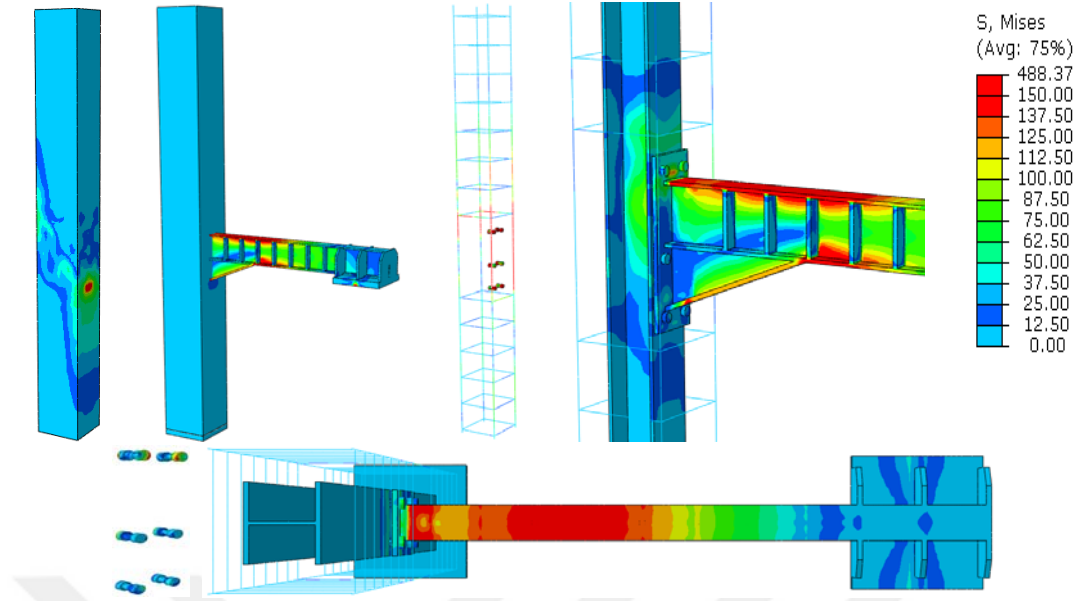
Şekil 3.52. KKB-D elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri



Şekil 3.53. KKB-D elemanında oluşan çatlak durumları



Şekil 3.54. KKB-D elemanında oluşan plastik şekildeğiştirmeler



Şekil 3.55. KKB-D elemanın oluşan gerilme dağılımı (MPa)

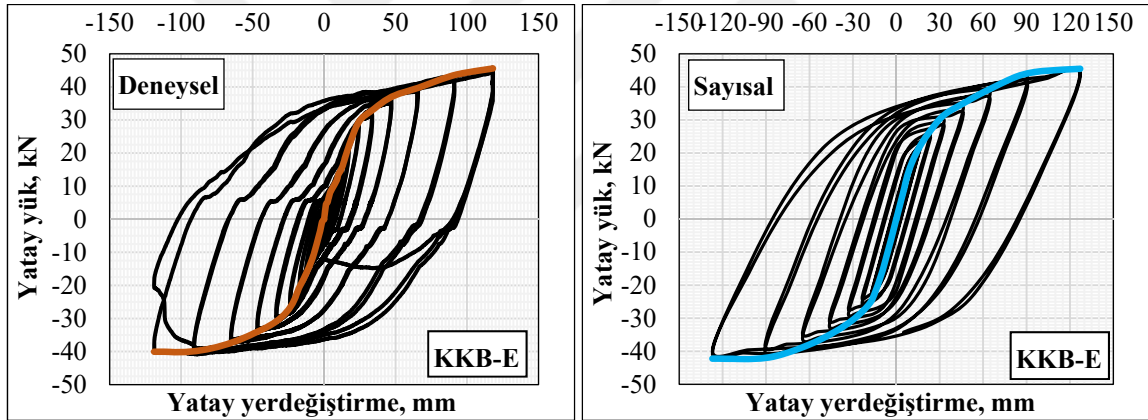
3.4.5. Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-E)

Deneyisel çalışmada belirlenen yükleme protokolüne uygun olarak KKB-E deney elemanın sonlu elemanlar modeli üzerine doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi deneysel eğriler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3.56’da verilmiştir. Sayısal ve deneysel yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri birbirleriyle çok uyumludur.

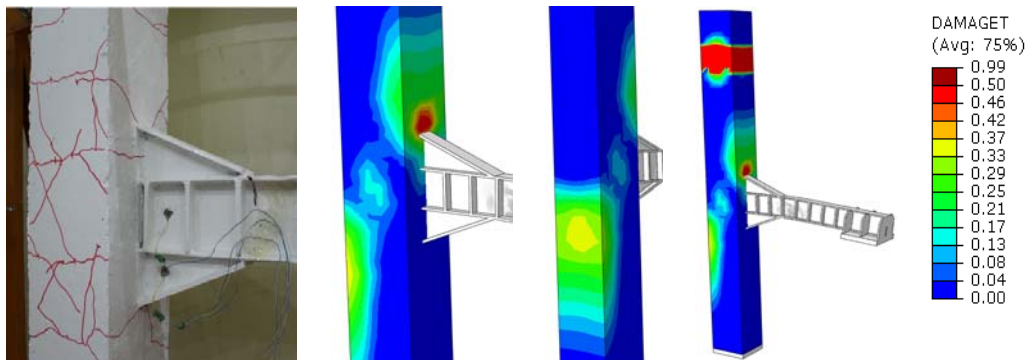
Sayısal olarak KKB-E elemanın tekrarlı yatay yüklemenin onuncu çevriminde oluşan 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık gelen itmede 29.56 kN, çekmede 29.11 kN hesaplanırken, aynı yükleme adımında deneysel olarak itmede 29.12 kN, çekmede 27.71 kN olarak elde edilmiştir. Buna göre onuncu yükleme çevriminde deneysel yük değerleri sayısalardan itmede % 1.5, çekmede ise % 5 civarında fark oluşmaktadır. KKB-E elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine, hem deneysel hem de sayısal çalışmada 127.04 mm yatay yerdeğiştirmede ulaştığı görülmektedir. Ayrıca bu değer KKB-E elemanı için maksimum yerdeğiştirme değeri olup yük seviyesi itmede 45.87 kN, çekmede 42.82 kN olarak hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar itmede 45.57 kN, çekmede 40.14 kN olarak elde edildiğine göre sayısal ve deneysel sonuçlar arasında itmede % 0.6, çekmede ise % 6.7 oranında fark oluşmaktadır. Karşılaştırmada oluşan fark değerlendirildiğinde çok fazla detay ve temas yüzeyine sahip olan bir birleşimde, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan doğrusal olmayan analizler için, oluşan farkın küçük değer olduğu kabul edilmektedir. Şekil 3.57’den görüldüğü gibi yükleme sırasında kiriş yanal burkularak gusenin bitiminden kırılmıştır. Ancak KKB-E elemanı kırılma anına kadar yük taşımaya devam etmiştir.

Tekrarlı yatay yükleme etkisinde çözümlenmesi yapılmış olan KKB-E elemanında oluşan çatlaklar, deneysel çalışmaya benzer bir şekilde birleşim ön yüzeyi, birleşim arka yüzeyi, kolon ön yüzeyi ve kolon arka yüzeyinde oluşmuştur. Ayrıca çatlakların daha geniş bir alana yayılması deneysel çalışmada olduğu gibi gelen yatay yükün birleşimin tamamına aktarıldığını göstermektedir (Şekil 3.57).

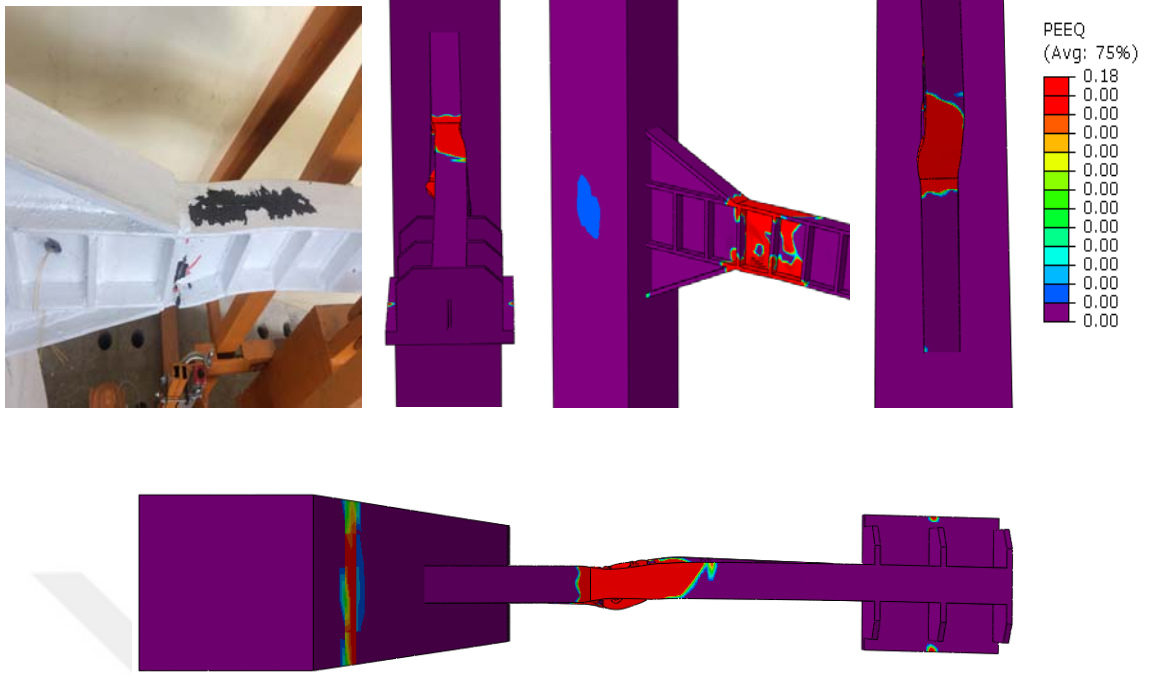
Doğrusal olmayan analiz sonucu KKB-E elemanın sonlu elemanlar modelinde de deneysel çalışmada olduğu gibi çelik kirişte yanal burkulma oluşmuştur. Şekil 3.58'de analiz sonucu oluşan plastik şekil değiştirme ve kirişte oluşan yanal burkulma görünümü verilmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar birbirine oldukça yakın olmasından dolayı, deneysel olarak elde edilemeyen sonuçlara, sayısal olarak incelenerek bir yaklaşım sağlanabilmektedir. Tekrarlı yatay yükleme deneyin sonunda KKB-E elemanında oluşan gerilme dağılımları sayısal olarak elde edilerek Şekil 3.59'da sunulmuştur. Şekil 3.59'dan görüldüğü gibi maksimum gerilme, kirişte yanal burkulmanın olduğu bölgede oluşarak 489.03 MPa değerinde oluşmuştur.



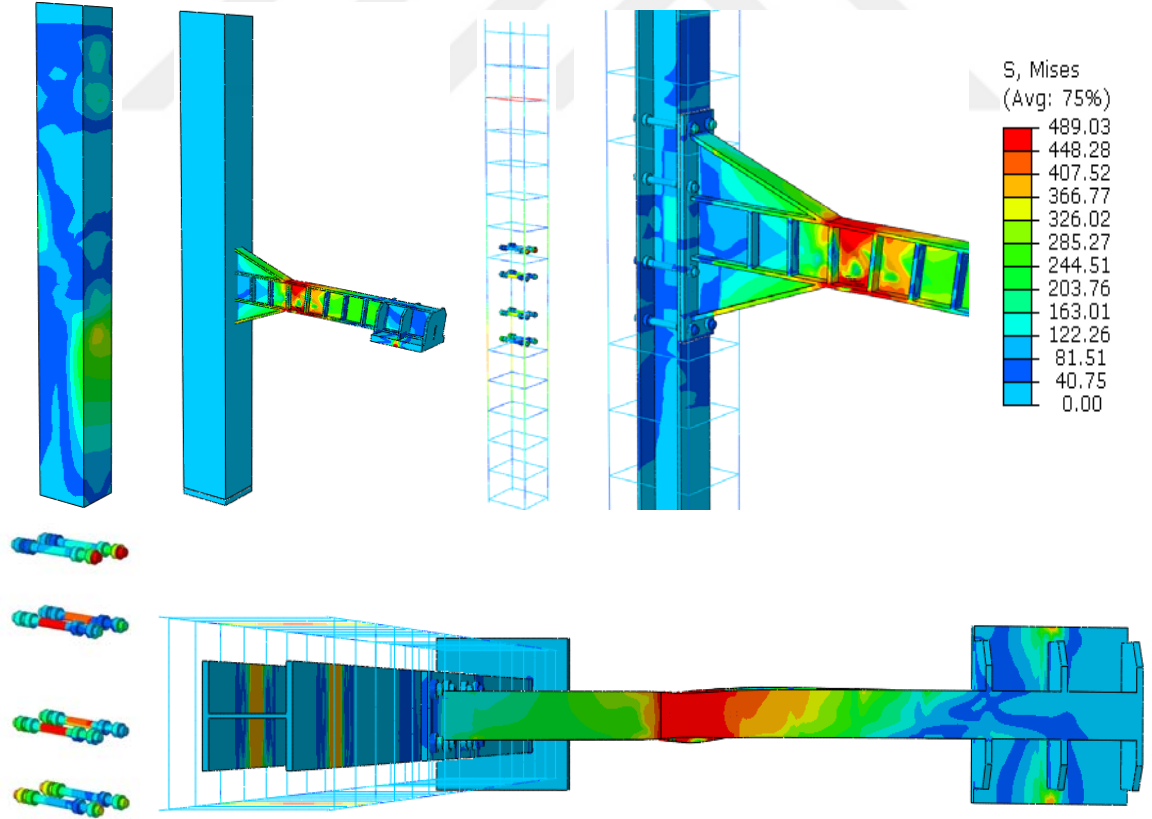
Şekil 3.56. KKB-E elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri



Şekil 3.57. KKB-E elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar



Şekil 3.58. KKB-E elemanında oluşan yanıl burkulma ve plastik şekildeğıştirmeler



Şekil 3.59. KKB-E elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa)

3.4.6. Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-F)

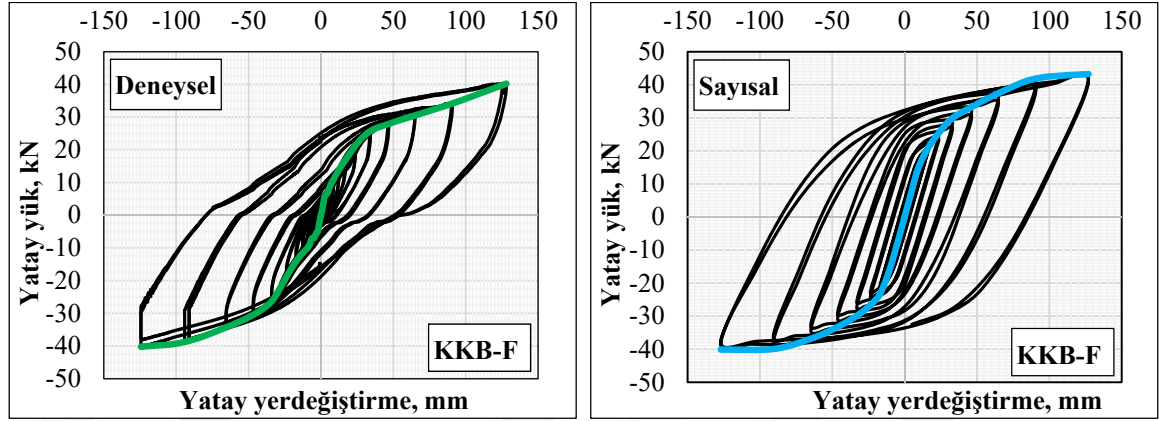
Deneysel çalışmada belirlenen yükleme protokolüne uygun olarak KKB-F deney elemanın sonlu elemanlar modeli üzerine doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi deneysel eğriler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3.60'da verilmiştir. Sayısal ve deneysel yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri birbirine benzemekte fakat sayısal eğrinin dönüş bölgeleri daha geniş bir alana sahip olduğu görülmüştür. Değerlerin arasındaki fark ise, deney düzeneğinde bulunan boşluklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sayısal olarak KKB-F elemanın tekrarlı yatay yüklemenin onuncu çevriminde oluşan 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık gelen itmede 23.74 kN, çekmede 23.20 kN hesaplanırken aynı yükleme adımında deneysel olarak itmede 22.33 kN, çekmede 21.64 kN olarak elde edilmiştir. Buna göre onuncu yükleme çevriminde deneysel yük değerleri ile sayısal değerler arasında itmede % 6.3, çekmede ise % 7.2 civarında fark oluşmaktadır. KKB-F elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine hem deneysel hem de sayısal çalışmada 127.04 mm yatay yerdeğiştirmede ulaştığı görülmektedir. Ayrıca bu değer KKB-F elemanı için maksimum yerdeğiştirme değeri olup yük seviyesi itmede 41.57 kN, çekmede 41.29 kN olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen yük değerleri itmede 40.67 kN, çekmede 40.23 kN olarak bulunmuştur. Deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında itmede % 2.2, çekmede ise % 2.6 oranında fark olduğu görülmektedir. Karşılaştırmada oluşan fark değerlendirildiğinde çok fazla detay ve temas yüzeyine sahip olan bir birleşimde, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan doğrusal olmayan analizler için, oluşan farkın küçük değer olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca Şekil 3.60'tan görüldüğü gibi yükleme sırasında kiriş yanal burkulma da sistem hala yük taşımaya devam etmiştir.

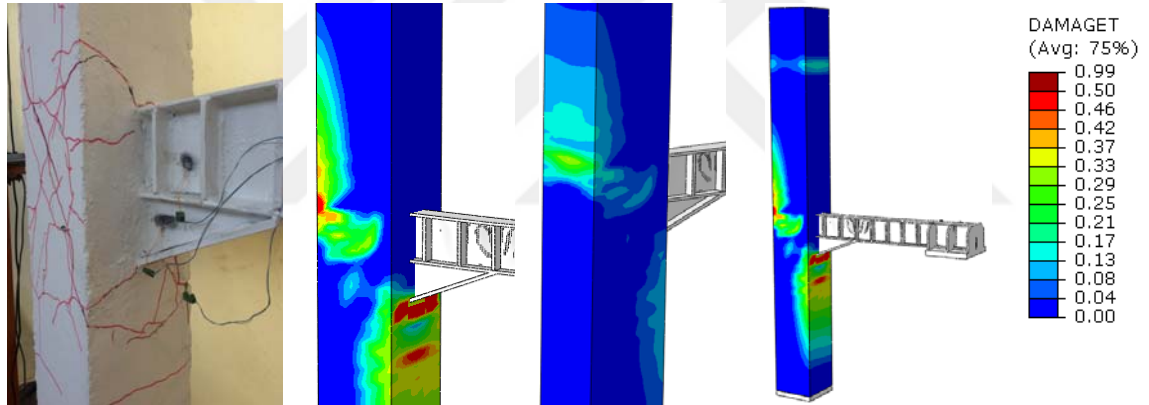
Tekrarlı yatay yükleme etkisinde çözümlenmesi yapılmış olan KKB-F elemanında oluşan çatlaklar, deneysel çalışmaya benzer bir şekilde birleşim ön yüzeyi, birleşim arka yüzeyi, kolon ön yüzeyi ve kolon arka yüzeyinde oluşmuştur. Ayrıca çatlakların daha geniş bir alana yayılması deneysel çalışmada olduğu gibi gelen yatay yükün birleşimin tamamına aktarıldığını göstermektedir (Şekil 3.61).

Doğrusal olmayan analiz sonucu KKB-F elemanın sonlu elemanlar modelinde de deneysel çalışmada olduğu gibi çelik kirişte yanal burkulma oluşmuştur. Ancak yanal burkulma miktarı KKB-E elemanı kadar belirgin değildir. Şekil 3.62'de analiz sonucu oluşan plastik şekil değiştirme ve kirişte oluşan yanal burkulma görünüşleri verilmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar birbirine oldukça yakın olmasından dolayı, deneysel olarak elde edilemeyen sonuçlara, sayısal olarak incelenerek bir yaklaşım sağlanabilmektedir. Tekrarlı yatay yükleme deneyin sonunda KKB-F elemanında oluşan gerilme dağılımları sayısal olarak elde edilerek Şekil 3.63'te sunulmuştur. Şekil 3.63'ten görüldüğü

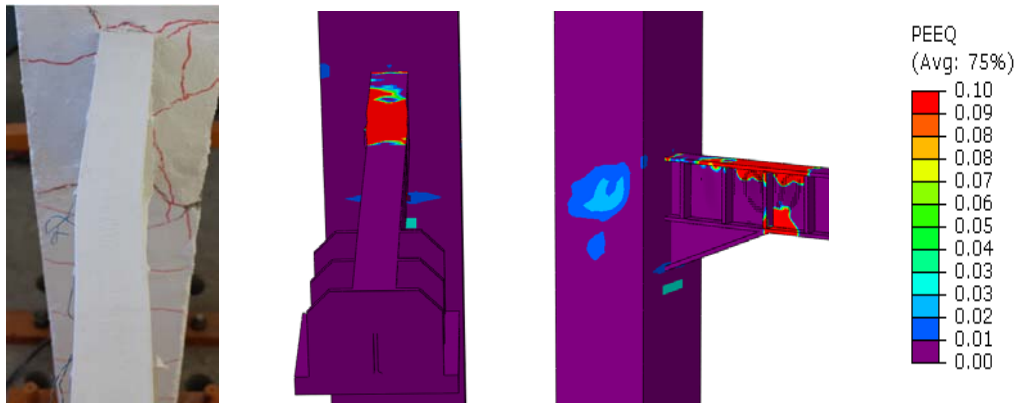
gibi maksimum gerilme, kirişte yanal burkulmanın olduğu bölgede oluşarak 451.21 MPa değerinde oluşmuştur.



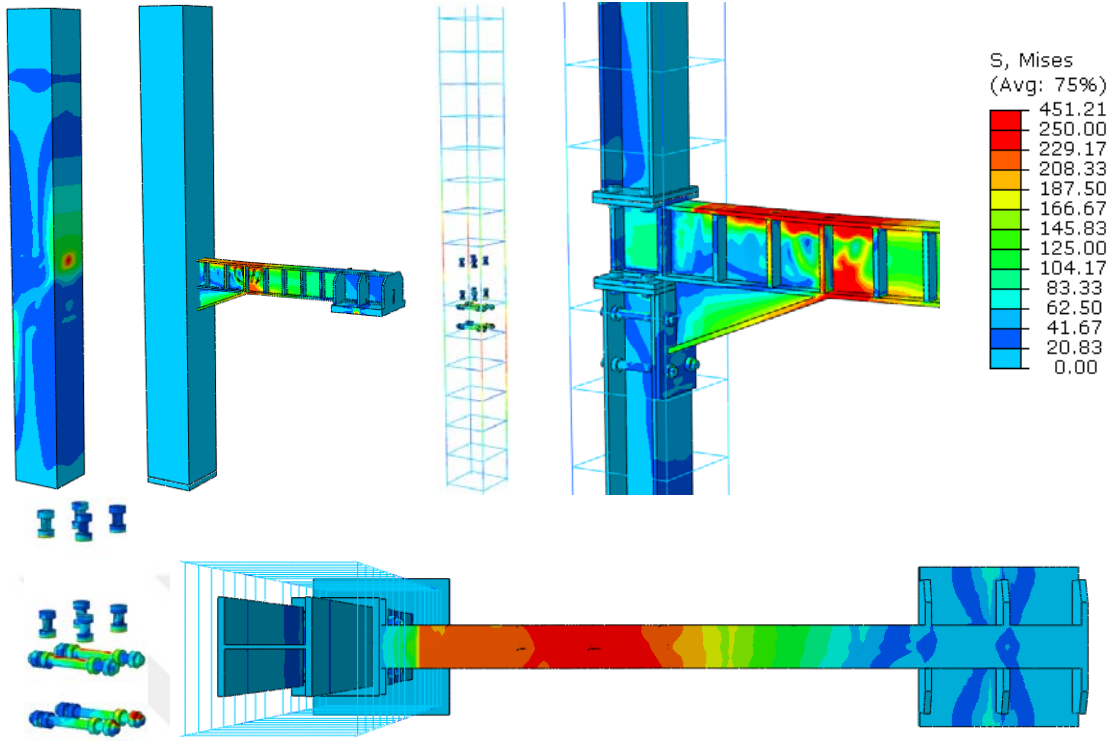
Şekil 3.60. KKB-F elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri



Şekil 3.61. KKB-F elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar



Şekil 3.62. KKB-F elemanında oluşan yanal burkulma ve plastik şekil değiştirmeler



Şekil 3.63. KKB-F elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa)

3.4.7. Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-G)

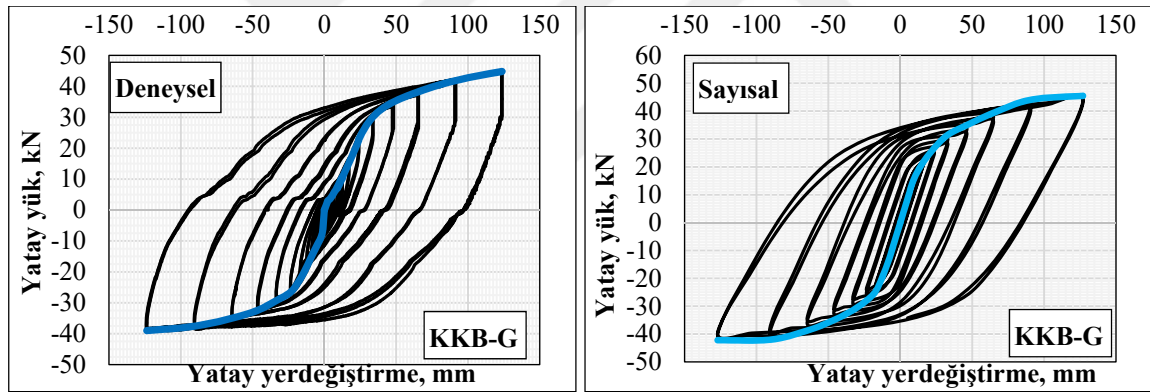
Deneyisel çalışmada belirlenen yükleme protokolüne uygun olarak KKB-G deney elemanın sonlu elemanlar modeli üzerine doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi deneysel eğriler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3.64'te verilmiştir. Sayısal ve deneysel yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri birbirleriyle çok uyumludur.

Sayısal olarak KKB-G elemanın tekrarlı yatay yüklemenin onuncu çevriminde oluşan 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık gelen, itmede 28.02 kN, çekmede 27.91 kN hesaplanırken, aynı yükleme adımında deneysel olarak itmede 27.52 kN, çekmede 27.35 kN olarak elde edilmiştir. Buna göre onuncu yükleme çevriminde deneysel yük değerleri sayısalardan itmede % 1.8, çekmede ise % 2.1 civarında fark oluşmaktadır. KKB-G elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine, hem deneysel hem de sayısal çalışmada 127.04 mm yatay yerdeğiştirmeye ulaştığı görülmektedir. Yüklemin onuncu çevriminde, yük seviyesi itmede 45.48 kN, çekmede 42.21 kN olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen yük değerleri itmede 44.82 kN, çekmede 39.47 kN olarak bulunmuştur. Deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında itmede % 1.4, çekmede ise % 6.9 oranında fark olduğu görülmektedir. Karşılaştırmada oluşan fark değerlendirildiğinde çok fazla detay ve temas yüzeyine sahip olan bir birleşimde, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan doğrusal olmayan

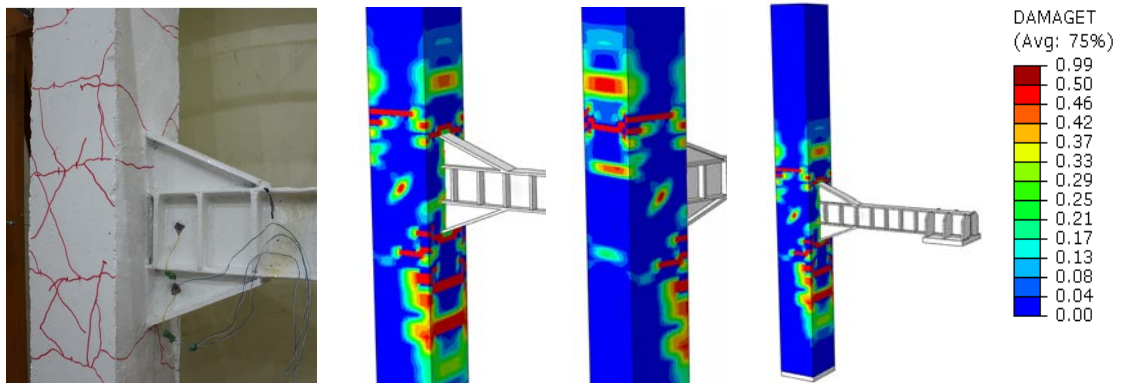
analizler için, oluşan farkın küçük değer olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca Şekil 3.64'ten görüldüğü gibi yükleme sırasında kiriş yanal burkularak gusenin bittiği noktada kırılmıştır.

Tekrarlı yatay yükleme etkisinde çözümlenen KKB-G elemanında oluşan çatlaklar, deneysel çalışmaya benzer bir şekilde birleşim ön yüzeyi, birleşim arka yüzeyi, kolon ön yüzeyi ve kolon arka yüzeyinde oluşmuştur. Ayrıca çatlakların daha geniş bir alana yayılması deneysel çalışmada olduğu gibi gelen yatay yükün birleşimin tamamına aktarıldığını göstermektedir (Şekil 3.65).

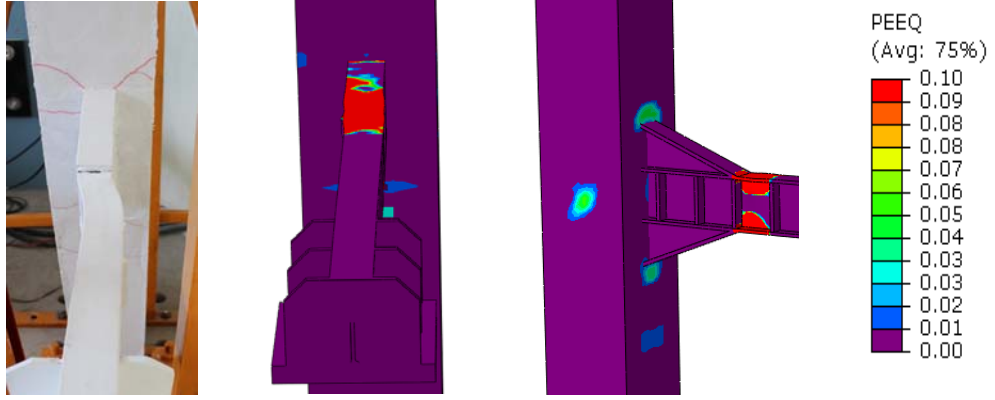
Doğrusal olmayan analiz sonucu KKB-G elemanın sonlu elemanlar modelinde de deneysel çalışmada olduğu gibi çelik kirişte yanal burkulma oluşmuştur. Şekil 3.66'da analiz sonucu oluşan plastik şekildeğiştirme ve kirişte oluşan yanal burkulma görünümü verilmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar birbirine oldukça yakın olmasından dolayı, deneysel olarak elde edilemeyen sonuçlara, sayısal olarak incelenerek bir yaklaşım sağlanabilmektedir. Tekrarlı yatay yükleme deneyin sonunda KKB-G elemanında oluşan gerilme dağılımları sayısal olarak elde edilerek Şekil 3.67'de sunulmuştur. Şekil 3.67'de görüldüğü gibi maksimum gerilme, kirişte yanal burkulmanın olduğu bölgede oluşarak 512.00 MPa değerinde oluşmuştur.



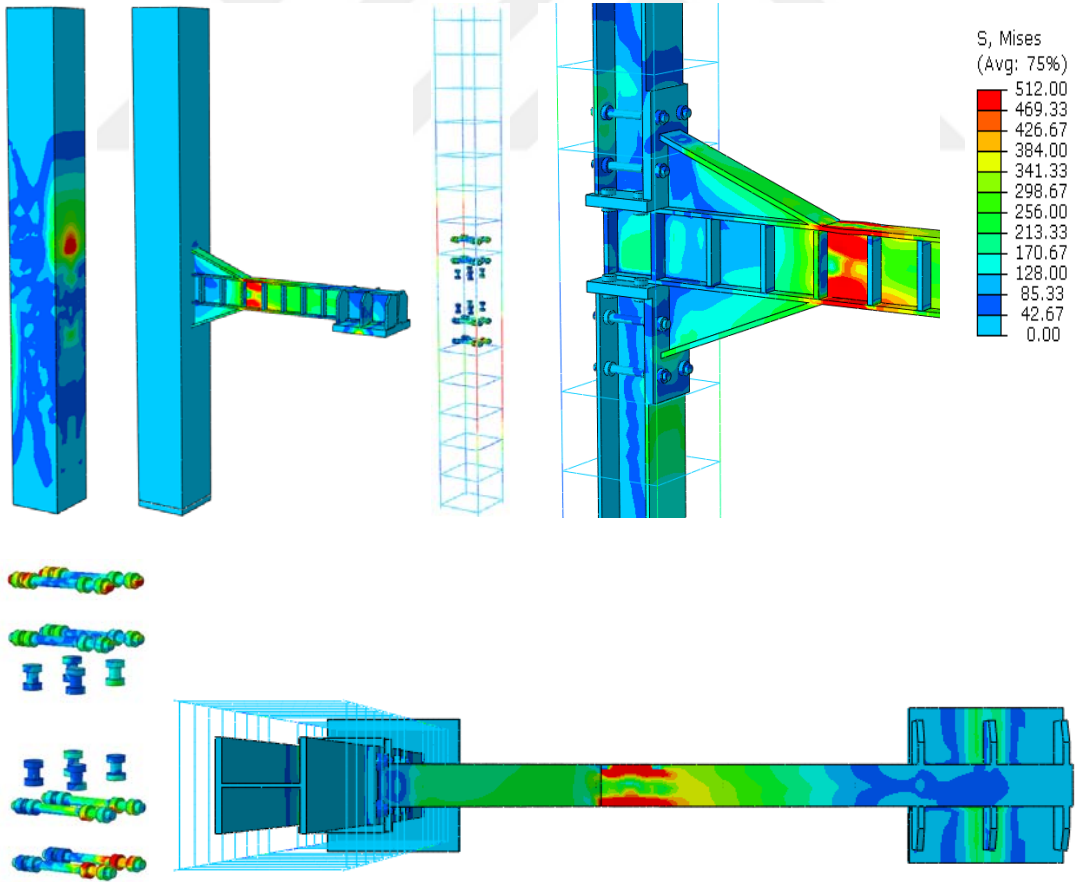
Şekil 3.64. KKB-G elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri



Şekil 3.65. KKB-G elemanın sonlu elemanlar modelinde oluşan çatlaklar



Şekil 3.66. KKB-G elemanında oluşan yanıl burkulma ve plastik şekildeğıştirmeler



Şekil 3.67. KKB-G elemanın oluşan gerilme dağılımı (MPa)

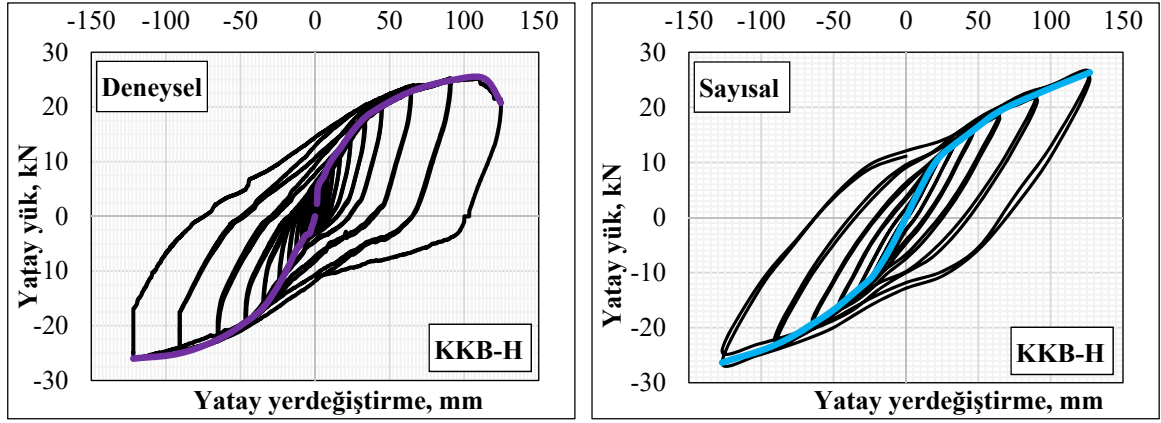
3.4.8. Kompozit Kolon-Rijitleştirilmiş Alın Levhalı Çelik Kiriş Birleşimli Deney Elemanı (KKB-H)

Deneysel çalışmada belirlenen yükleme protokolüne uygun olarak KKB-H deney elemanın sonlu elemanlar modeli üzerine doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen yatay yük yatay yerdeğiştirme eğrisi ve dayanım zarfı eğrisi deneysel eğriler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3.68’de verilmiştir. Şekil 3.68’den görüldüğü gibi yatay yük-yatay yerdeğiştirme eğrileri birbirine oldukça benzemektedir.

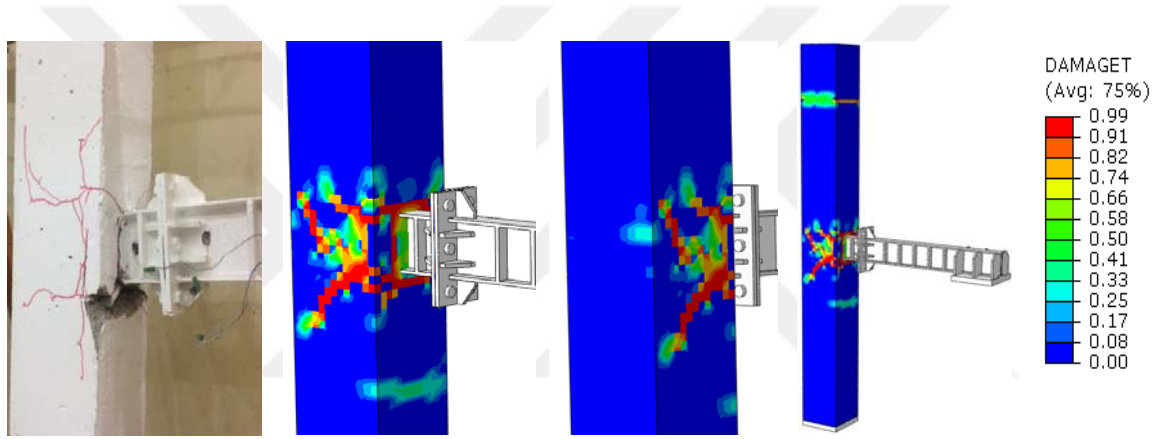
Sayısal çalışmada, KKB-H elemanına ait modelin tekrarlı yatay yüklemenin onuncu çevriminde 23.63 mm yatay yerdeğiştirmeye karşılık, itmede 14.78 kN, çekmede 14.78 kN hesaplanırken, aynı yükleme adımında deneysel olarak itmede 14.96 kN, çekmede 13.59 kN yük değeri elde edilmiştir. Buna göre onuncu yükleme çevriminde sayısal yük değerleri deneyselden itmede % 1.3, çekmede ise % 8 civarında fark oluşmaktadır. KKB-H elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine 127.04 mm yatay yerdeğiştirmede ulaşmıştır. Yüklemenin on üçüncü çevriminde yük seviyesi itmede 26.33 kN, çekmede 26.30 kN olarak bulunmuştur. Deneysel çalışmada elde edilen yük değerleri itmede 25.14 kN, çekmede 26.13 kN olarak elde edildiğine göre sayısal ve deneysel sonuçlar arasında itmede % 4.70, çekmede ise % 0.6 oranında fark olduğu görülmektedir. Karşılaştırmada oluşan fark değerlendirildiğinde çok fazla detay ve temas yüzeyine sahip olan bir birleşimde, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan doğrusal olmayan analizler için, oluşan farkın küçük değer olduğu kabul edilmektedir. Yük-deplasman eğrileri incelendiğinde deneysel eğri son çevrimde ekseninden sapmış ve yük taşıma kapasitesinde büyük azalma gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise deneyin son çevriminde birleşim bölgesindeki kirişte kırılmanın meydana gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

KKB-H deney elemanına ait doğrusal olmayan analiz sonucu, sonlu eleman modelinde oluşan çatlaklar deneysel çalışmaya benzer bir şekilde oluşmuştur. Şekil 3.69’dan görüldüğü gibi sayısal çalışmadaki çatlaklar da birleşim ön yüzeyinde yoğun olarak oluşmuş ve birleşim arka yüzeyinde hiç çatlak oluşmamıştır. Analiz sonunda KKB-H elemanında oluşan plastik şekildeğiştirme ve hasar durumları Şekil 3.70’te verilmiştir. Şekil 3.70’ten görüldüğü gibi deneysel çalışmaya benzer bir şekilde kiriş-kiriş birleşim bölgesindeki bayrak levhalarında aşırı derecede zorlanmaların olduğu görülmektedir.

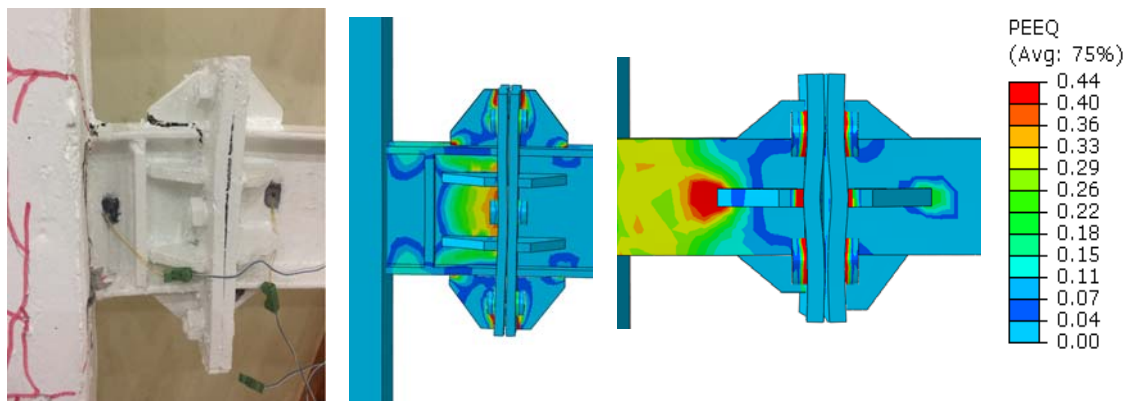
Deneysel ve sayısal sonuçlar birbirine oldukça yakın olmasından dolayı, deneysel olarak elde edilemeyen sonuçlara, sayısal olarak incelenerek bir yaklaşım sağlanabilmektedir. Tekrarlı yatay yükleme deneyin sonunda, KKB-H elemanında oluşan gerilme dağılımları deneysel olarak elde edilememiştir. Ancak sayısal olarak analiz sonucu KKB-H elemanında oluşan gerilme dağılımları Şekil 3.71’de sunulmuştur. Şekil 3.71’den görüldüğü gibi maksimum gerilme birleşim bölgesinde oluşmuş ve değeri 501.04 MPa olarak hesaplanmıştır.



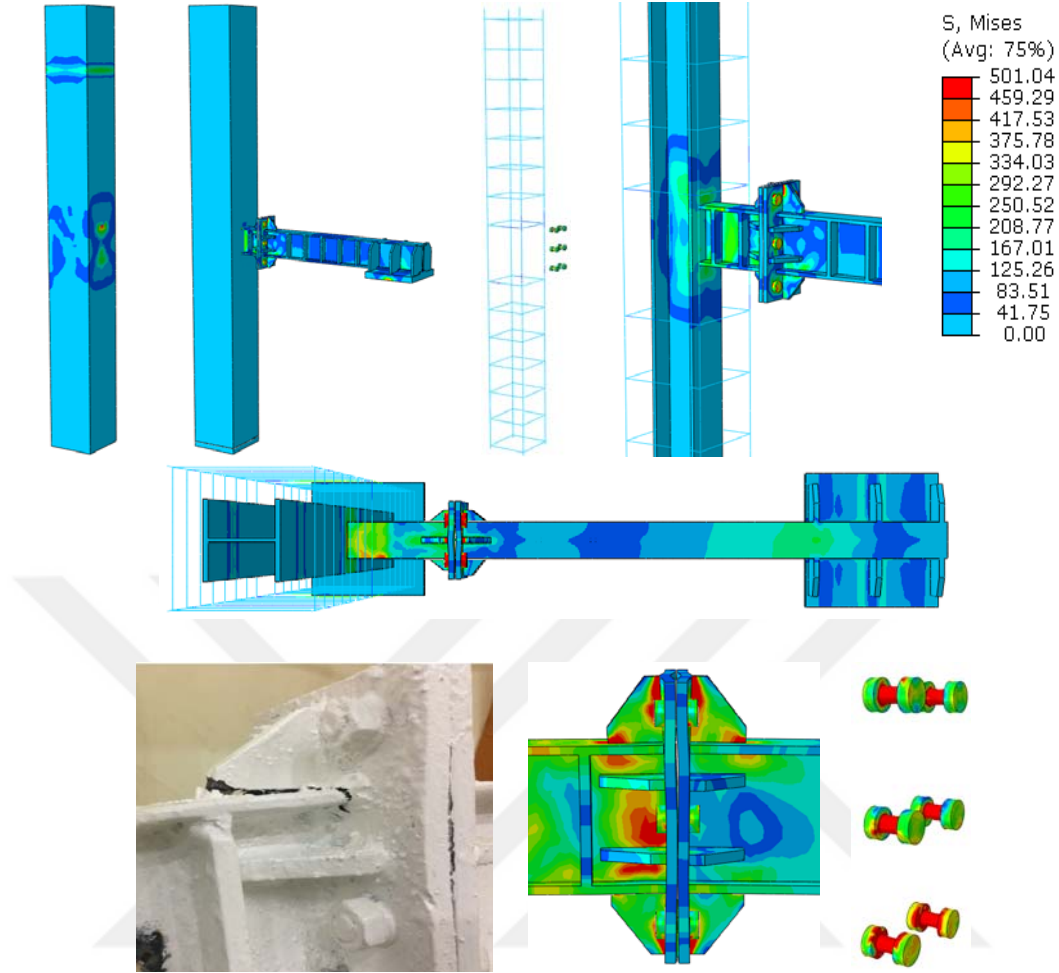
Şekil 3.68. KKB-H elemanın deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri ile dayanım zarfı eğrileri



Şekil 3.69. KKB-H elemanın sonlu eleman modelinde oluşan çatlaklar

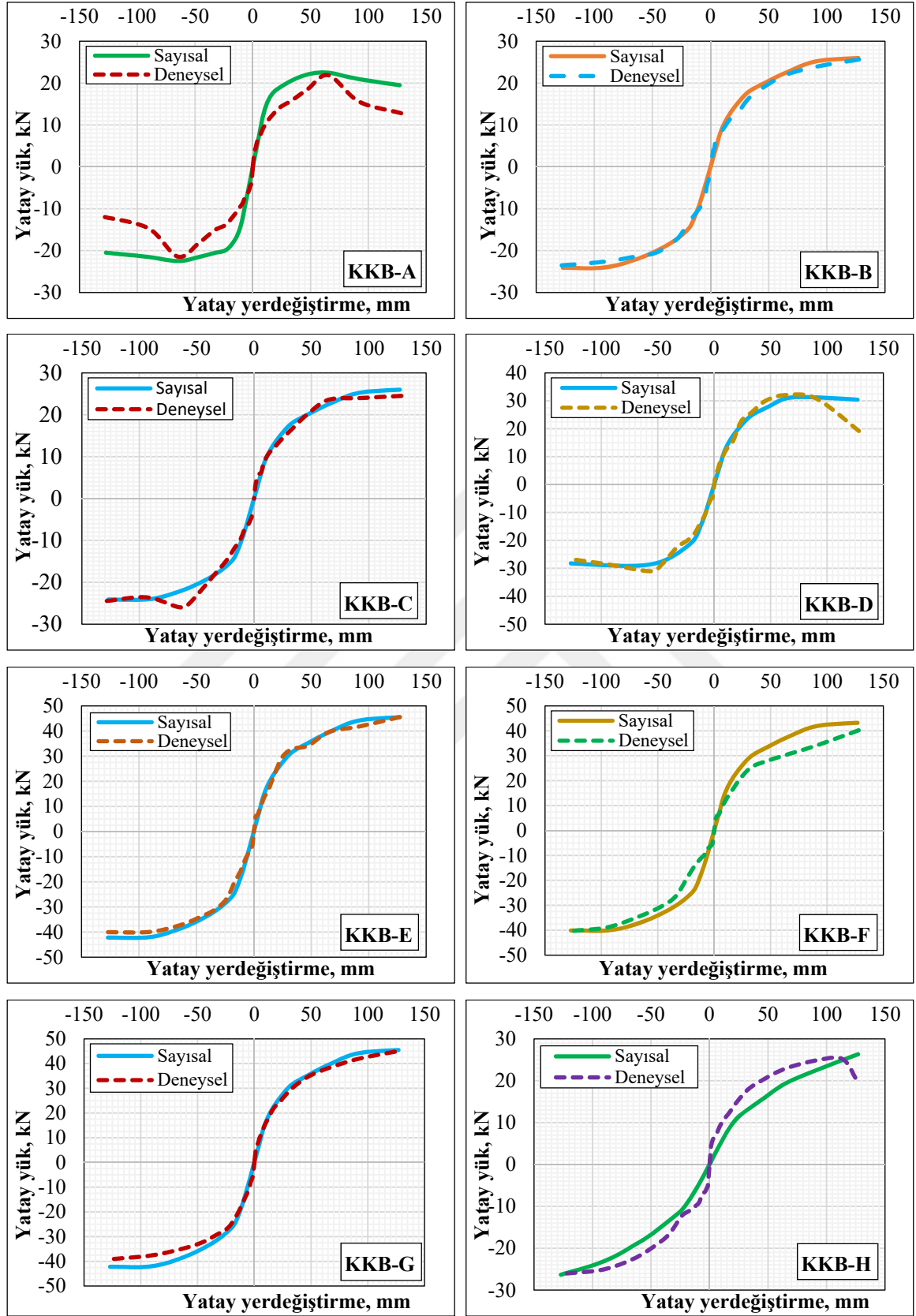


Şekil 3.70. KKB-H elemanında oluşan plastik şekil değiştirmeler



Şekil 3.71. KKB-H elemanında oluşan gerilme dağılımı (MPa)

Özet olarak çalışma kapsamında incelenen sekiz farklı kolon-kiriş birleşim detayının deneysel ve sayısal çalışma sonucu elde edilen dayanım zarfı eğrileri üst üste çakıştırılarak Şekil 3.72’de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi KKB-A, KKB-D ve KKB-H elemanların deneysel ve sayısal dayanım zarfı eğrileri arasındaki fark diğerlerine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise söz konusu elemanlarda birleşim bölgesi kırılmasının olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında tasarlanan geçmeli kirişli kolon-kiriş birleşim bölgesi deneysel ve sayısal olarak kararlı bir performans sergileyerek güçlü kolon-zayıf kiriş ilişkisini göstermiştir. Dolayısıyla depreme dayanıklı yapıların tasarımında geçmeli kirişli birleşimlerin kullanılması önerilmektedir. Ayrıca KKB-E, KKB-F ve KKB-G modellerinde kullanılan uzun bulonların etkisi sayısal olarak da doğrulanmıştır. Yapılan çalışmada, uzun bulon kullanılan modellerde kolon-kiriş birleşim bölgesindeki çatlaklar tüm yüzeylerde oluşmuş bu da yükün birleşim bölgesinin tamamına yayıldığını göstermektedir.



Şekil 3.72. Deney elemanlarına ait, deneysel ve sayısal olarak elde edilen dayanım zarfı eğrileri

3.5. Deneysel ve Sayısal Olarak Elde Edilen Dinamik Karakteristiklerin Karşılaştırmalı Olarak İrdelenmesi

Çalışma kapsamında incelenen deney elemanlarının doğal frekans mod şekli ve sönüm oranları gibi dinamik karakteristikleri, hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel olarak elde etmek amacıyla çevresel titreşim testleri uygulanmıştır. Tüm ölçümlerde test süreleri 15 dakika ve B&K 4506 tipi üç eksenli ivmeölçerler kullanılmıştır. İvmeölçerlerden elde edilen sinyaller B&K 3560 tipi 17 kanallı veri toplama ünitesinde birleştirilmiş ve PULSE yazılımına aktarılmıştır. Bu sinyaller Operational Modal Analysis (OMA, 2006) yazılımına transfer edilerek işlenmiş ve modelin doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları elde edilmiştir. Sinyallerin işlenmesinde Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma Yöntemi (GFTAA) ile zaman ortamında Stokastik Altalan Belirleme Yöntemleri (SAB) kullanılmıştır. Ölçümlerde herhangi bir uyarıcı kullanılmayıp çevresel etkiler altında ölçüm yapılmıştır.

Her bir deney elemanı için oluşturulan sonlu elemanlar modelinin analizinden sayısal olarak elde edilen dinamik karakteristikleri ile deneysel ölçümlerle belirlenen bulgular karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir.

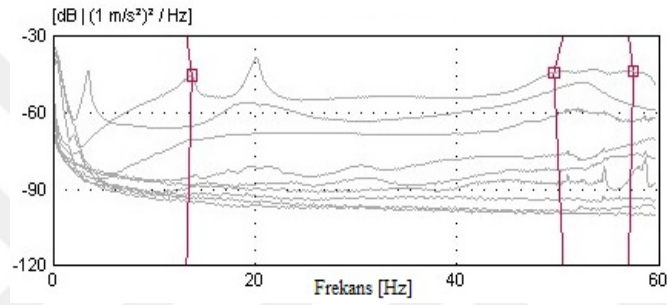
3.5.1. Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Geleneksel Ahn Levhali Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-A)

Hasarsız durumu veya başka bir deyişle tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmadan önce KKB-A elemanının deneysel modal analiz yöntemiyle dinamik karakteristiklerinin elde etmek amacıyla çevresel titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Çevresel titreşim testine ait görünümler Şekil 3.73'te verilmiştir. Hasarsız KKB-A elemanının çevresel titreşim testleri sonucunda elde edilen sinyallerin, GFTAA yöntemi ile ayrıştırılması sonucu elde edilen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.74'te, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre ayrıştırılması sonucu elde edilen kararlılık diyagramları Şekil 3.75'te verilmiştir.

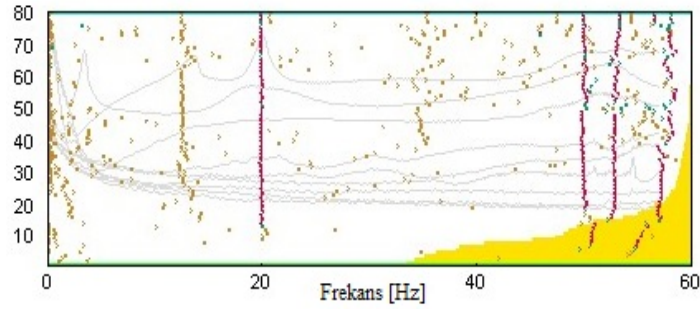
Hasarsız KKB-A elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemlerine göre elde edilen mod şekilleri benzer olup Şekil 3.76'da verilmiştir.



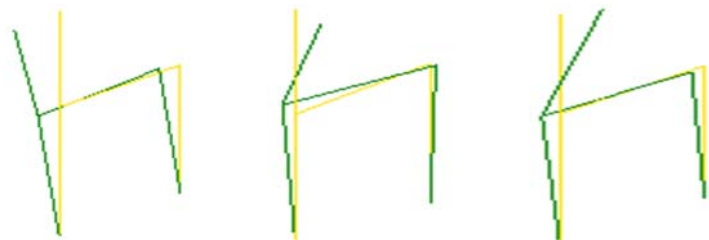
Şekil 3.73. Hasarsız KKB-A elemanın çevresel titreşim testine ait bazı görünüşler



Şekil 3.74. Hasarsız KKB-A elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



Şekil 3.75. Hasarsız KKB-A elemanına ait kararlılık diyagramı



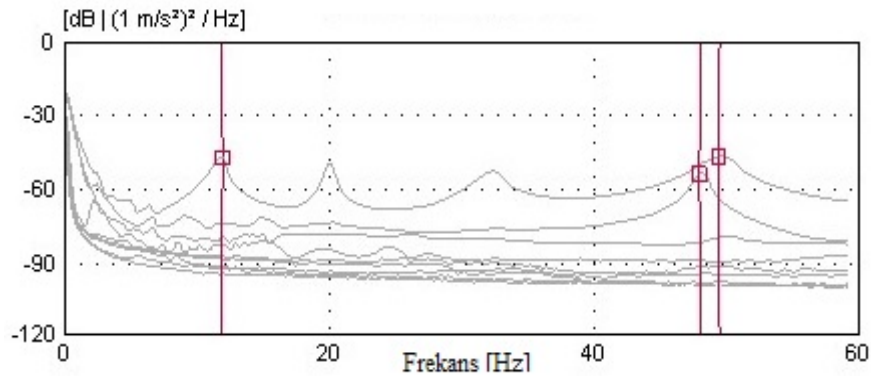
(a) 1. mod şekli (b) 2. mod şekli (c) 3. mod şekli

Şekil 3.76. KKB-A elemanın hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

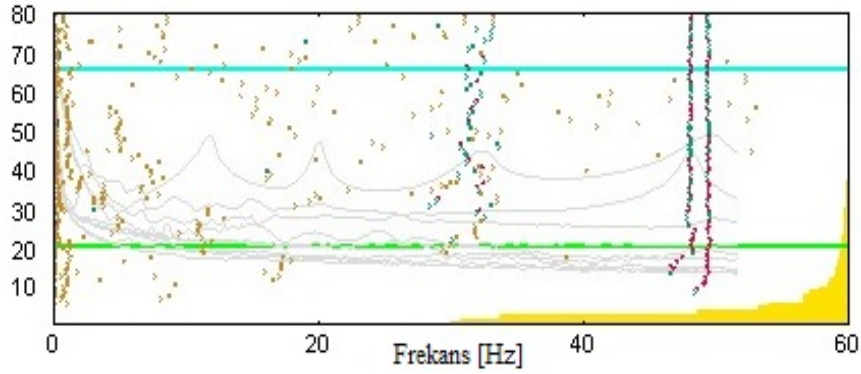
Çalışma kapsamında KKB-A kodlu deney elemanı, yük taşıma kapasitesi, rijitlik değişimi ve enerji tüketme kabilyetini belirlemek için tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Daha önce belirtildiği gibi çevrimsel yükleme deneyi sonunda, kolon-kiriş birleşim bölgesinde önemli derecede hasar oluşmuştur. Çevrimsel yükleme deneyinden sonra, hasardan dolayı KKB-A elemanının dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimi incelemek amacıyla çevresel titreşim testleri hasarlı model üzerine gerçekleştirilmiştir. Hasarlı KKB-A elemanının çevresel titreşim testine ait görünümü Şekil 3.77’de, elde edilen sinyallerin, GFTAA yöntemi ile ayrıştırılması sonucu belirlenen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.78’de, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre ayrıştırılması sonucu elde edilen kararlılık diyagramları ise Şekil 3.79’da verilmiştir. Ayrıca çevresel titreşim testleri sonucunda, hasarlı durumu için elde edilen mod şekilleri Şekil 3.80’de sunulmuştur.



Şekil 3.77. Hasarlı KKB-A elemanının çevresel titreşim testinden bazı görünüşler

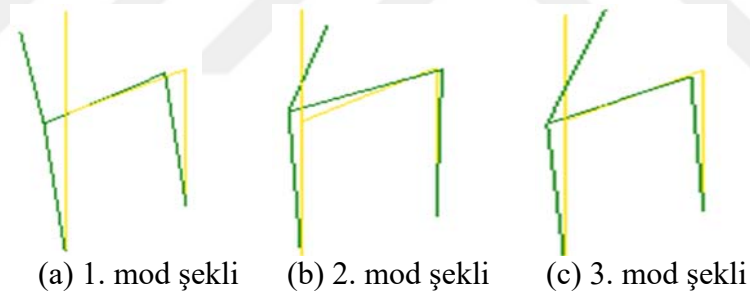


Şekil 3.78. Hasarlı KKB-A elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



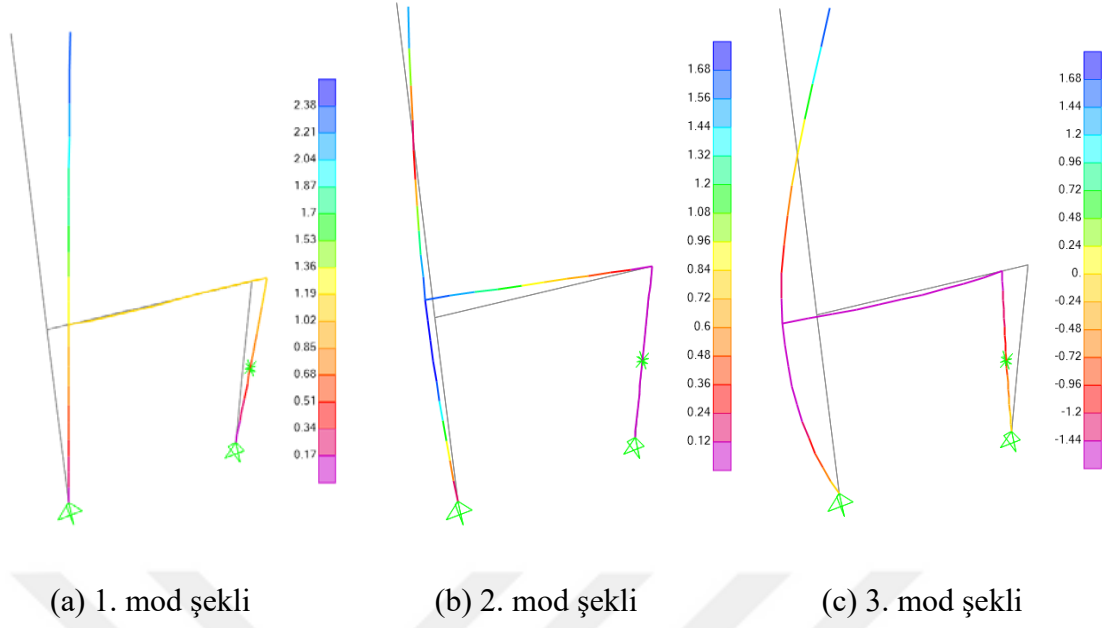
Şekil 3.79. Hasarlı KKB-A elemanına ait kararlılık diyagramı

Deneysel ölçümler sonucunda yalnızca düzlemdeki mod şekilleri dikkate alınarak hesaplanan mod şekilleri GFTAA yöntemi ve SAB yöntemine göre benzer çıkmıştır. KKB-A deney elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümler sonucunda GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri ve sönüm oranları Tablo 3.2’de özetlenmiştir.



Şekil 3.80. KKB-A elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

KKB-A deney elemanının doğal frekans ve mod şeklini sayısal olarak belirlemek amacıyla hazırlanan sonlu elemanlar modelinin (SEY) üzerine gerçekleştirilen doğrusal analiz sonucu elde edilen doğal frekans değerleri Tablo 3.2’de ve ilk üç mod şekli de Şekil 3.81’de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi deneysel mod şekillerine benzer biçimde, deney elemanın ilk modu düzlem içi yönde öteleme, ikinci modu düzleme dik eğilme ve üçüncü modu ise düzlem içi dönme olarak belirlenmiştir.

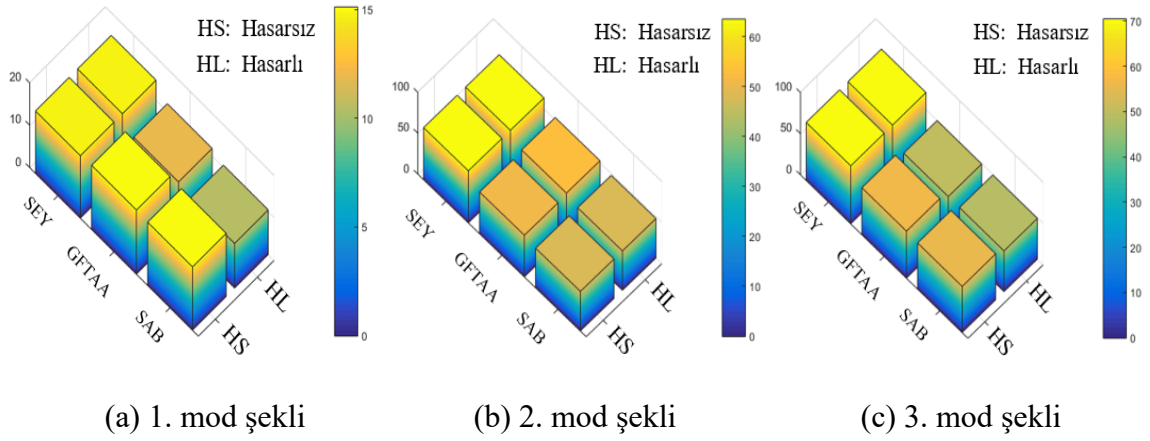


Şekil 3.81. KKB-A elemanın hasarsız durumu için sayısal olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Tablo 3.2. KKB-A elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları

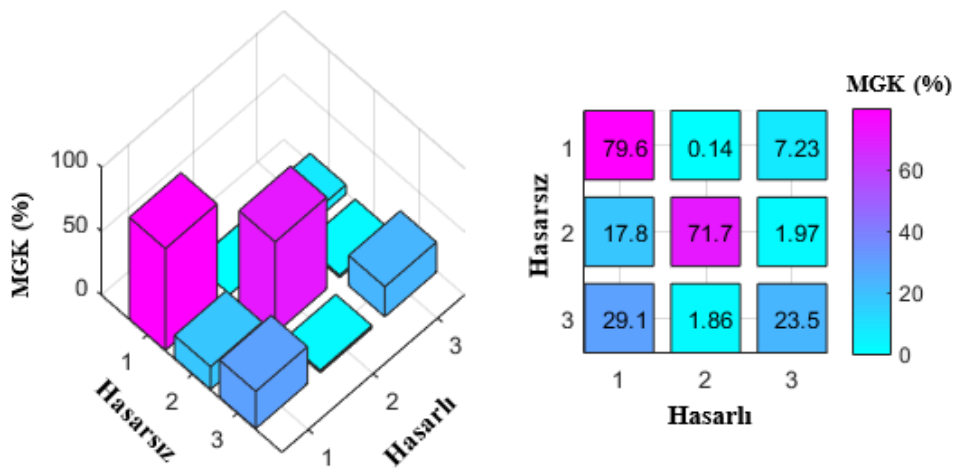
Mod Numarası	Hasarsız Deneysel				Hasarlı Deneysel				Sayısal
	GFTAA		SAB		GFTAA		SAB		SEY
	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]
1	15.10	3.69	14.89	5.04	11.82	3.25	10.52	--	14.72
2	50.83	1.45	52.79	1.96	48.18	1.14	48.16	0.92	63.51
3	57.02	1.06	55.88	0.96	49.55	2.36	49.47	2.10	70.38

Tablo 3.2 incelendiğinde, GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri arasında tam bir uyum varken sönüm oranları için böyle bir uyum gözlemlenmemiştir. Modelin hasar görmesiyle beraber frekans değerlerinin düşüşü sırasıyla, birinci modda %21.7, ikinci modda %5.21 ve üçüncü modda %13.1 olarak hesaplanmıştır. Sönüm oranlarının ilk ve ikinci modda düştüğü, üçüncü modda arttığı gözlemlenmiştir. Hasarlı ve hasarsız durumlar için elde edilen doğal frekans değerlerinin değişimi Şekil 3.82’de grafiksel olarak verilmiştir. Hasarsız deneysel ve sayısal frekans değerleri arasındaki fark sırasıyla 1. modda %2.5, ikinci modda %24.9 ve üçüncü modda %23.4 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.82. KKB-A elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi

İki mod şeklin birbirleriyle uyumu genellikle Modal Güvence Kriteri (MGK) ile belirlenmektedir. KKB-A deney elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümlerden elde edilen mod şekilleri MGK kriterine göre incelenmiştir (Şekil 3.83). MGK grafikleri incelendiğinde hasar ile beraber birinci (%79.6) ve ikinci (%71.7) modların uyum içinde olduğu gözlemlenirken, üçüncü (%23.5) mod şeklinde önemli derecede bozulma meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi ise üçüncü mod kolon-kiriş birleşim bölgesinden dönerek hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. Tekrarlı yatay yükleme deneyinden sonra kolon-kiriş birleşim bölgesi hasar gördüğünden rijitliği azalmış, dolayısıyla üçüncü mod şekli hasarsız ve hasarlı durumları için benzeşmemektedir.



Şekil 3.83. KKB-A elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği

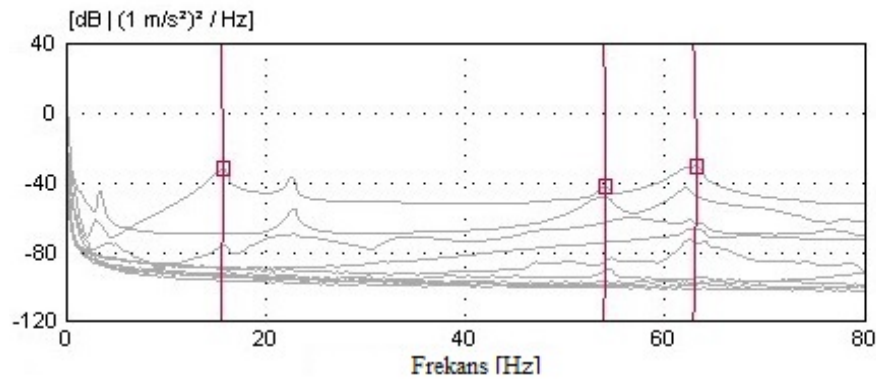
3.5.2. Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Kaynaklı Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-B)

Kompozit kolon-geçmeli çelik kiriş, kaynaklı birleşimli deney elemanı (KKB-B), tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmadan önce hasarsız durumda deneysel modal analiz yöntemiyle dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi amacıyla çevresel titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Çevresel titreşim testine ait görünüşler Şekil 3.84’te verilmiştir. Hasarsız KKB-B elemanının çevresel titreşim testleri sonucunda toplanan sinyallerin, GFTAA yöntemi ile elde edilen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.85’te, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre elde edilen kararlılık diyagramları Şekil 3.86’da verilmiştir.

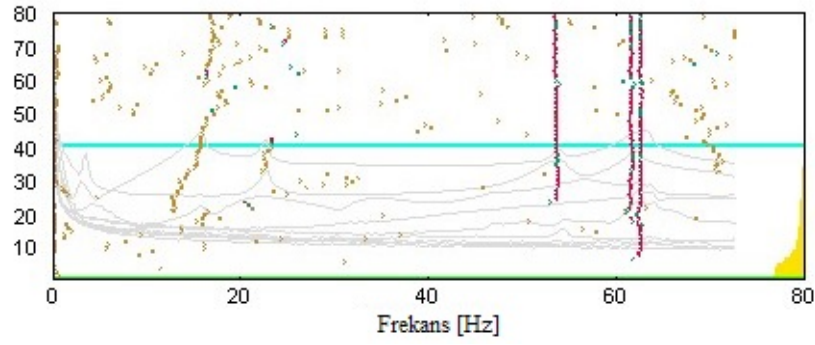
Hasarsız KKB-B elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemlerine göre elde edilen mod şekilleri benzer olup Şekil 3.87’de verilmiştir.



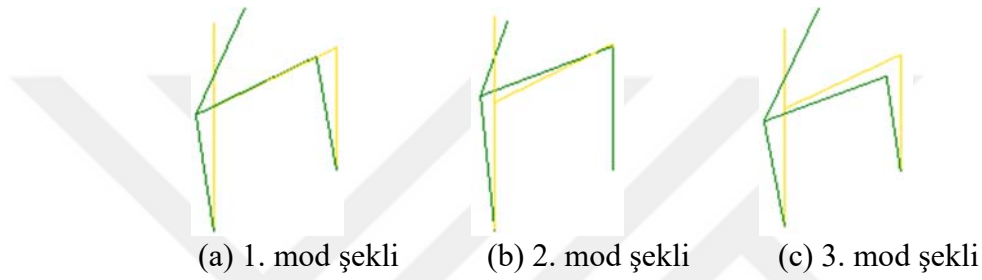
Şekil 3.84. Hasarsız KKB-B elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünüşler



Şekil 3.85. Hasarsız KKB-B elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



Şekil 3.86. Hasarsız KKB-B elemanına ait kararlılık diyagramı



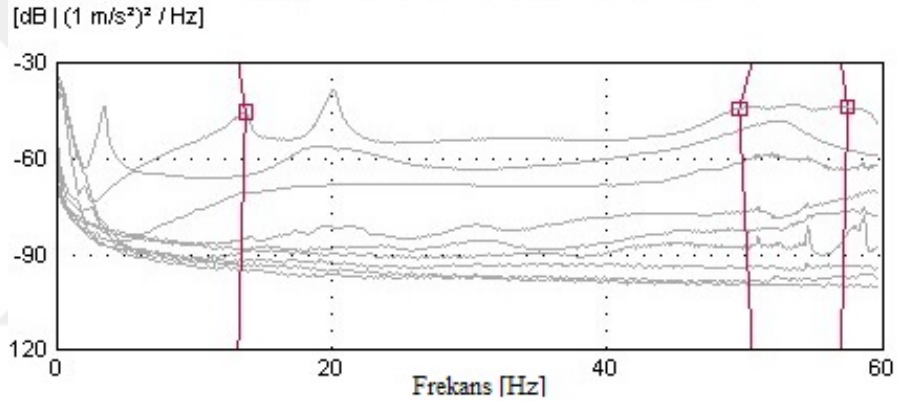
Şekil 3.87. KKB-B elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Çalışma kapsamında KKB-B kodlu deney elemanı, yük taşıma kapasitesi, rijitlik değişimi ve enerji tüketme kabilyetini belirlemek için tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Daha önce belirtildiği gibi çevrimsel yükleme deneyi sonunda, kolon-kiriş birleşim bölgesinde önemli derecede hasar oluşmuştur. Çevrimsel yükleme deneyinden sonra, KKB-B elemanının hasardan dolayı dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimi incelemek amacıyla çevresel titreşim testleri hasarlı model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hasarlı KKB-B elemanının çevresel titreşim testine ait görünümleri Şekil 3.88’de, elde edilen sinyallerin, GFTAA yöntemi ile ayrıştırılması sonucu belirlenen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.89’da, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre ayrıştırılması sonucu oluşturulan kararlılık diyagramları ise Şekil 3.90’da verilmiştir. Ayrıca çevresel titreşim testleri sonucunda, hasarlı durum için elde edilen mod şekilleri Şekil 3.91’de verilmiştir.

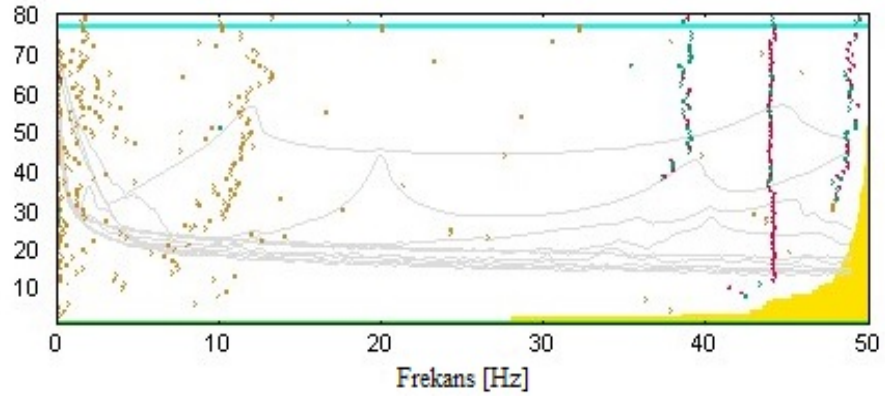
Hasarlı KKB-B elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemine göre elde edilen mod şekilleri benzer çıkmıştır. Bu elemana ait hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümler sonucunda GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri ve sönüm oranları Tablo 3.3’te özetlenmiştir.



Şekil 3.88. Hasarlı KKB-B elemanın çevresel titreşim testinden bazı görünümeler



Şekil 3.89. Hasarlı KKB-B elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



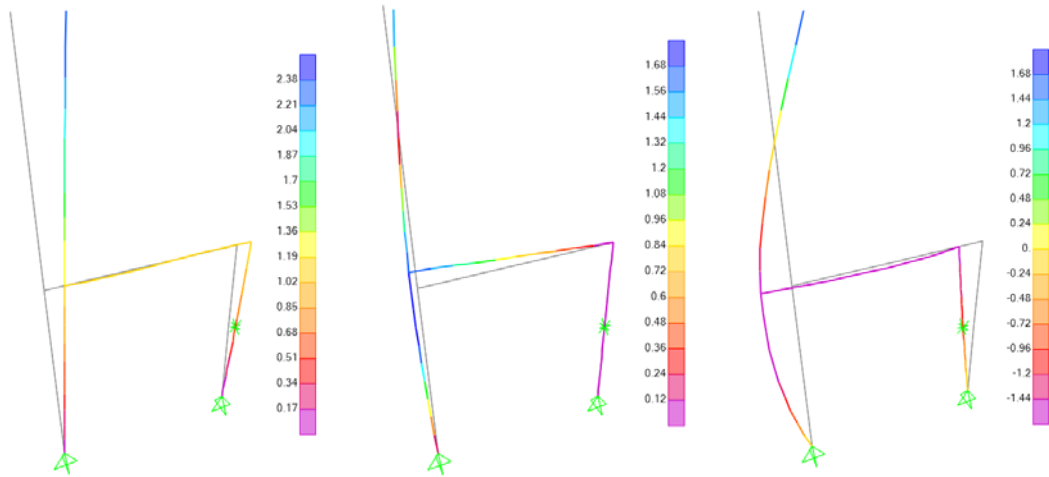
Şekil 3.90. Hasarsız KKB-B elemanına ait kararlılık diyagramı



(a) 1. mod şekli (b) 2. mod şekli (c) 3. mod şekli

Şekil 3.91. KKB-B elemanın hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

KKB-B deney elemanın doğal frekans ve mod şekillerinin sayısal olarak belirlenmesi amacıyla hazırlanan sonlu elemanlar modelinin (SEY) üzerine gerçekleştirilen modal analiz sonucu elde edilen doğal frekans değerleri Tablo 3.2’de ve ilk üç mod şekli de Şekil 3.92’de verilmiştir. Şekil 3.92’den görüldüğü gibi sayısal mod şekilleri deneysel mod şekillerine benzer biçimde, deney elemanın ilk modu düzlem içi yönde öteleme, ikinci modu düzleme dik eğilme ve üçüncü modu ise düzlem içi dönme olarak belirlenmiştir.



(a) 1. mod şekli

(b) 2. mod şekli

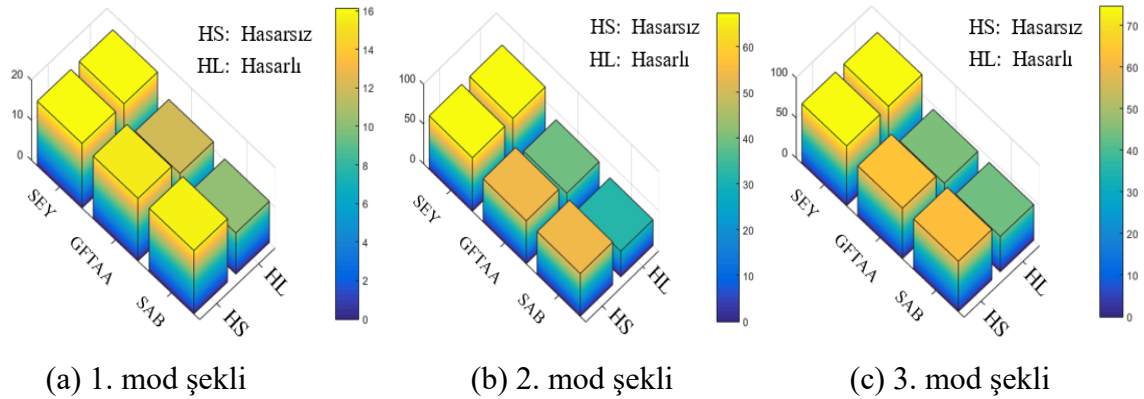
(c) 3. mod şekli

Şekil 3.92. KKB-B elemanın hasarsız durumu için sayısal olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Tablo 3.3. KKB-B elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları

Mod Numarası	Hasarsız Deneysel				Hasarlı Deneysel				Sayısal
	GFTAA		SAB		GFTAA		SAB		SEY
	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]
1	15.59	3.52	15.78	2.66	11.91	1.23	10.26	0.85	16.12
2	53.93	1.09	53.63	1.16	39.18	1.96	32.20	1.62	67.17
3	62.88	0.96	62.66	1.11	44.52	2.58	44.24	2.23	74.51

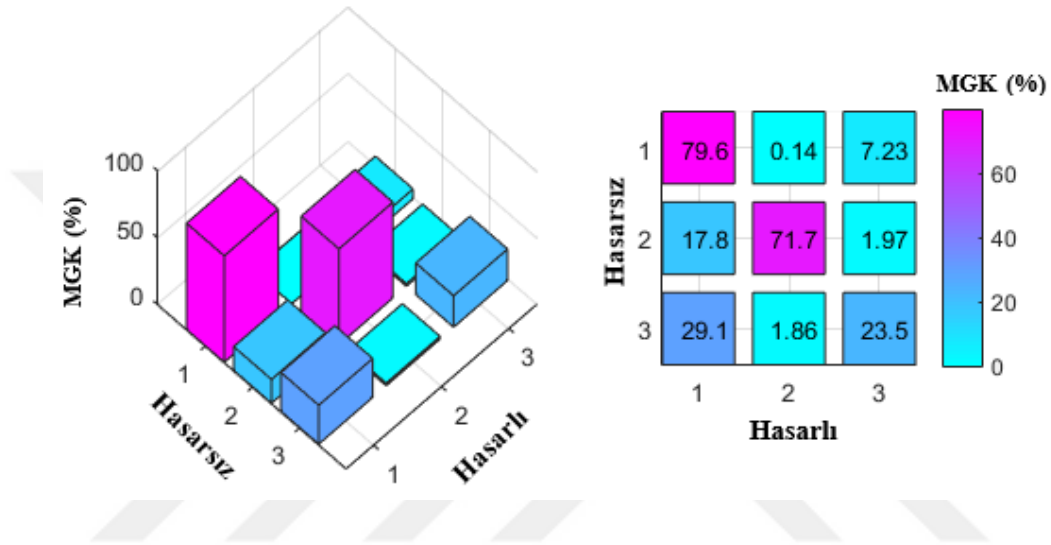
Tablo 3.2 incelendiğinde, GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri arasında tam bir uyum varken sönüm oranları için böyle bir uyum gözlemlenememiştir. Modelin hasar görmesiyle beraber frekans değerlerinin düşüşü sırasıyla, birinci modda %23.6, ikinci modda %27.3 ve üçüncü modda %29.1 olarak hesaplanmıştır. Sönüm oranlarının ilk modda düştüğü ikinci ve üçüncü modda arttığı gözlemlenmiştir. Hasarsız ve hasarlı durumlar için elde edilen deneysel doğal frekans değerlerinin değişimi Şekil 3.93'te grafiksel olarak verilmiştir. Ayrıca Tablo 3.3'e göre hasarsız deneysel ve sayısal frekans değerleri arasındaki farklar sırasıyla 1. modda %3.39, ikinci modda %53.7 ve üçüncü modda %18.4 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.93. KKB-B elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi

KKB-B deney elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümlerden elde edilen mod şekilleri MGK kriterine göre incelenmiştir. MGK grafikleri Şekil 3.94'te

verilmiştir. MGK grafikleri incelendiğinde hasar ile beraber birinci (%79.6) ve ikinci (%71.7) modların uyum içinde olduğu gözlemlenirken, üçüncü (%23.5) mod şeklinde önemli derecede bozulma meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi ise üçüncü mod kolon-kiriş birleşim bölgesinden dönerek hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. Hasar sonrası kolon-kiriş birleşim bölgesi hasar gördüğünden rijitliği azalmış, dolayısıyla üçüncü mod şekli hasarsız ve hasarlı durumları için birbirine çok benzememektedir.



Şekil 3.94. KKB-B elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği

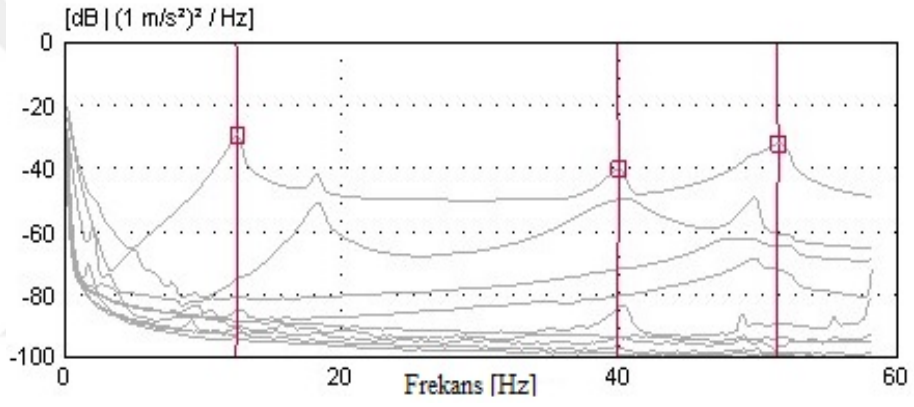
3.5.3. Kompozit Kolon-Geçmeli Çelik Kiriş, Bulonlu Birleşimli, Deneysel Eleman (KKB-C)

Kompozit kolon-geçmeli çelik kiriş, bulonlu birleşimli deneysel elemanı (KKB-C) tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmadan önce hasarsız durumda deneysel modal analiz yöntemiyle dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi amacıyla çevresel titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Çevresel titreşim testine ait görünüm Şekil 3.95'te verilmiştir. Hasarsız KKB-C elemanın çevresel titreşim testleri sonucunda toplanan sinyallerin, GFTAA yöntemi ile elde edilen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.96'da, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre elde edilen kararlılık diyagramları Şekil 3.97'de verilmiştir.

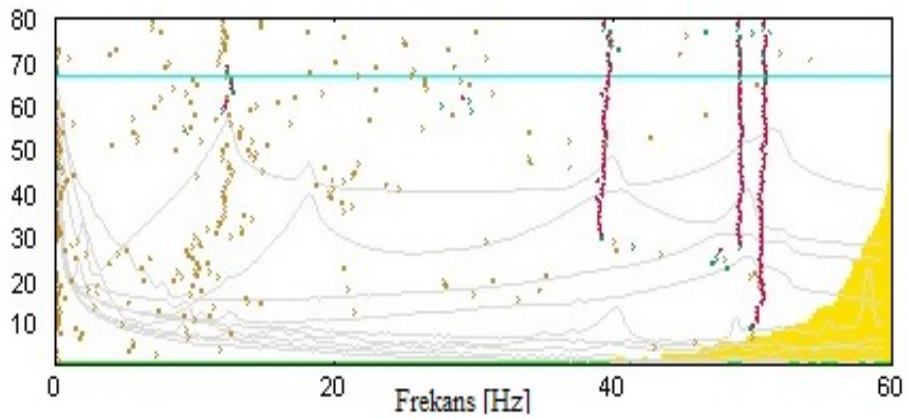
Hasarsız KKB-C elemanın çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemlerine göre elde edilen mod şekilleri benzer olup Şekil 3.98'de verilmiştir.



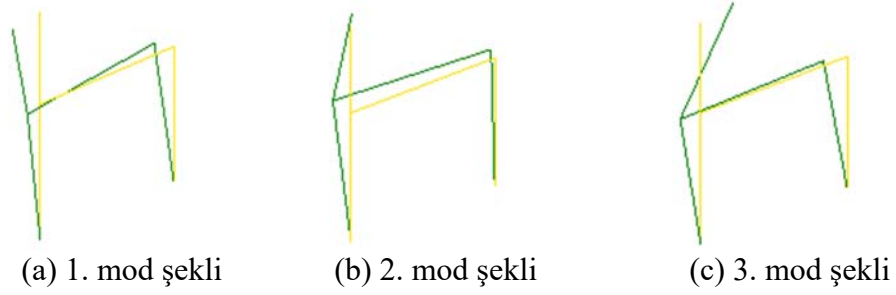
Şekil 3.95. Hasarsız KKB-C elemanın çevresel titreşim testine ait bazı görünüm



Şekil 3.96. Hasarsız KKB-C elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



Şekil 3.97. Hasarsız KKB-C elemanına ait kararlılık diyagramı



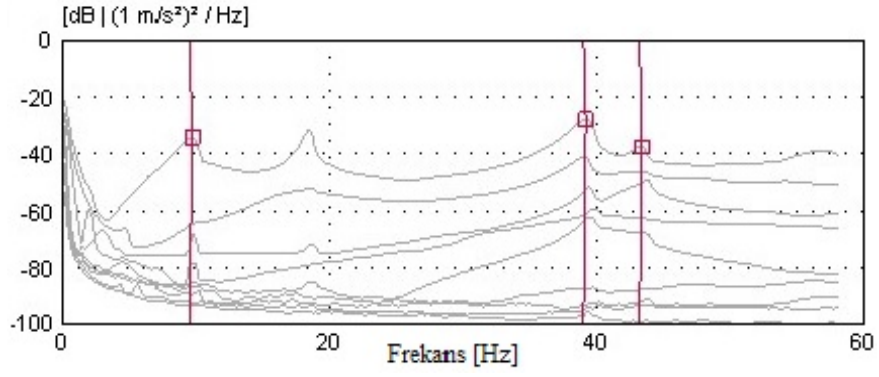
Şekil 3.98. KKB-C elemanın hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Çalışma kapsamında KKB-C deney elemanı yük taşıma kapasitesi, rijitlik değişimi ve enerji tüketme kabiliyetini belirlemek için tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Çevrimsel yükleme deneyi sonunda, kolon-kiriş birleşim bölgesinde önemli derecede hasar oluşmuştur. Çevrimsel yükleme deneyinden sonra, KKB-C elemanın hasardan dolayı dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimi incelemek amacıyla çevresel titreşim testleri hasarlı model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hasarlı KKB-C elemanın çevresel titreşim testine ait görünümü Şekil 3.99’da, elde edilen sinyallerin, GFTAA yöntemi ile ayrıştırılması sonucu belirlenen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.100’de, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre ayrıştırılması ile oluşturulan kararlılık diyagramları ise Şekil 3.101’de verilmiştir. Ayrıca çevresel titreşim testleri sonucunda, hasarlı durum için elde edilen mod şekilleri Şekil 3.102’de sunulmuştur.

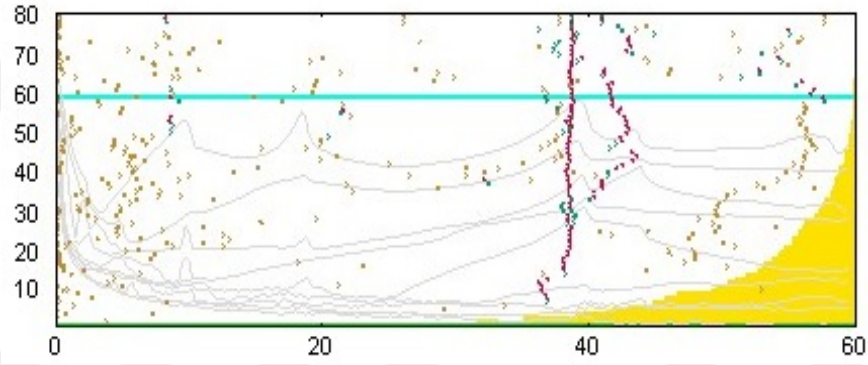
Hasarlı KKB-C elemanın çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemine göre elde edilen mod şekilleri benzer çıkmıştır. Bu elemana ait hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümler sonucunda GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri ve sönüm oranları Tablo 3.4’te özetlenmiştir.



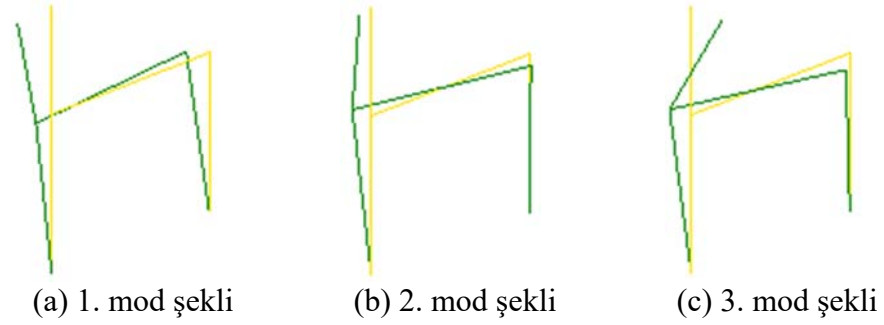
Şekil 3.99. Hasarlı KKB-C elemanın çevresel titreşim testinden bazı görüntüler



Şekil 3.100. Hasarlı KKB-C elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



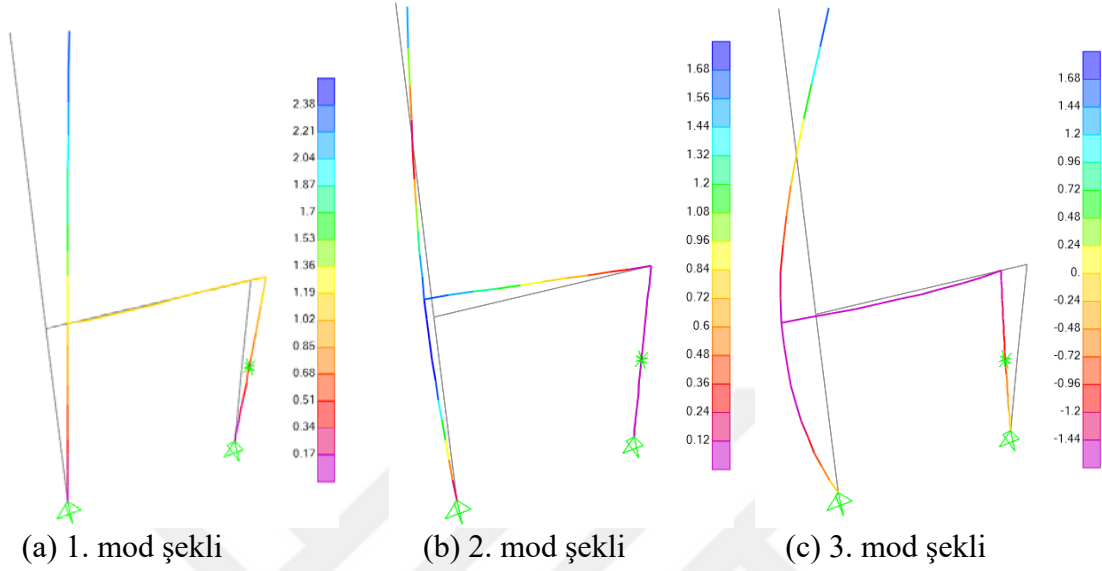
Şekil 3.101. Hasarlı KKB-C elemanına ait kararlılık diyagramı



Şekil 3.102. KKB-C elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

KKB-C deney elemanın doğal frekans ve mod şekillerinin sayısal olarak belirlenmesi amacıyla hazırlanan sonlu elemanlar modelinin (SEY) üzerine gerçekleştirilen modal analiz sonucu elde edilen doğal frekans değerleri Tablo 3.4'te ve ilk üç mod şekli de Şekil 3.103'te verilmiştir. Şekil 3.103'ten görüldüğü gibi sayısal mod şekilleri deneysel mod şekillerine

benzer biçimde, deney elemanın ilk modu düzlem içi yönde öteleme, ikinci modu düzleme dik eğilme ve üçüncü modu ise düzlem içi dönme olarak belirlenmiştir.



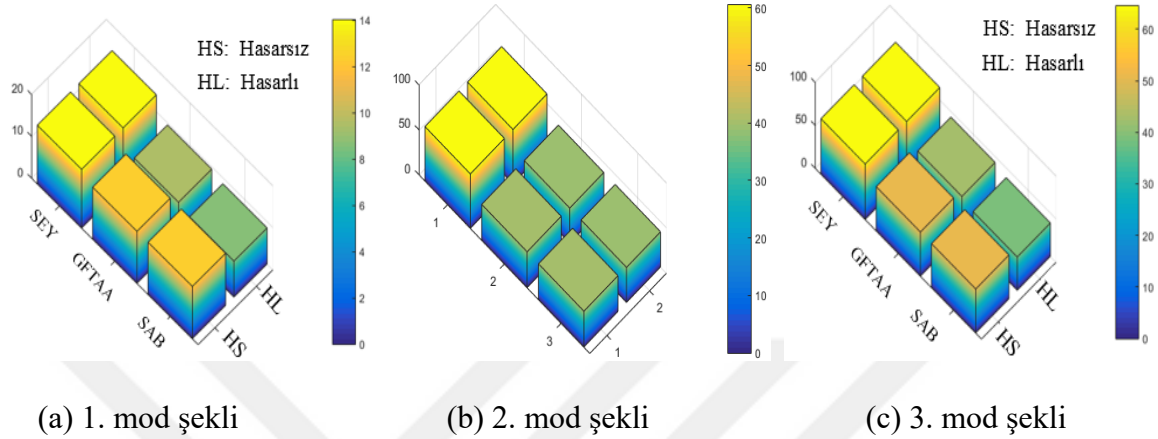
Şekil 3.103. KKB-C elemanın hasarsız durumu için sayısal olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Tablo 3.4. KKB-C deney elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları

Mod Numarası	Hasarsız Deneysel				Hasarlı Deneysel				Sayısal
	GFTAA		SAB		GFTAA		SAB		SEY
	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]
1	12.41	3.12	12.46	5.03	9.46	6.72	8.61	2.67	14.02
2	39.88	1.28	39.77	1.79	39.06	2.05	36.82	3.89	60.51
3	51.35	1.49	51.04	1.51	43.32	0.94	38.80	1.54	64.51

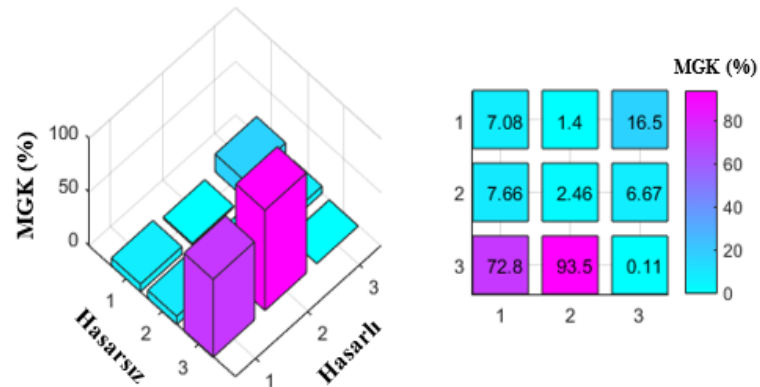
Tablo 3.4 incelendiğinde, GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri arasında tam bir uyum varken sönüm oranları için böyle bir uyum gözlemlenmemiştir. Modelin hasar görmesiyle beraber frekans değerlerinin düşüşü sırasıyla, birinci modda %23.8, ikinci modda %2.0 ve üçüncü modda %15.6 olarak hesaplanmıştır. Sönüm oranlarının birinci ve ikinci modda arttığı, üçüncü modda düştüğü gözlemlenmiştir. Hasarsız ve hasarlı durumlar için elde edilen deneysel doğal frekans değerlerinin değişimi Şekil

3.104'te grafiksel olarak verilmiştir. Ayrıca Tablo 3.4'e göre hasarsız deneysel ve sayısal frekans değerleri arasındaki farklar sırasıyla 1. modda %12.9, ikinci modda %51.7 ve üçüncü modda %25.46 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.104. KKB-C elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi

KKB-C deney elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümlerden elde edilen mod şekilleri MGK kriterine göre incelenmiştir. MGK grafikleri Şekil 3.105'te verilmiştir. MGK grafikleri incelendiğinde hasar ile beraber birinci (%7.08), ikinci (%2.46) ve üçüncü (%0.11) mod şekillerinde önemli derecede bozulma meydana geldiği görülmektedir. Hasar sonrası kolon-kiriş birleşim bölgesi hasar gördüğünden rijitliği azalmış, mod şekilleri tamamen değişmiştir. Hasarlı modelin ikinci ve üçüncü modları hasarsız modelin üçüncü moduna yaklaşmıştır.



Şekil 3.105. KKB-C elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK grafiği

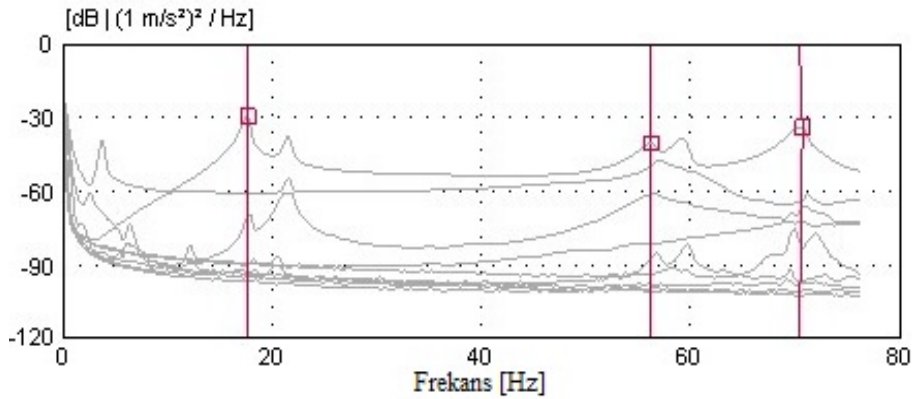
3.5.4. Kompozit Kolon-Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-D)

Kompozit kolon-çelik kiriş, tek guseli birleşimli deney elemanının (KKB-D) tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmadan önce hasarsız durumda deneysel modal analiz yöntemiyle dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi amacıyla çevresel titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Çevresel titreşim testine ait görünüm Şekil 3.106'da verilmiştir. Hasarsız KKB-D elemanının çevresel titreşim testleri sonucunda toplanan sinyallerin, GFTAA yöntemi ile elde edilen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.107'de, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre elde edilen kararlılık diyagramları ise Şekil 3.108'de verilmiştir.

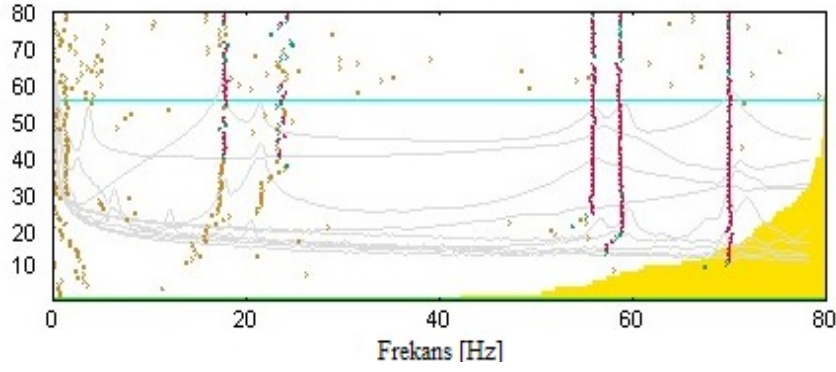
Hasarsız KKB-D elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemlerine göre elde edilen mod şekilleri benzer olup Şekil 3.109'da verilmiştir.



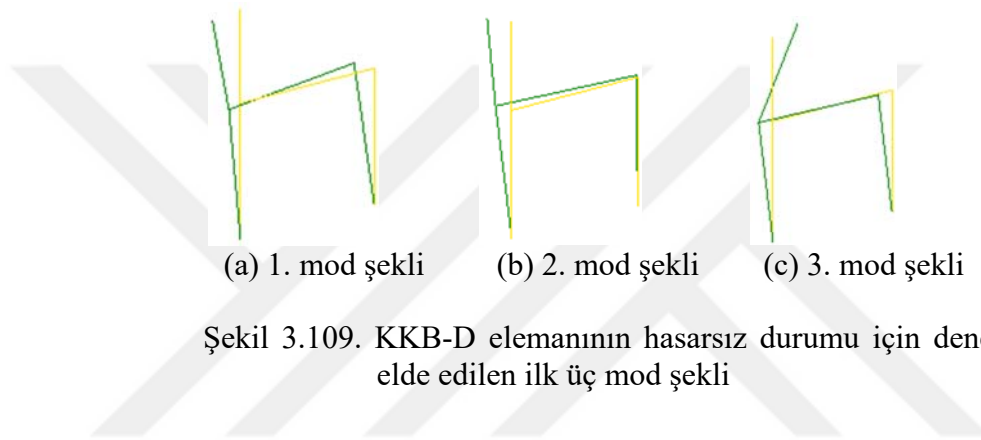
Şekil 3.106. Hasarsız KKB-D elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünüm



Şekil 3.107. Hasarsız KKB-D elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



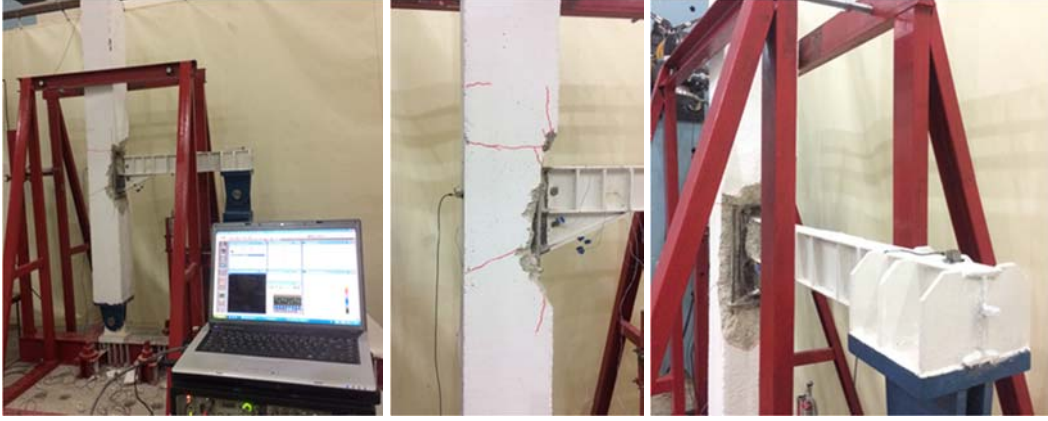
Şekil 3.108. Hasarsız KKB-D elemanına ait kararlılık diyagramı



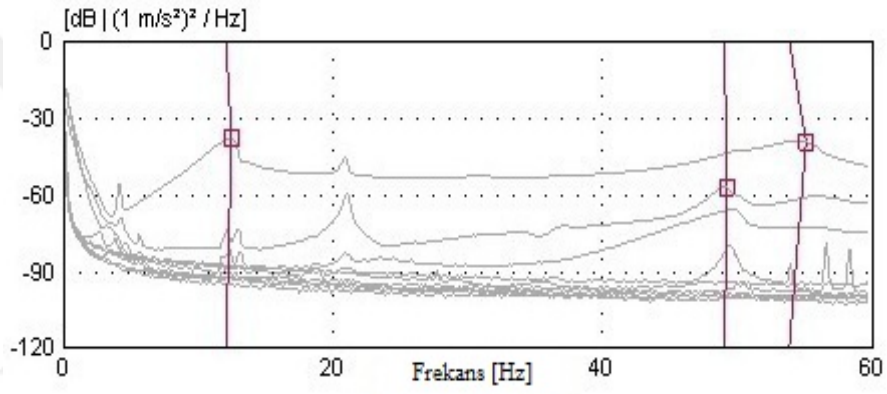
Şekil 3.109. KKB-D elemanının hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Çalışma kapsamında KKB-D deney elemanının yük taşıma kapasitesi, rijitlik değişimi ve enerji tüketme kabilyetini belirlemek için tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Çevrimsel yükleme deneyi sonunda, kolon-kiriş birleşim bölgesinde önemli derecede hasar oluşmuştur. Çevrimsel yükleme deneyinden sonra, KKB-D elemanının hasardan dolayı dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimi incelemek amacıyla çevresel titreşim testleri hasarlı model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hasarlı KKB-D elemanının çevresel titreşim testine ait görünümü Şekil 3.110’de, elde edilen sinyallerin, GFTAA yöntemi ile ayrıştırılması sonucu belirlenen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.111’de, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre ayrıştırılması ile oluşturulan kararlılık diyagramları ise Şekil 3.112’de verilmiştir. Ayrıca çevresel titreşim testleri sonucunda, hasarlı durum için elde edilen mod şekilleri Şekil 3.113’te sunulmuştur.

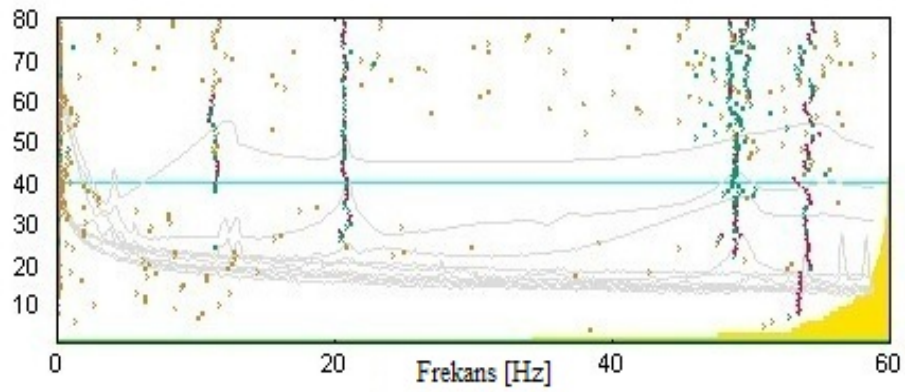
Hasarlı KKB-D elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemine göre elde edilen mod şekilleri benzer çıkmıştır. Bu elemana ait hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümler sonucunda GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri ve sönüm oranları Tablo 3.5’te özetlenmiştir.



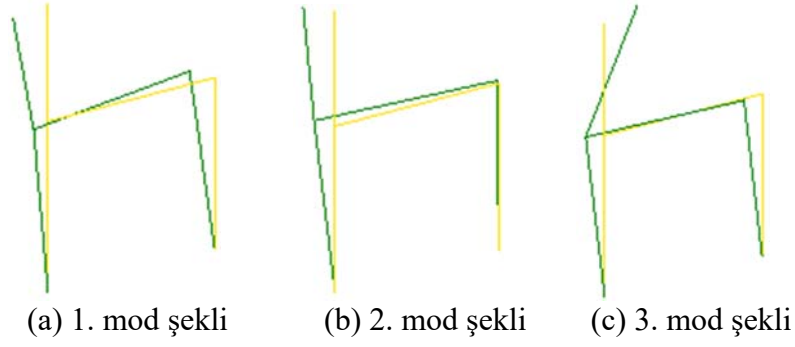
Şekil 3.110. Hasarlı KKB-D elemanın çevresel titreşim testinden bazı görünüm



Şekil 3.111. Hasarlı KKB-D elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri

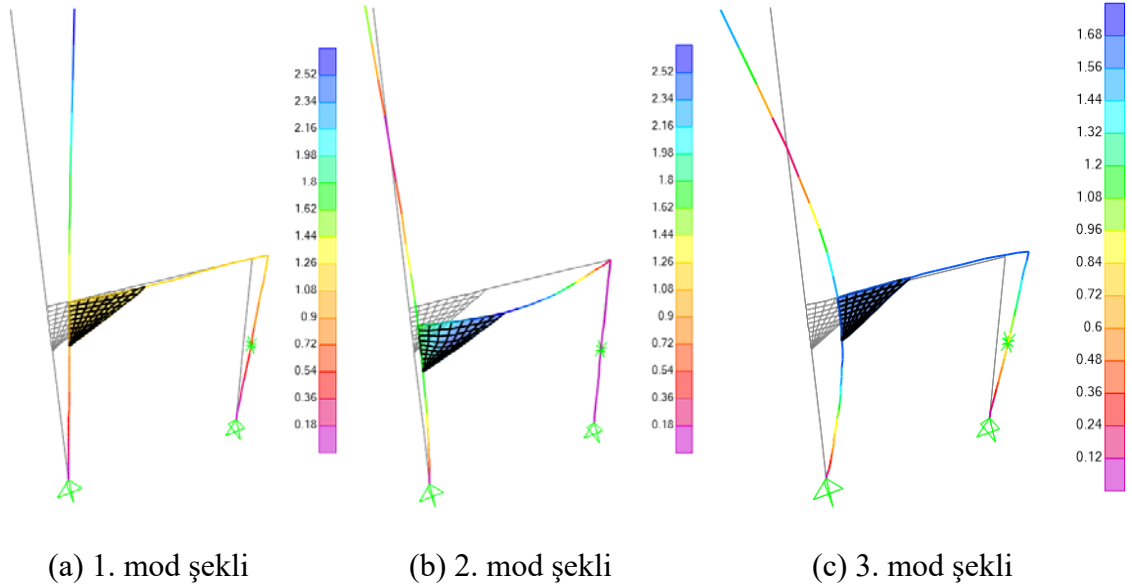


Şekil 3.112. Hasarlı KKB-D elemanına ait kararlılık diyagramı



Şekil 3.113. KKB-D elemanın hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

KKB-D deney elemanın doğal frekans ve mod şekillerinin sayısal olarak belirlenmesi amacıyla hazırlanan sonlu elemanlar modelinin üzerine gerçekleştirilen modal analiz sonucu elde edilen doğal frekans değerleri Tablo 3.5'te ve ilk üç mod şekli de Şekil 3.114'te verilmiştir. Şekil 3.114'ten görüldüğü gibi sayısal mod şekilleri deneysel (hasarsız) mod şekillerine benzer biçimde, deney elemanın ilk modu düzlem içi yönde öteleme, ikinci modu düzleme dik eğilme ve üçüncü modu ise düzlem içi dönme olarak belirlenmiştir.

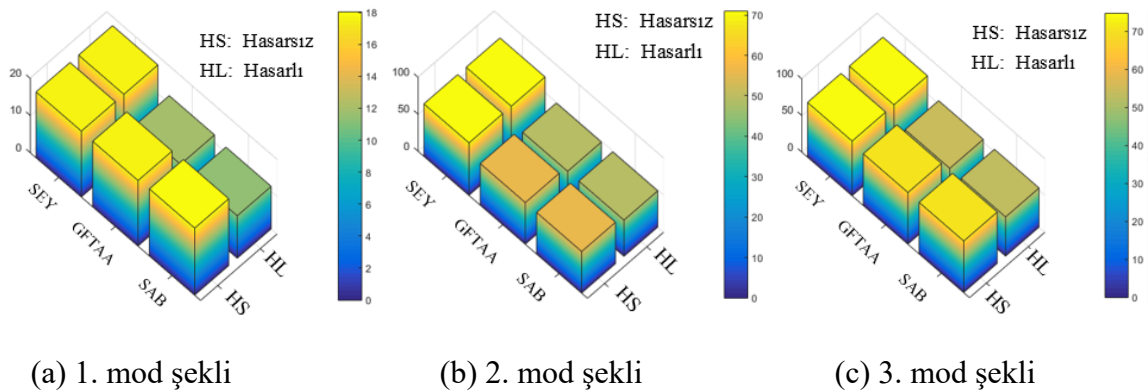


Şekil 3.114. KKB-D elemanın hasarsız durumu için sayısal olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Tablo 3.5. KKB-D deney elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları

Mod Numarası	Hasarsız Deneysel				Hasarlı Deneysel				Sayısal
	GFTAA		SAB		GFTAA		SAB		SEY
	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]
1	17.62	1.58	18.01	2.83	12.08	5.71	11.43	1.51	17.71
2	56.16	0.96	56.02	1.60	49.06	0.58	48.94	1.59	70.86
3	70.44	1.13	70.20	1.25	53.86	3.80	53.52	2.30	74.57

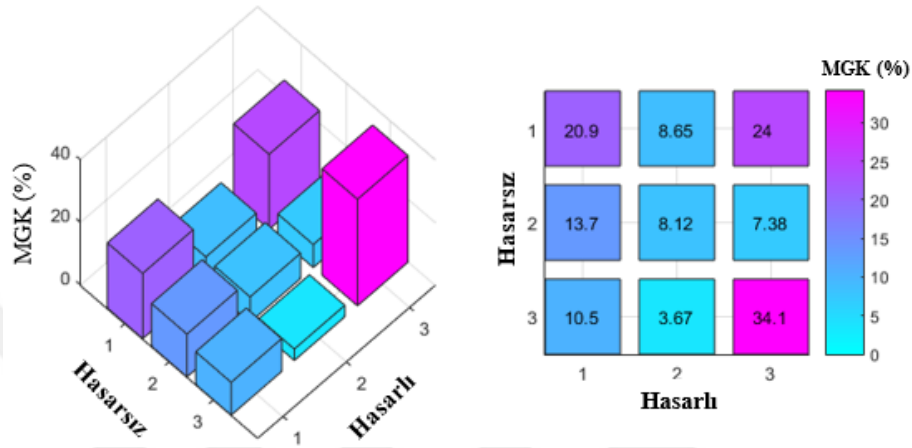
Tablo 3.5 incelendiğinde, GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri arasında tam bir uyum varken sönüm oranları için böyle bir uyum gözlemlenmemiştir. Modelin hasar görmesiyle beraber frekans değerlerinin düşüşü sırasıyla, birinci modda %31.4, ikinci modda %12.6 ve üçüncü modda %23.5 olarak hesaplanmıştır. Sönüm oranlarının birinci ve üçüncü modda arttığı, ikinci modda ise düştüğü gözlemlenmiştir. Hasarsız ve hasarlı durumlar için elde edilen deneysel doğal frekans değerlerinin değişimi Şekil 3.115'te grafiksel olarak verilmiştir. Ayrıca Tablo 3.5'e göre hasarsız deneysel ve sayısal frekans değerleri arasındaki farklar sırasıyla 1. modda % 0.5, ikinci modda % 26.1 ve üçüncü modda % 5.8 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.115. KKB-D elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi

KKB-D deney elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümlerden elde edilen mod şekilleri MGK kriterine göre incelenmiştir. MGK grafikleri Şekil 3.116'da

verilmiştir. MGK grafikleri incelendiğinde hasar ile beraber birinci (%20.9), ikinci (%8.12) ve üçüncü (%34.1) mod şekillerinde önemli derecede bozulma meydana geldiği görülmektedir. Hasar sonrası kolon-kiriş birleşim bölgesi hasar gördüğünden rijitliği azalmış, mod şekilleri tamamen değişmiştir.



Şekil 3.116. KKB-D elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği

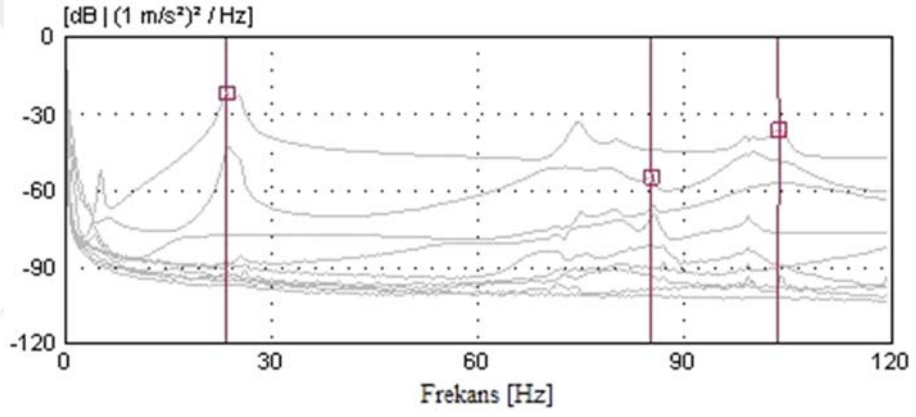
3.5.5. Kompozit Kolon- Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-E)

Kompozit kolon- çelik kiriş, çift guseli birleşimli deney elemanının (KKB-E) tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmadan önce hasarsız durumda deneysel modal analiz yöntemiyle dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi amacıyla çevresel titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Çevresel titreşim testine ait görünüm Şekil 3.117’de verilmiştir. Hasarsız KKB-E elemanının çevresel titreşim testleri sonucunda toplanan sinyallerin, GFTAA yöntemi ile elde edilen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.118’de, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre elde edilen kararlılık diyagramları ise Şekil 3.119’te verilmiştir.

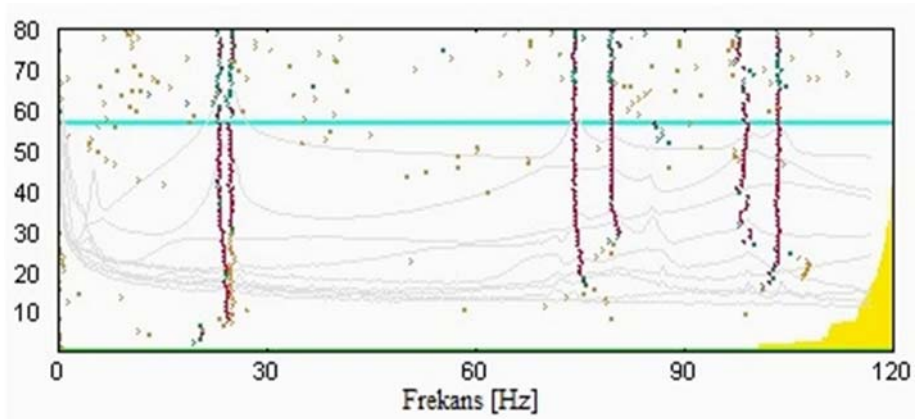
Hasarsız KKB-E elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemlerine göre elde edilen mod şekilleri benzer olup Şekil 3.120’de verilmiştir.



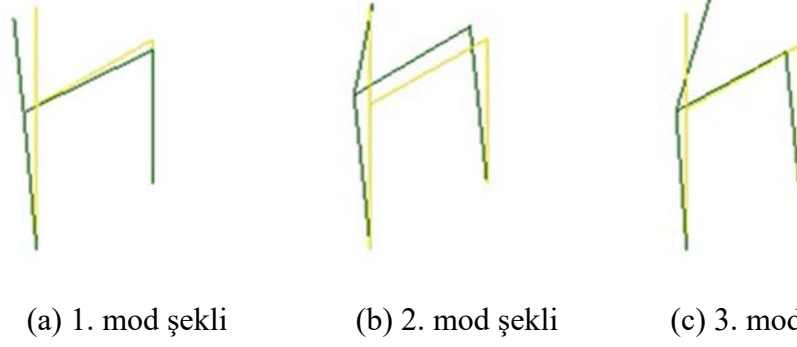
Şekil 3.117. Hasarsız KKB-E elemanın çevresel titreşim testine ait bazı görünüm



Şekil 3.118. Hasarsız KKB-E elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



Şekil 3.119. Hasarsız KKB-E elemanına ait kararlılık diyagramı



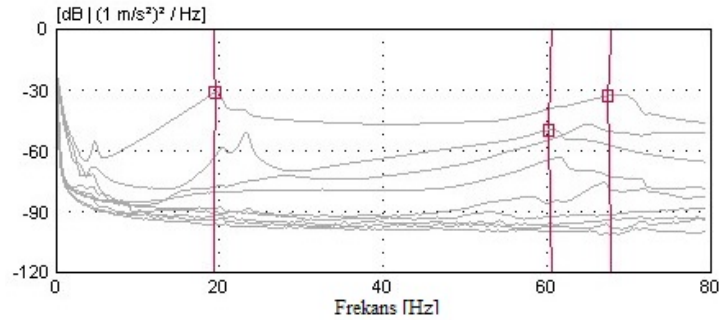
Şekil 3.120. KKB-E elemanın hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Çalışma kapsamında KKB-E deney elemanının yük taşıma kapasitesi, rijitlik değişimi ve enerji tüketme kabiliyetini belirlemek için tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Çevrimsel yükleme deneyi sonunda, kolon-kiriş birleşim bölgesinde önemli derecede hasar oluşmuştur. Çevrimsel yükleme deneyinden sonra, KKB-E elemanının hasardan dolayı dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimi incelemek amacıyla çevresel titreşim testleri hasarlı model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hasarlı KKB-E elemanının çevresel titreşim testine ait görünümü Şekil 3.121’de, elde edilen sinyallerin, GFTAA yöntemi ile ayrıştırılması sonucu belirlenen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.122’de, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre ayrıştırılması ile oluşturulan kararlılık diyagramları ise Şekil 3.123’de verilmiştir. Ayrıca çevresel titreşim testleri sonucunda, hasarlı durum için elde edilen mod şekilleri Şekil 3.124’te verilmiştir.

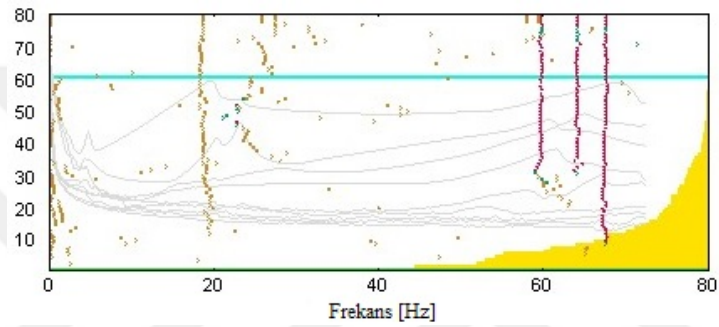
Hasarlı KKB-E elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemine göre elde edilen mod şekilleri benzer çıkmıştır. Bu elemana ait hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümler sonucunda GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri ve sönüm oranları Tablo 3.6’da özetlenmiştir.



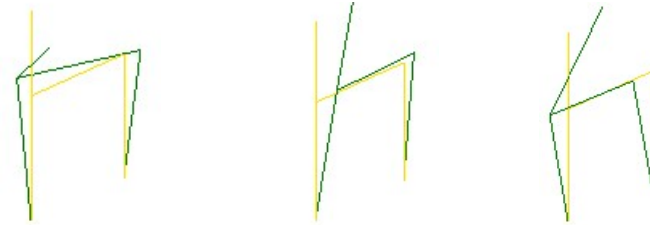
Şekil 3.121. Hasarlı KKB-E elemanın çevresel titreşim testinden bazı görünümler



Şekil 3.122. Hasarlı KKB-E elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



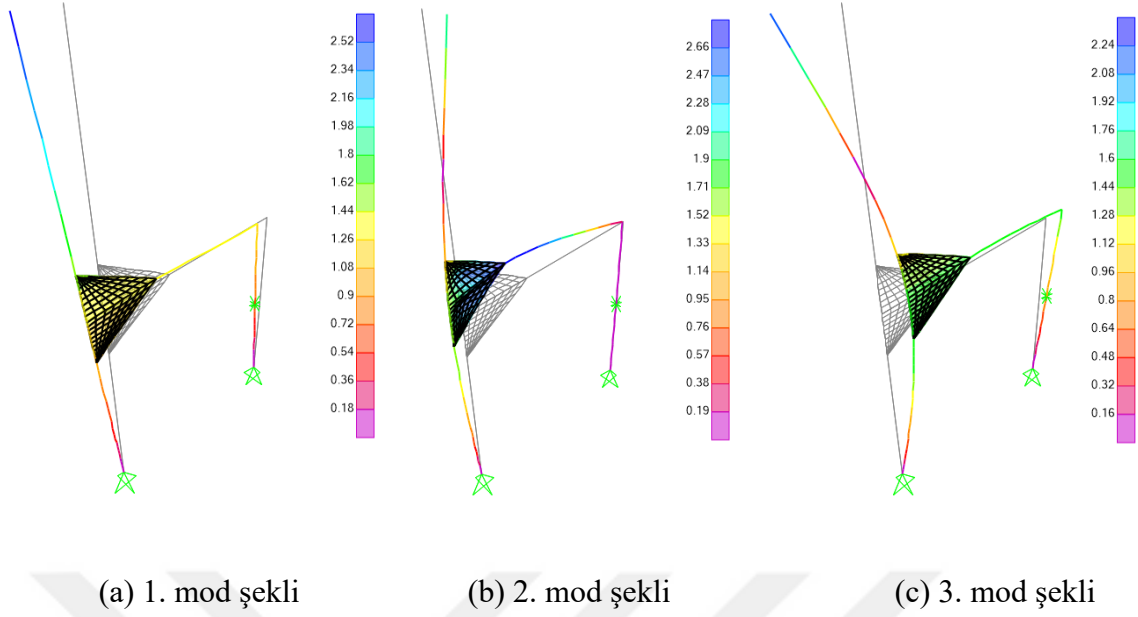
Şekil 3.123. Hasarsız KKB-E elemanına ait kararlılık diyagramı



(a) 1. mod şekli (b) 2. mod şekli (c) 3. mod şekli

Şekil 3.124. KKB-E elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

KKB-E deney elemanının doğal frekans ve mod şekillerinin sayısal olarak belirlenmesi amacıyla hazırlanan sonlu elemanlar modelinin (SEY) üzerine gerçekleştirilen modal analiz sonucu elde edilen doğal frekans değerleri Tablo 3.6'da ve ilk üç mod şekli de Şekil 3.125'te verilmiştir. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi sayısal mod şekilleri deneysel (hasarsız) mod şekillerine benzer biçimde, deney elemanın ilk modu düzlem içi yönde öteleme, ikinci modu düzleme dik eğilme ve üçüncü modu ise düzlem içi dönme olarak belirlenmiştir.

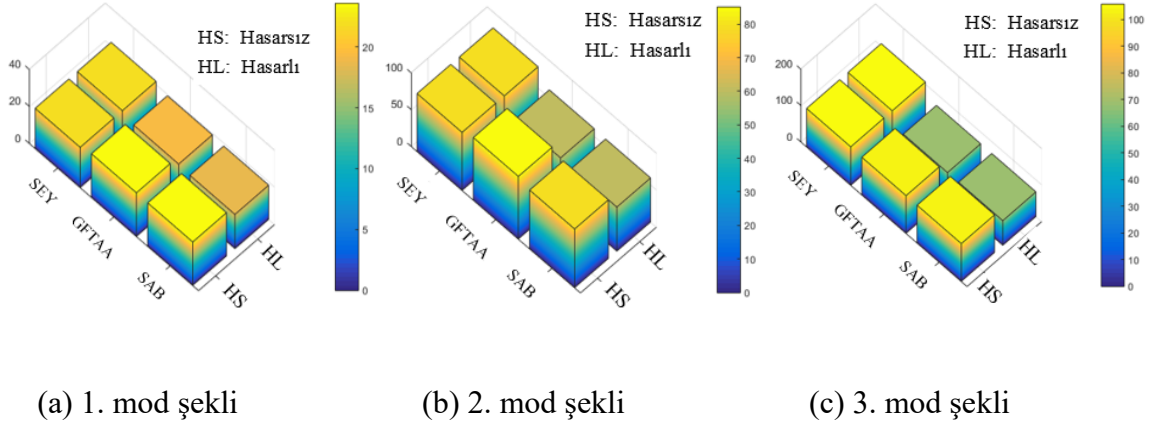


Şekil 3.125. KKB-E elemanın hasarsız durumu için sayısal olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Tablo 3.6. KKB-E deney elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları

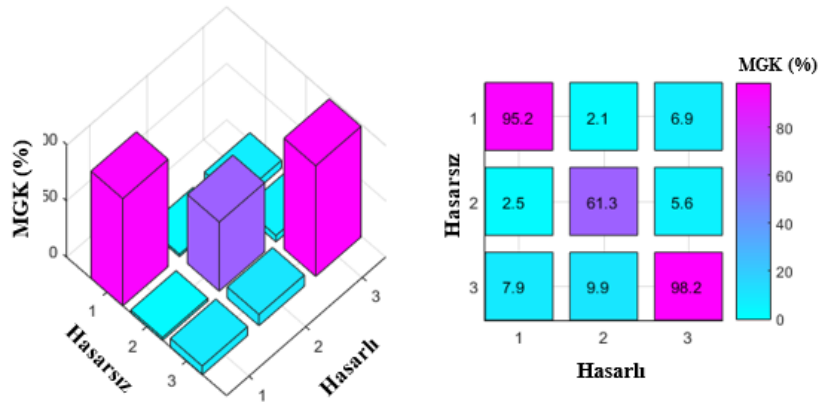
Mod Numarası	Hasarsız Deneysel				Hasarlı Deneysel				Sayısal
	GFTAA		SAB		GFTAA		SAB		SEY
	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]
1	23.55	1.63	23.40	1.56	19.27	6.18	18.49	6.78	21.72
2	85.01	0.41	79.67	1.78	60.62	0.76	59.86	2.12	78.77
3	103.50	0.93	103.70	1.18	67.94	4.10	67.71	3.01	105.62

Tablo 3.6 incelendiğinde, GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri arasında tam bir uyum varken sönüm oranları için böyle bir uyum gözlemlenememiştir. Modelin hasar görmesiyle beraber frekans değerlerinin düşüşü sırasıyla, birinci modda %18.1, ikinci modda % 28.7 ve üçüncü modda % 34.3 olarak hesaplanmıştır. Sönüm oranları hasar ile beraber tüm modlarda artış göstermiştir. Hasarsız ve hasarlı durumlar için elde edilen deneysel doğal frekans değerlerinin değişimi Şekil 3.126'da grafiksel olarak verilmiştir. Ayrıca Tablo 3.6'a göre hasarsız deneysel ve sayısal frekans değerleri arasındaki farklar sırasıyla 1. modda %7.8, ikinci modda %7.3 ve üçüncü modda %2.0 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.126. KKB-E elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi

KKB-E deney elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümlerden elde edilen mod şekilleri MGK kriterine göre incelenmiştir. MGK grafikleri Şekil 3.127’de verilmiştir. MGK grafikleri incelendiğinde birinci (% 95.2) ve üçüncü (% 98.2) modların hasar sonrası çok değişmediği, ancak ikinci (% 61.3) mod şeklinde bozulma olduğu görülmektedir. KKB-E deney elemanının aldığı hasar mod şekillerini çok değiştirmemiştir.



Şekil 3.127. KKB-E elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği

3.5.6. Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Tek Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-F)

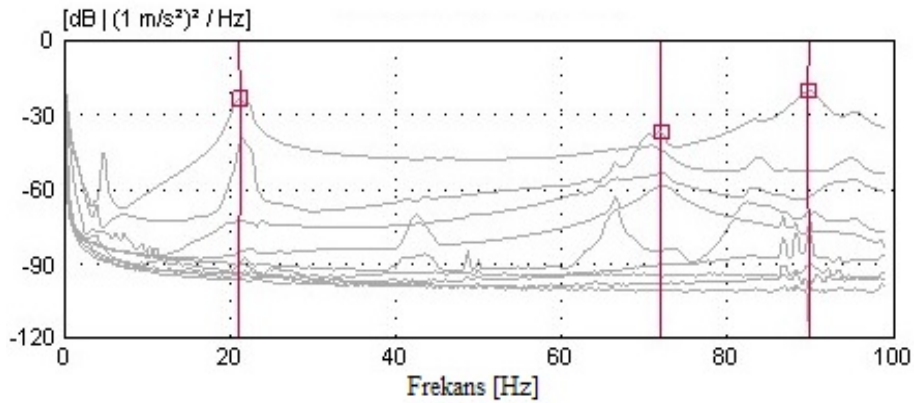
Kompozit kolon- geçmeli çelik kiriş, tek guseli birleşimli deney elemanının (KKB-F) tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmadan önce hasarsız durumda deneysel modal

analiz yöntemiyle dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi amacıyla çevresel titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Çevresel titreşim testine ait görünüm Şekil 3.128’de verilmiştir. Hasarsız KKB-F elemanının çevresel titreşim testleri sonucunda toplanan sinyallerin, GFTAA yöntemi ile elde edilen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.129’da, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre elde edilen kararlılık diyagramları Şekil 3.130’da verilmiştir.

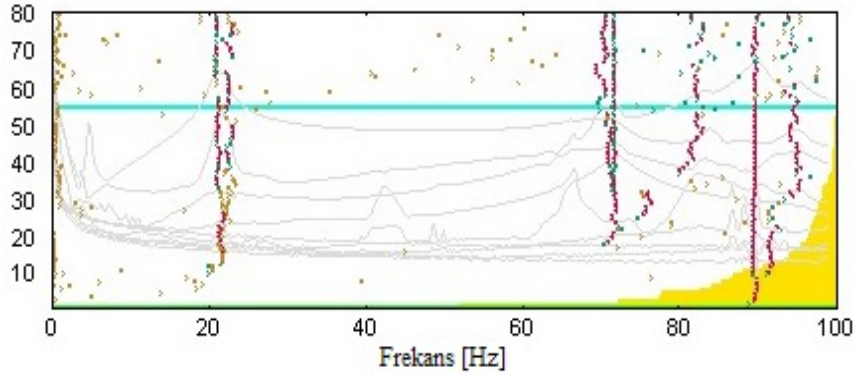
Hasarsız KKB-F elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemlerine göre elde edilen mod şekilleri benzer olup Şekil 3.131’de verilmiştir.



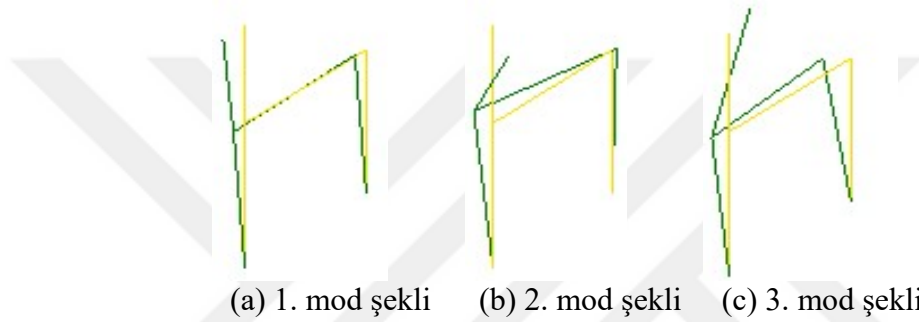
Şekil 3.128. Hasarsız KKB-F elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünüm



Şekil 3.129. Hasarsız KKB-F elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



Şekil 3.130. Hasarsız KKB-F elemanına ait kararlılık diyagramı



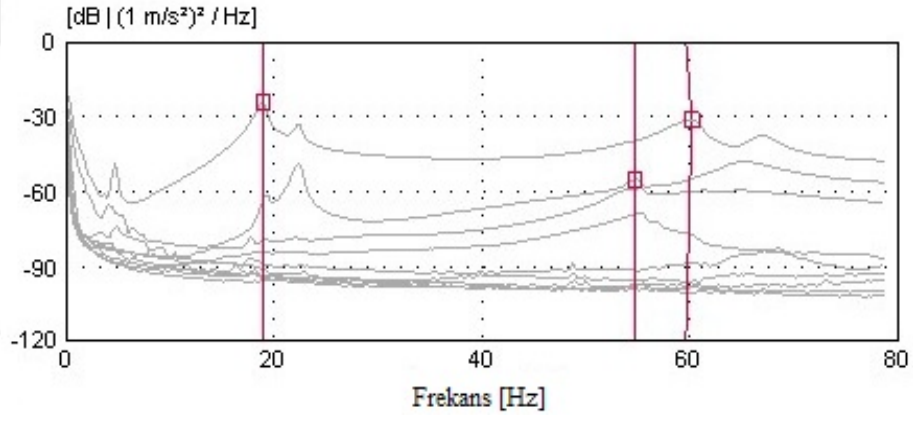
Şekil 3.131. KKB-F elemanın hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Çalışma kapsamında KKB-F deney elemanının yük taşıma kapasitesi, rijitlik değişimi ve enerji tüketme kabiliyetini belirlemek için tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Çevrimsel yükleme deneyi sonunda, kolon-kiriş birleşim bölgesinde önemli derecede hasar oluşmuştur. Çevrimsel yükleme deneyinden sonra, KKB-F elemanının hasardan dolayı dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimi incelemek amacıyla çevresel titreşim testleri hasarlı model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hasarlı KKB-F elemanının çevresel titreşim testine ait görünümüleri Şekil 3.132’de, elde edilen sinyallerin, GFTAA yöntemi ile ayrıştırılması sonucu belirlenen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.133’te, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre ayrıştırılması ile oluşturulan kararlılık diyagramları ise Şekil 3.134’te verilmiştir. Ayrıca çevresel titreşim testleri sonucunda, hasarlı durum için elde edilen mod şekilleri Şekil 3.135’te verilmiştir.

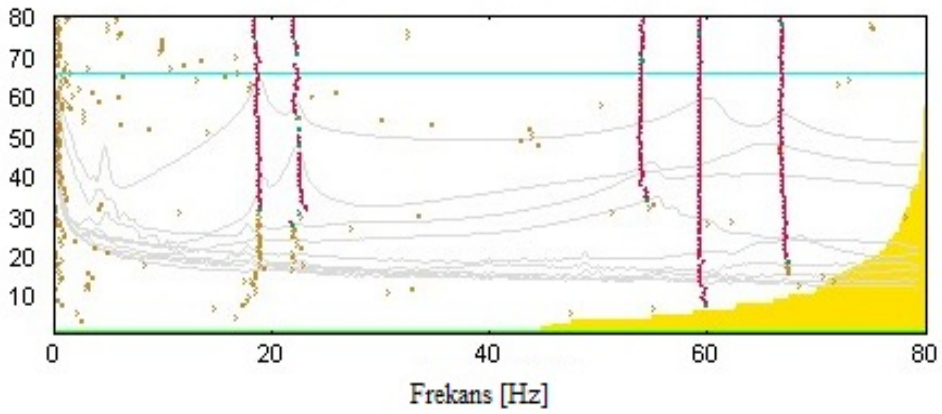
Hasarlı KKB-F elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemine göre elde edilen mod şekilleri benzer çıkmıştır. Bu elemana ait hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümler sonucunda GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri ve sönüm oranları Tablo 3.7’de özetlenmiştir.



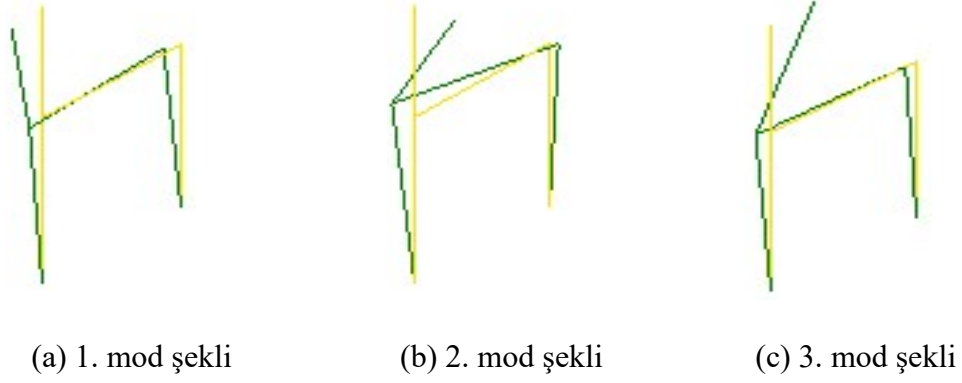
Şekil 3.132. Hasarlı KKB-F elemanın çevresel titreşim testinden bazı görünümüler



Şekil 3.133. Hasarlı KKB-F elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri

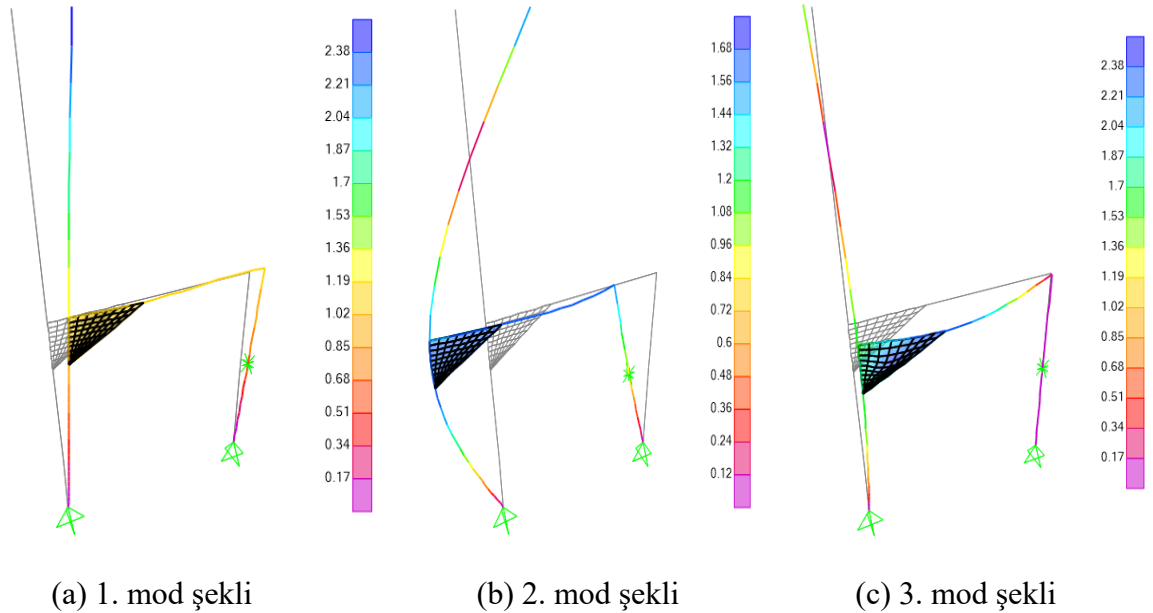


Şekil 3.134. Hasarlı KKB-F elemanına ait kararlılık diyagramı



Şekil 3.135. KKB-F elemanın hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

KKB-F deney elemanının doğal frekans ve mod şekillerinin sayısal olarak belirlenmesi amacıyla hazırlanan sonlu elemanlar modelinin (SEY) üzerine gerçekleştirilen modal analiz sonucu elde edilen doğal frekans değerleri Tablo 3.7’de ve ilk üç mod şekli de Şekil 3.136’da verilmiştir. Şekil 3.136’dan görüldüğü gibi sayısal mod şekilleri deneysel (hasarsız) mod şekillerine benzer biçimde, deney elemanının ilk modu düzlem içi yönde öteleme, ikinci modu düzlem içi dönme ve üçüncü modu ise düzleme dik eğilme olarak belirlenmiştir.

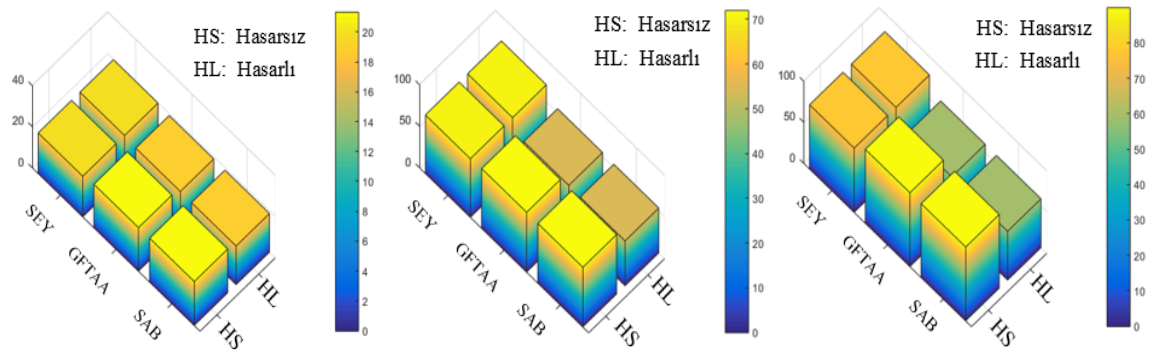


Şekil 3.136. KKB-F elemanın hasarsız durumu için sayısal olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Tablo 3.7. KKB-F deney elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları

Mod Numarası	Hasarsız Deneysel				Hasarlı Deneysel				Sayısal
	GFTAA		SAB		GFTAA		SAB		SEY
	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]
1	21.14	1.37	21.30	0.80	18.91	2.19	18.78	2.14	19.72
2	71.85	0.59	71.71	0.84	54.84	0.78	53.97	2.04	70.46
3	89.81	1.54	89.73	1.36	59.67	2.59	59.35	2.28	78.12

Tablo 3.7 incelendiğinde, GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri arasında tam bir uyum varken sönüm oranları için böyle bir uyum gözlemlenememiştir. Modelin hasar görmesiyle beraber frekans değerlerinin düşüşü sırasıyla, birinci modda % 10.5, ikinci modda % 23.6 ve üçüncü modda % 33.5 olarak hesaplanmıştır. Sönüm oranları hasar ile beraber tüm modlarda artış göstermiştir. Hasarsız ve hasarlı durumlar için elde edilen deneysel doğal frekans değerlerinin değişimi Şekil 3.137’de grafiksel olarak verilmiştir. Ayrıca Tablo 3.7’e göre hasarsız deneysel ve sayısal frekans değerleri arasındaki farklar sırasıyla 1. modda % 6.7, ikinci modda % 1.9 ve üçüncü modda % 13.0 olarak hesaplanmıştır.



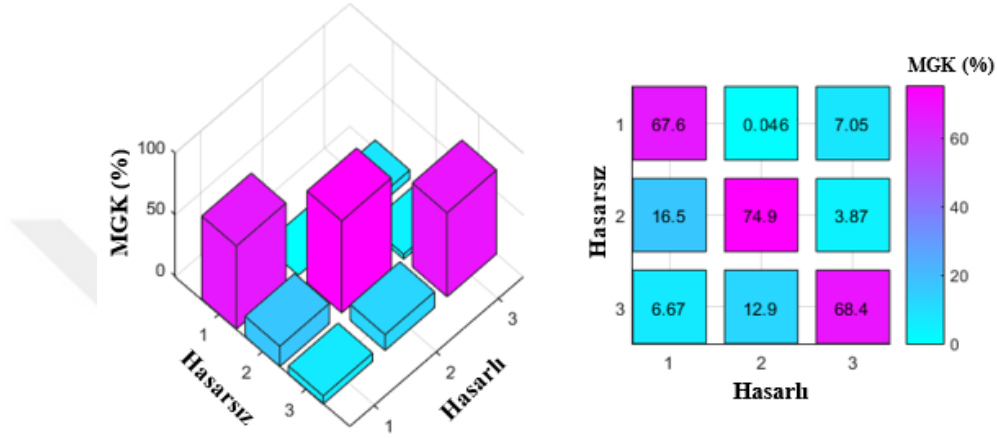
(a) 1. mod şekli

(b) 2. mod şekli

(c) 3. mod şekli

Şekil 3.137. KKB-F elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi

KKB-F deney elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümlerden elde edilen mod şekilleri MGK kriterine göre incelenmiştir. MGK grafikleri Şekil 3.138'de verilmiştir. MGK grafikleri incelendiğinde birinci (% 67.6), ikinci (% 74.9) ve üçüncü modlarda (% 68.4) hasar sonrası değişim olduğu görülmektedir. KKB-E deney elemanının aldığı hasar her bir mod şeklini benzer oranlarda değiştirmiştir.



Şekil 3.138. KKB-F elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği

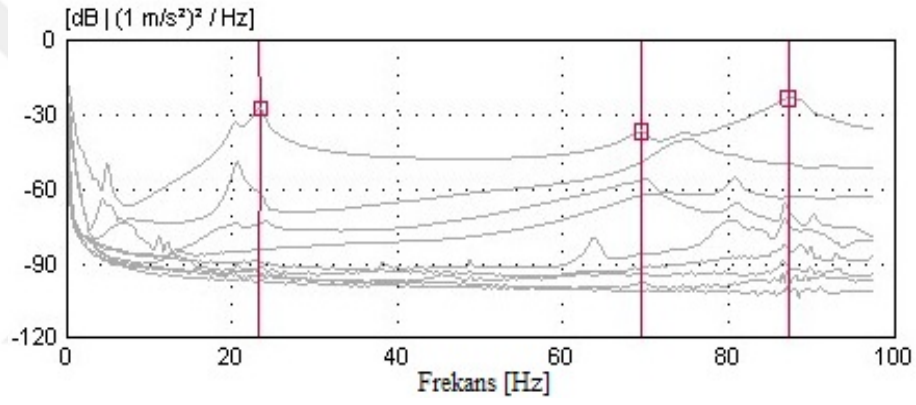
3.5.7. Kompozit Kolon- Geçmeli Çelik Kiriş, Çift Guseli Birleşimli, Deney Elemanı (KKB-G)

Kompozit kolon- geçmeli çelik kiriş, çift guseli birleşimli deney elemanı (KKB-G), tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmadan önce hasarsız durumda deneysel modal analiz yöntemiyle dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi amacıyla çevresel titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Çevresel titreşim testine ait görünüm Şekil 3.139'da verilmiştir. Hasarsız KKB-G elemanının çevresel titreşim testleri sonucunda toplanan sinyallerin, GFTAA yöntemi ile elde edilen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.140'te, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre elde edilen kararlılık diyagramları Şekil 3.141'de verilmiştir.

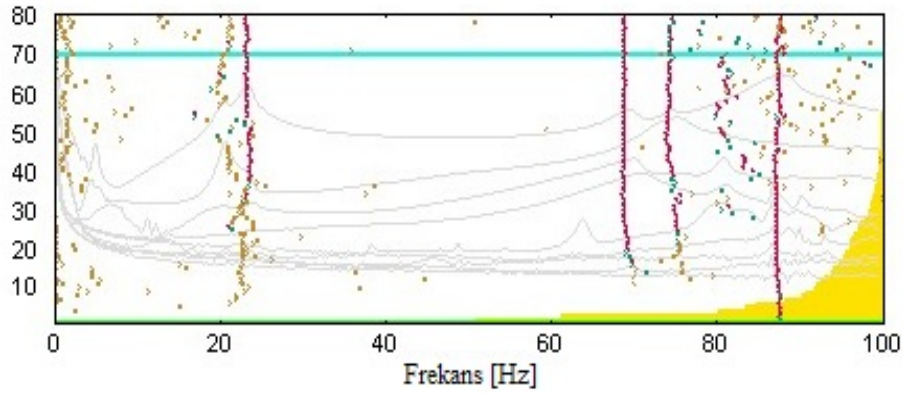
Hasarsız KKB-G elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemlerine göre elde edilen mod şekilleri benzer olup Şekil 3.142'de verilmiştir.



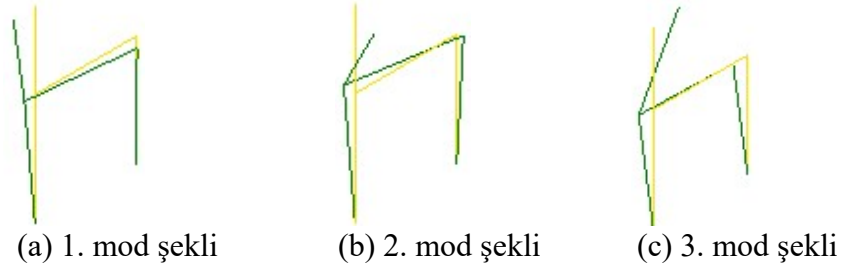
Şekil 3.139. Hasarsız KKB-G elemanın çevresel titreşim testine ait bazı görünüm



Şekil 3.140. Hasarsız KKB-G elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



Şekil 3.141. Hasarsız KKB-G elemanına ait kararlılık diyagramı



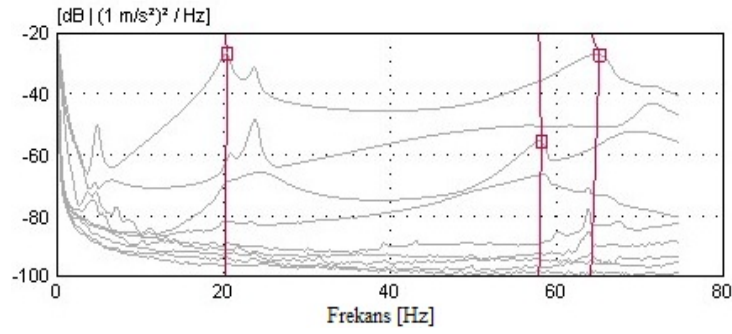
Şekil 3.142. KKB-G elemanın hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Çalışma kapsamında KKB-G deney elemanın yük taşıma kapasitesi, rijitlik değişimi ve enerji tüketme kabiliyetini belirlemek için tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Çevrimsel yükleme deneyi sonunda, kolon-kiriş birleşim bölgesinde önemli derecede hasar oluşmuştur. Çevrimsel yükleme deneyinden sonra, KKB-G elemanın hasardan dolayı dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimi incelemek amacıyla çevresel titreşim testleri hasarlı model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hasarlı KKB-G elemanın çevresel titreşim testine ait görünümü Şekil 3.143'te, elde edilen sinyallerin, GFTAA yöntemi ile ayrıştırılması sonucu belirlenen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.144'te, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre ayrıştırılması ile oluşturulan kararlılık diyagramları ise Şekil 3.145'te verilmiştir. Ayrıca çevresel titreşim testleri sonucunda, hasarlı durum için elde edilen mod şekilleri Şekil 3.149'da verilmiştir.

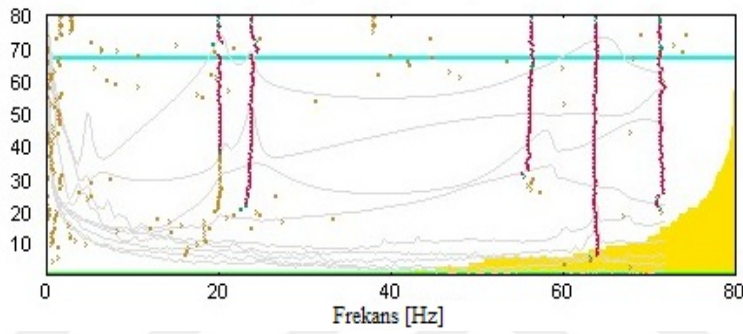
Hasarlı KKB-G elemanın çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemine göre elde edilen mod şekilleri benzer çıkmıştır. Bu elemana ait hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümler sonucunda GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri ve sönüm oranları Tablo 3.8'de özetlenmiştir.



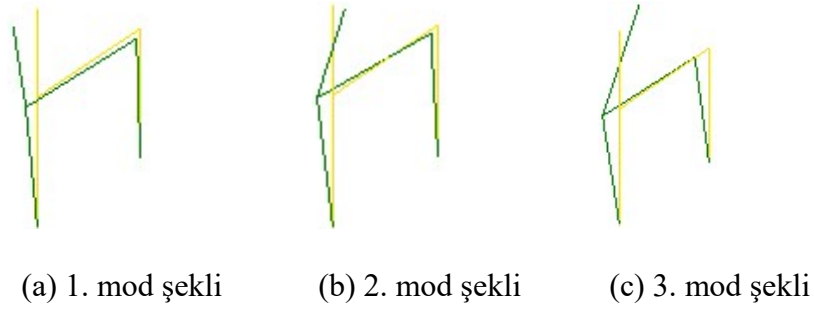
Şekil 3.143. Hasarlı KKB-G elemanın çevresel titreşim testinden bazı görünümler



Şekil 3.144. Hasarlı KKB-G elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri

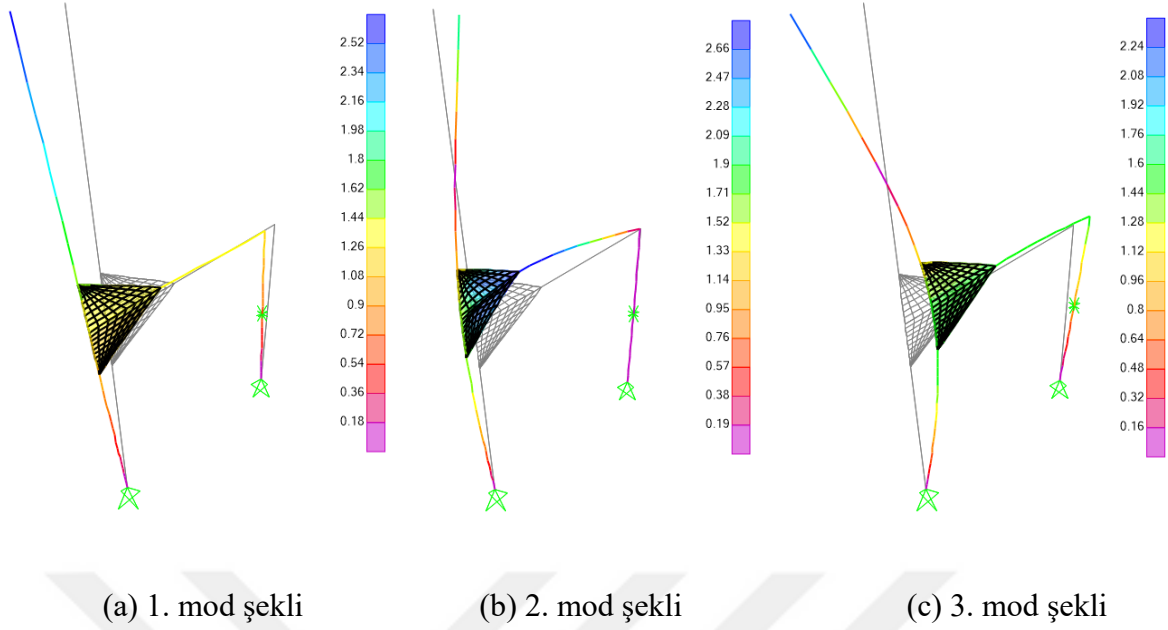


Şekil 3.145. Hasarlı KKB-G elemanına ait kararlılık diyagramı



Şekil 3.146. KKB-G elemanının hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

KKB-G deney elemanının doğal frekans ve mod şekillerinin sayısal olarak belirlenmesi amacıyla hazırlanan sonlu elemanlar modelinin (SEY) üzerine gerçekleştirilen modal analiz sonucu elde edilen doğal frekans değerleri Tablo 3.8’de ve ilk üç mod şekli de Şekil 3.147’de verilmiştir. Şekil 3.147’den görüldüğü gibi sayısal mod şekilleri deneysel (hasarsız) mod şekillerine benzer biçimde, deney elemanın ilk modu düzlem içi yönde öteleme, ikinci modu düzleme dik eğilme ve üçüncü modu ise düzlem içi dönme olarak belirlenmiştir.

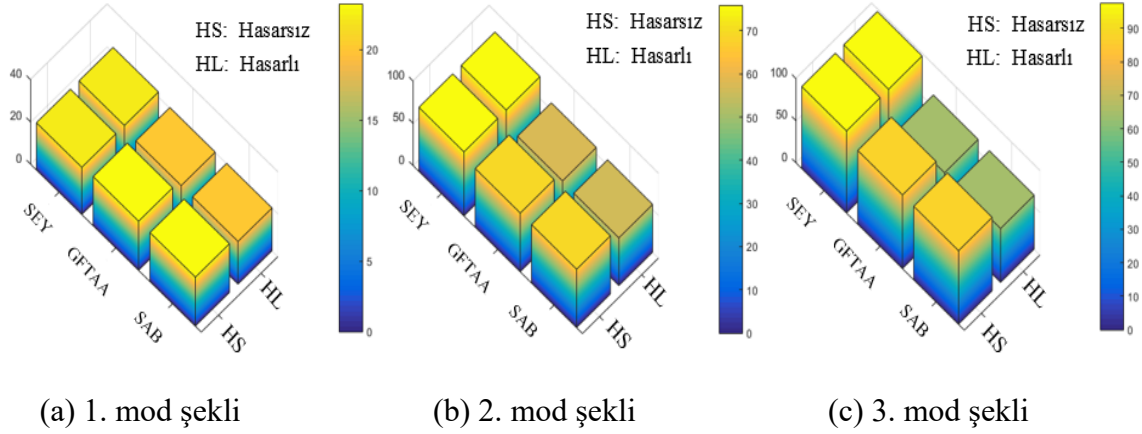


Şekil 3.147. KKB-G elemanın hasarsız durumu için sayısal olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Tablo 3.8. KKB-G deney elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları

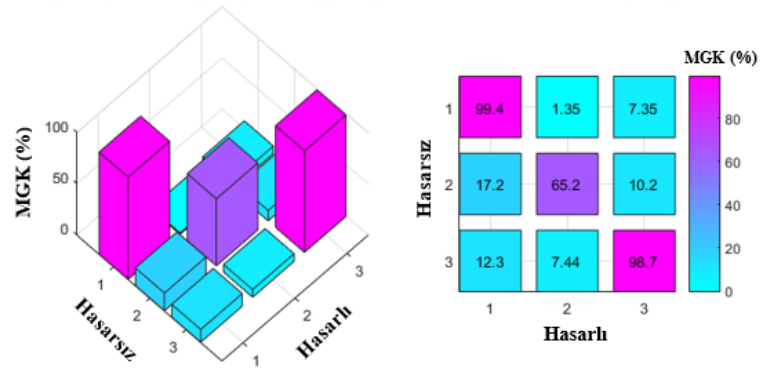
Mod Numarası	Hasarsız Deneysel				Hasarlı Deneysel				Sayısal
	GFTAA		SAB		GFTAA		SAB		SEY
	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]
1	23.21	3.50	23.12	3.32	20.27	4.09	20.22	3.58	22.33
2	69.37	1.03	68.89	1.67	57.96	0.87	56.53	2.31	75.47
3	87.43	2.38	87.17	3.63	64.19	3.71	64.01	2.81	97.32

Tablo 3.8 incelendiğinde, GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri arasında tam bir uyum varken sönüm oranları için böyle bir uyum gözlemlenmemiştir. Modelin hasar görmesiyle beraber frekans değerlerinin düşüşü sırasıyla, birinci modda % 12.6, ikinci modda % 16.4 ve üçüncü modda % 26.6 olarak hesaplanmıştır. Sönüm oranlarında GFTAA ve SAB yöntemleri ile belirli bir değişim gözlemlenmemiştir. Hasarsız ve hasarlı durumlar için elde edilen deneysel doğal frekans değerlerinin değişimi Şekil 3.148’de grafiksel olarak verilmiştir. Ayrıca Tablo 3.8’e göre hasarsız deneysel ve sayısal frekans değerleri arasındaki farklar sırasıyla 1. modda % 3.8, ikinci modda % 8.8 ve üçüncü modda % 11.3 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.148. KKB-G elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi

KKB-G deney elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümlerden elde edilen mod şekilleri MGK kriterine göre incelenmiştir. MGK grafikleri Şekil 3.149'da verilmiştir. MGK grafikleri incelendiğinde birinci (% 99.4) ve üçüncü (% 98.7) modların hasar sonrası çok değişmediği, ancak ikinci (% 65.2) mod şeklinde bozulma olduğu görülmektedir. KKB-G deney elemanının aldığı hasar mod şekillerini çok değiştirmemiştir.



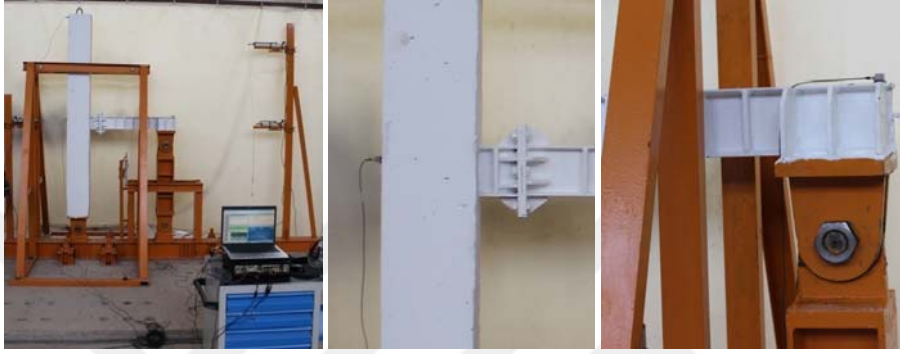
Şekil 3.149. KKB-G elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği

3.5.8. Kompozit Kolon-Rijitleştirilmiş Alın Levhalı Çelik Kiriş Birleşimli Deney Elemanı (KKB-H)

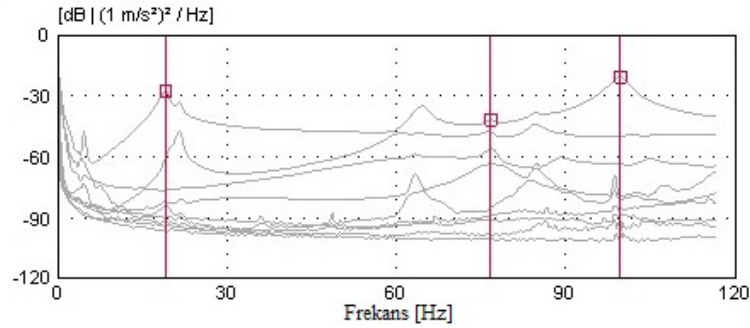
Kompozit kolon-rijitleştirilmiş alın levhalı çelik kiriş birleşimli deney elemanının (KKB-H) tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmadan önce hasarsız durumda deneysel modal analiz yöntemiyle dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi amacıyla çevresel titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Çevresel titreşim testine ait görünüm Şekil 3.150'de

verilmiştir. Hasarsız KKB-H elemanının çevresel titreşim testleri sonucunda toplanan sinyallerin, GFTAA yöntemi ile elde edilen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.151’de, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre elde edilen kararlılık diyagramları ise Şekil 3.152’de verilmiştir.

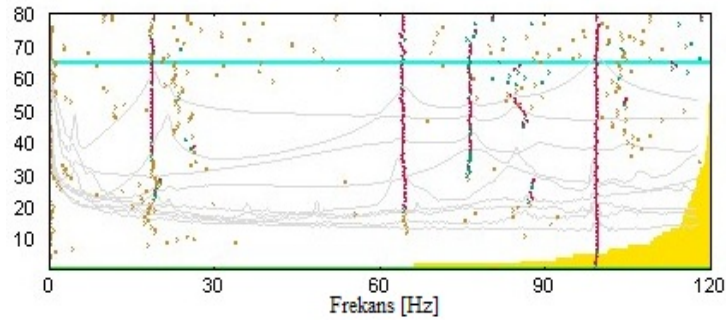
Hasarsız KKB-F elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemlerine göre elde edilen mod şekilleri benzer olup Şekil 3.153’te verilmiştir.



Şekil 3.150. Hasarsız KKB-H elemanının çevresel titreşim testine ait bazı görünüm



Şekil 3.151. Hasarsız KKB-H elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



Şekil 3.152. Hasarsız KKB-H elemanına ait kararlılık diyagramı

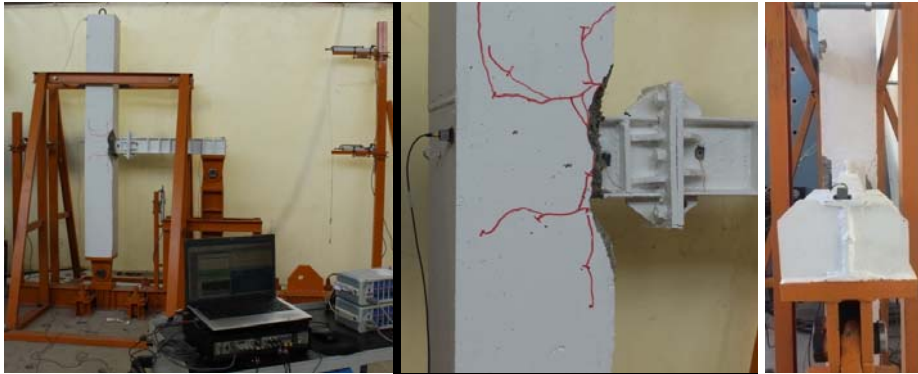


(a) 1. mod şekli (b) 2. mod şekli (c) 3. mod şekli

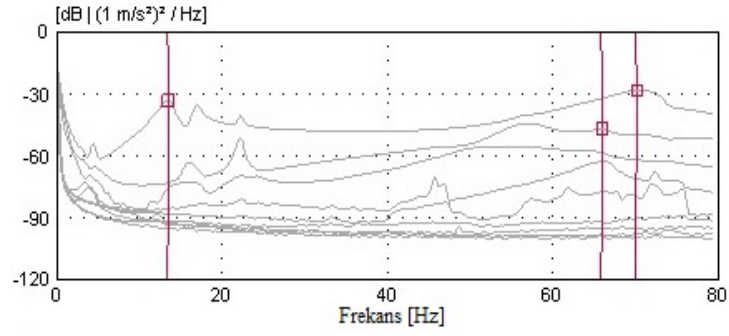
Şekil 3.153. KKB-H elemanın hasarsız durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Çalışma kapsamında KKB-H deney elemanının yük taşıma kapasitesi, rijitlik değişimi ve enerji tüketme kabiliyetini belirlemek için tekrarlı yatay yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Çevrimsel yükleme deneyi sonunda, kolon-kiriş birleşim bölgesinde önemli derecede hasar oluşmuştur. Çevrimsel yükleme deneyinden sonra, KKB-H elemanının hasardan dolayı dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimi incelemek amacıyla çevresel titreşim testleri hasarlı model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hasarlı KKB-H elemanının çevresel titreşim testine ait görünümü Şekil 3.154'te, elde edilen sinyallerin, GFTAA yöntemi ile ayrıştırılması sonucu belirlenen spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri Şekil 3.155'te, bu matrislerin ortalamaları ile SAB yöntemine göre ayrıştırılması ile oluşturulan kararlılık diyagramları ise Şekil 3.156'da verilmiştir. Ayrıca çevresel titreşim testleri sonucunda, hasarlı durum için elde edilen mod şekilleri Şekil 3.157'de verilmiştir.

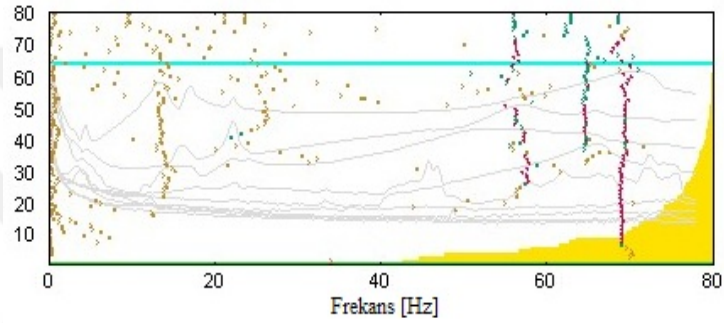
Hasarlı KKB-H elemanının çevresel titreşim testleri sonucu GFTAA ve SAB yöntemine göre elde edilen mod şekilleri benzer çıkmıştır. Bu elemana ait hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümler sonucunda GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri ve sönüm oranları Tablo 3.9'da özetlenmiştir.



Şekil 3.154. Hasarlı KKB-H elemanın çevresel titreşim testinden bazı görünümler



Şekil 3.155. Hasarlı KKB-H elemanına ait spektral yoğunluk matrislerinin tekil değerleri



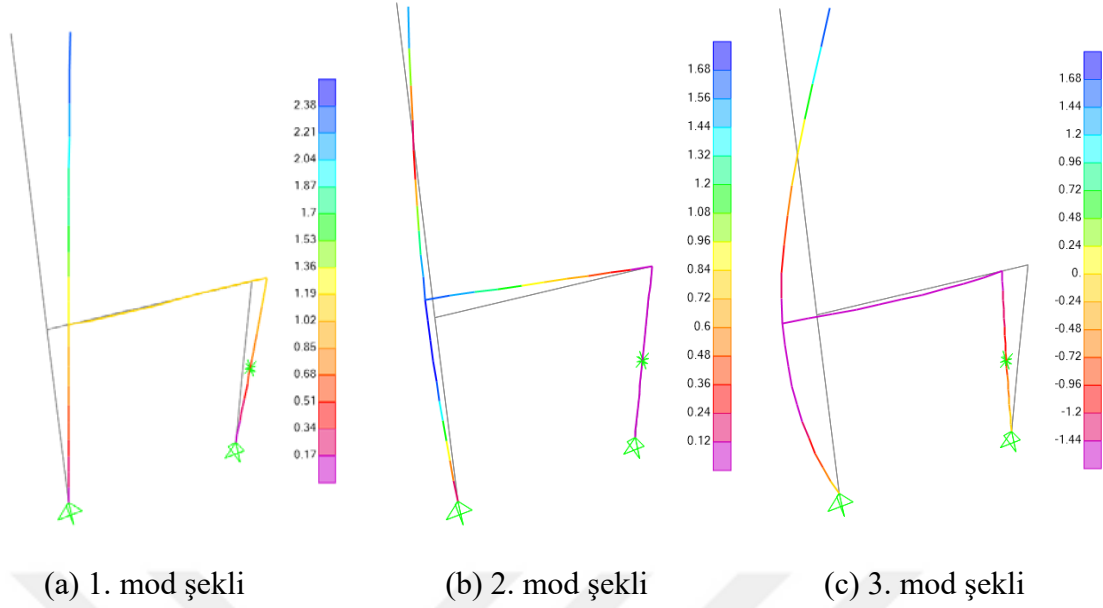
Şekil 3.156. Hasarlı KKB-H elemanına ait kararlılık diyagramı



(a) 1. mod şekli (b) 2. mod şekli (c) 3. mod şekli

Şekil 3.157. KKB-H elemanın hasarlı durumu için deneysel olarak elde edilen ilk üç mod şekli

KKB-H deney elemanının doğal frekans ve mod şekillerinin sayısal olarak belirlenmesi amacıyla hazırlanan sonlu elemanlar modelinin (SEY) üzerine gerçekleştirilen modal analiz sonucu elde edilen doğal frekans değerleri Tablo 3.9'da ve ilk üç mod şekli de Şekil 3.158'de verilmiştir. Şekil 3.158'den görüldüğü gibi sayısal mod şekilleri deneysel (hasarsız) mod şekillerine benzer biçimde, deney elemanın ilk modu düzlem içi yönde öteleme, ikinci modu düzleme dik eğilme ve üçüncü modu ise düzlem içi dönme olarak belirlenmiştir.

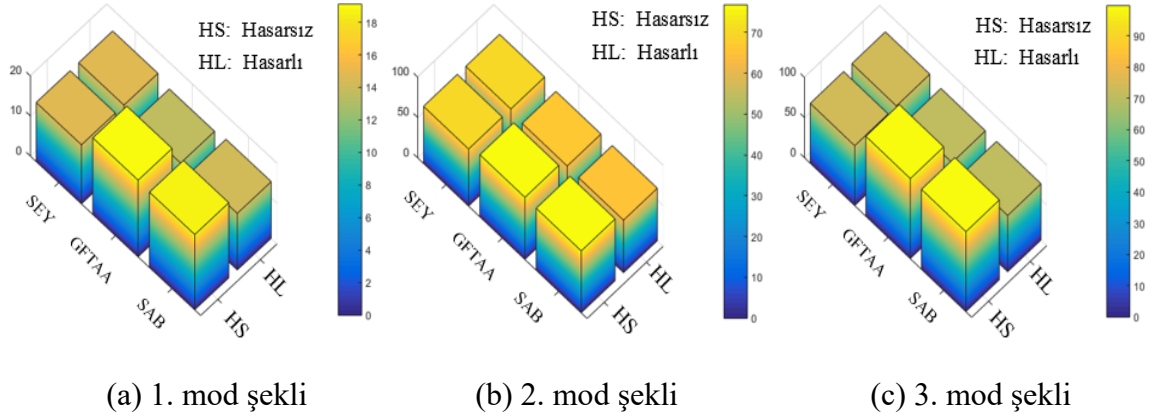


Şekil 3.158. KKB-H elemanın hasarsız durumu için sayısal olarak elde edilen ilk üç mod şekli

Tablo 3.9. KKB-H deney elemanına ait hasarsız, hasarlı ve sayısal olarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranları

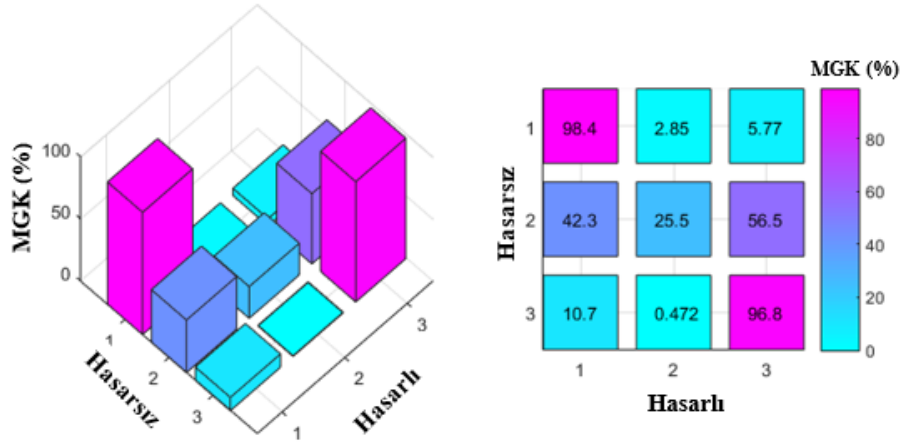
Mod Numarası	Hasarsız Deneysel				Hasarlı Deneysel				Sayısal
	GFTAA		SAB		GFTAA		SAB		SEY
	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı (%)	Frekans [Hz]
1	19.09	4.25	18.75	4.76	13.46	5.92	14.21	19.05	14.72
2	76.66	0.74	76.43	1.02	65.92	1.25	64.91	1.60	70.51
3	99.52	1.52	99.42	1.47	70.02	4.56	70.08	2.69	74.51

Tablo 3.9 incelendiğinde, GFTAA ve SAB yöntemleri ile elde edilen frekans değerleri arasında tam bir uyum varken sönüm oranları için böyle bir uyum gözlemlenememiştir. Modelin hasar görmesiyle beraber frekans değerlerinin düşüşü sırasıyla, birinci modda % 29.5, ikinci modda % 14.0 ve üçüncü modda % 29.6 olarak hesaplanmıştır. Sönüm oranları hasar ile beraber GFTAA ve SAB yöntemlerinde farklı oranlarda artış göstermiştir. Hasarsız ve hasarlı durumlar için elde edilen deneysel doğal frekans değerlerinin değişimi Şekil 3.159’da grafiksel olarak verilmiştir. Ayrıca Tablo 3.9’a göre hasarsız deneysel ve sayısal frekans değerleri arasındaki farklar sırasıyla 1. modda % 22.9, ikinci modda % 8.0 ve üçüncü modda % 25.1 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.159. KKB-H elemanına ait hasarsız ve hasarlı durumları için doğal frekansların değişimi

KKB-H deney elemanının hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel ölçümlerden elde edilen mod şekilleri MGK kriterine göre incelenmiştir. MGK grafikleri Şekil 3.160'ta verilmektedir. MGK grafikleri incelendiğinde birinci (% 96.4) ve üçüncü (% 96.8) modların hasar sonrası çok değişmediği, ancak ikinci (% 25.5) mod şeklinde önemli bir bozulma olduğu görülmektedir. KKB-H deney elemanının aldığı hasar ikinci mod şeklini önemli ölçüde değiştirmiştir.



Şekil 3.160. KKB-H elemanın hasarsız ve hasarlı durumları için deneysel veriler kullanılarak elde edilen MGK karşılaştırma grafiği

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sekiz farklı gömme kompozit kolon-çelik kiriş birleşim tipinin davranışları tekrarlı yatay yük etkisi altında deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. İncelenen kompozit kolon-kiriş birleşim tiplerinden, çelik yapılar için literatürde mevcut olan dört birleşim tipine ilave olarak dört yeni birleşim tipi geliştirilmiş ve kompozit elemanlara uygulanmıştır. Geliştirilen bu yeni birleşimlerin yüksek rijitliğe ve enerji tüketme kapasitesine sahip olmasıyla beraber yapım ve montajının kolay olması amaçlanmıştır. Ayrıca, incelenen kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgelerinin, dinamik karakteristikleri olan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranları deneysel ve sayısal olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bazı öneriler aşağıda verilmiştir.

- ❖ KKB-A, KKB-D ve KKB-H deney elemanları maksimum yük taşıma kapasitelerine ulaştıktan sonra, taşıma gücünü birleşim bölgesi göçmesi ile kaybetmişlerdir.
- ❖ KKB-A ve KKB-D elemanlarının kolon-kiriş birleşim bölgesinde tekrarlı yatay yükleme deneyi sonunda levhalarda eğilme, kaynaklarda ise kopmalar gözlemlenmiştir.
- ❖ Çalışma kapsamında geliştirilen geçmeli kiriş birleşim detayına sahip KKB-B (kaynaklı) ve KKB-C (bulonlu) elemanları nihai durumda KKB-A elemanına göre, KKB-B % 17, KKB-C ise % 13 daha fazla yük taşımıştır.
- ❖ Geçmeli kiriş birleşim detayına sahip KKB-B (kaynaklı) ve KKB-C (bulonlu) elemanlarında birleşim göçmesi oluşmamıştır. Nihai durumda ise her iki elemanda, kirişte yanal burkulma oluşmuştur.
- ❖ Çalışma kapsamında geliştirilen geçmeli kiriş birleşim detayının kaynaklı (KKB-B) ve bulonlu (KKB-C) olması durumunda yük taşıma kapasitelerindeki fark % 4-8 arasında hesaplanmıştır. Ancak fabrikasyon üretimi ve montajı kolay olan bulonlu birleşimin kullanılması daha avantajlı olabilmektedir.
- ❖ KKB-H elemanı, KKB-A(referans) elemanına göre %20 daha fazla yük taşısa da, nihai durumda kaynaklarda kopma ve kirişte kırılmalar oluşarak dayanımını birleşim göçmesi ile kaybetmiştir.

- ❖ Alın levhalı kolon-kiriş birleşimin (KKB-A), alttan çelik guse ile güçlendirilerek oluşturulan deney elemanın (KKB-D), KKB-A'ya göre, yatay yük taşıma kapasitesinde % 46 oranında artış gözlemlenmiştir.
- ❖ Geçmeli kirişli birleşime sahip KKB-C elemanın, birleşim bölgesi alttan çelik guse ile güçlendirilerek oluşturulan deney elemanın (KKB-F), KKB-C'ye göre, yatay yük taşıma kapasitesi % 65 oranında artmıştır. Bu elemanda göçme, nihai durumda kiriş burkulması ile oluşmuştur.
- ❖ İncelenen birleşimlerde, çift guseli olan KKB-E (alın levhalı) ve KKB-G (geçmeli kirişli) elemanları maksimum yatay yük taşıma kapasitelerine ulaşmışlardır.
- ❖ Yük taşıma kapasitesi en düşük olan deney elemanı KKB-A olup itmede 20 kN, çekmede ise 25 kN olarak belirlenmiştir.
- ❖ Çift guseli birleşimli deney elemanları KKB-E ve KKB-G nihai dayanıma ulaşmadan önce, çelik kirişte yanal burkulma oluşmuş, daha sonra mafsallaşan kirişler her iki deney elemanında kırılmıştır. Birleşim bölgelerinde ise herhangi bir hasar oluşmamıştır.
- ❖ Çift guseli KKB-E ve KKB-G elemanların taşıma kapasitesindeki fark %0.8-1.0 arasında hesaplanmıştır. Bu durumda montajı kolay geçmeli kirişli KKB-G birleşim detayının kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.
- ❖ KKB-E, KKB-F ve KKB-G elemanlarında kullanılan uzun bulonlar, gelen yatay yükü birleşim bölgesinin tamamına aktarmıştır. Söz konusu üç deney elemanındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde, birleşimin tüm yüzeylerinde ve daha geniş bir alanda çatlaklar oluşmuş ancak herhangi bir kırılma meydana gelmemiştir.
- ❖ Tekrarlı yatay yükleme, deneyin sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasar nedeniyle en büyük rijitlik azalması yaklaşık % 97 oranında KKB-A elemanında oluşmuştur.
- ❖ Minim rijitlik azalması % 90 oranında KKB-D elemanında oluşmuştur. Ancak bu elemanın başlangıç rijitlik değeri çok büyük olmadığından azalma miktarı da düşüktür.
- ❖ Geçmeli kirişli birleşim detayına sahip KKB-B (kaynaklı) ve KKB-C (bulonlu) elemanları rijitlik azalmasında benzer davranış göstermiştir.

- ❖ Çift guseli KKB-E ve KKB-G elemanlar rijitlik azalmasında da yük taşıma kapasitesi gibi benzer davranış sergileyerek aralarındaki fark % 0.69 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla rijitlik değerlendirmesi açısından geçmeli kirişli ve alın levhalı çift guseli birleşimlerde büyük bir fark oluşmamıştır.
- ❖ Tek guseli birleşimli KKB-D elemanındaki rijitlik azalması geçmeli kiriş birleşimli, tek guseli KKB-F elemanından % 13 oranında daha fazladır.
- ❖ KKB-A elemanı 18.48 kJ enerji tüketme kapasitesiyle incelenen kolon-kiriş birleşimler arasında en düşük enerji tüketme kapasitesine ulaşmıştır.
- ❖ Geçmeli kirişli KKB-B (kaynaklı) ve KKB-C (bulonlu) elemanları KKB-A'dan sırasıyla %52 ve %50 oranında daha fazla enerji tüketme kapasitesine ulaşmıştır.
- ❖ Alın levhalı birleşimlerde alt güçlendirme gusesi, elemanın enerji tüketme kapasitesini % 36, geçmeli kirişli birleşimlerde ise % 40 oranında artırmaktadır.
- ❖ İncelenen birleşim tiplerinde en fazla enerji 61.17 kJ değerinde KKB-E elemanında tüketilmiştir. Ancak çift guseli birleşimlerde, kirişin geçmeli ve alın levhalı olması durumunda enerji tüketme kapasitesi açısından büyük farklılıklar oluşmamıştır.
- ❖ Birleşim bölgesi çelik guse veya guseller ile güçlendirilmeyen KKB-A, KKB-B, KKB-C ve KKB-H elemanlar arasında en büyük enerji tüketme kapasitesi, çalışmada geliştirilen geçmeli kirişli KKB-B ve KKB-C elemanlarında meydana gelmiştir.
- ❖ Sayısal ve deneysel olarak elde edilen yük taşıma kapasitelerinde anlamlı fark olmamakla birlikte yalnızca KKB-D elemanında % 25 oranında bir fark ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi ise alın levhalı birleşimlerde kaynağın doğru olarak modellenememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- ❖ Sayısal modellerin sonuçları deneysel veriler ile tam uyum içinde çıkmıştır. Bu durumda sonlu elemanlar modellerinde kullanılan malzeme modeli ve eleman tipi doğru seçilmiştir.
- ❖ Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma Yöntemi (GFTAA) ve Stokastik Altalan Belirleme Yöntemleri (SAB) ile elde edilen doğal frekans değerleri arasında tam bir uyum varken sönüm oranları için böyle bir uyum gözlemlenememiştir.

- ❖ Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasar, deney elemanların doğal frekans değerlerini yaklaşık % 22- 40 oranında azaltılmasına neden olmuştur.
- ❖ Kompozit kolon-çelik kiriş birleşim bölgesindeki hasar deney elemanların mod şekillerini doğrudan etkilemiştir.
- ❖ Geçmeli kirişli kolon-kiriş birleşimin farklı yükleme durumlarındaki performansları incelenebilmektedir.
- ❖ Geçmeli kirişli kolon-kiriş birleşim detayı, farklı geometrideki enkesitlerine sahip elemanlardaki davranışların incelenmesi faydalı olacaktır.
- ❖ Geçmeli kirişli kolon-kiriş birleşim detayı, orta kolonda incelenmesi, birleşim detayın geliştirilmesi için önemli bir aşama olabilmektedir.

Özetle, bu çalışma kapsamında geliştirilen geçmeli kirişli kompozit kolon-çelik kiriş birleşim detayı, kaynaklı (KKB-B), bulonlu (KKB-C), tek guseli (KKB-F) ve çift guseli (KKB-G) olması durumunda, tekrarlı yatay yük etkisinde, kararlı davranış göstererek birleşim bölgesi göçmesi oluşmamıştır. Dolayısıyla geçmeli kirişli kolon-çelik kiriş birleşim detayı güçlü birleşim performansını göstermiştir. Fabrikasyon imalatı ve montaj kolaylığını da sağlayan geçmeli kirişli birleşim detayı, depreme dayanıklı ve yüksek katlı yapılarda güvenli kullanım koşulunu sağlamaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Abaqus/CAE V6.12, 2017. Programme, Dassault Systemes Simulia Corp. Providence, RI, USA.
- AIK, 2009. Architectural Institute of Korea, Korean Building Code and Commentary, Seoul.
- Altunışık, A.C., 2010. Karayolu Köprülerinin Yapısal Davranışlarının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Altunışık, A.C., Adanur, S., Genç, A.F., Günaydin, M. ve Okur, F.Y., 2016. Non-Destructive Testing of An Ancient Masonry Bastion. Journal of Cultural Heritage, 22, 1049-1054.
- Altunışık, A.C., Okur, F.Y. ve Kahya, V., 2017. Modal Parameter Identification and Vibration Based Damage Detection of A Multiple Cracked Cantilever Beam. Engineering Failure Analysis, 79, 154-170.
- Amiri, M. ve Sabbagh-Yazdi, S.R., 2011. Ambient Vibration Test and Finite Element Modeling of Tall Liquid Storage Tanks, Thin-Walled Structures, 49, 8, 974-983.
- An, Y.F. ve Han, L.H., 2014. Behaviour of Concrete-Encased CFST Columns Under Combined Compression and Bending, Journal of Constructional Steel Research, 101, 314-330.
- ANSI/AISC 360-10, 2010. Specification for Structural Steel Buildings, AISC, Chicago.
- Arda, T.S. ve Yardımcı, N., 2000. Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı, Birsen Yayınevi Ltd. Şti, İstanbul.
- AS 2327.1, 2003. Australian Standard for Composite Structures, Part 1: Simply Supported Beams, New South Wales, Australia: Standards, Sydney.
- ASCE, 1994. Guidelines for Design of Joints Between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns, 10.1061/(ASCE)0733 -9445(1994)120:8(2330), 2330–2357.
- ASTM A370, 2010. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.
- Ataei, A., Bradford, M.A. ve Valipour, H.R., 2015. Experimental Study of Flush and Plate Beam-to-CFST Column Composite Joints with Deconstructable Bolted Shear Connectors, Engineering structures, 99, 616-630.
- Ataei, A. ve Bradford, M.A., 2016. Numerical Study of Deconstructable Flush and Plate Composite Joints to Concrete-Filled Steel Tubular Columns, Structures, 8, 130-143.

- Ajel, H.A., ve Abbas, A.M., 2015. Experimental and Analytical Investigations of Composite Stub Columns, International Journal of Innovative Research in Science, 4, 2, 185-200.
- Bao, X. ve Shi, C., 2019. Ambient Vibration Responses Denoising for Operational Modal Analysis of A Jacket-Type Offshore Platform, Ocean Engineering, 172, 9-21.
- Begum, M., Driver, R.G. ve Elwi, A.E., 2013. Behaviour of Partially Encased Composite Columns with High Strength Concrete, Engineering Structures, 56, 1718-1727.
- Beutel, J., Thambiratnam, D., ve Perera, N., 2002. Cyclic Behaviour of Concrete Filled Steel Tubular Column to Steel Beam Connections, Engineering Structures, 24, 1, 29-38.
- Boresi, P. ve Schmidt, R.J., 2003. *Advanced Mechanics of Materials*, 6th ed., New York, John Wiley and Sons.
- Brincker, R., Ventura, C.E. ve Andersen, P., 2003. Why Output-Only Modal Testing is a Desirable Tool for a Wide Range of Practical Applications, Proceedings of 21st International Modal Analysis Conference on Structural Dynamics, Kissimmee, Orlando, USA.
- Brownjohn, J.M.W., Raby, A., Bassitt, J., Antonini, A., Hudson, E. ve Dobson, P., 2018. Experimental modal analysis of British rock lighthouses, Marine Structures, 62, 1-22.
- BSI, 2005. British Standards Institution, Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, London.
- Buchanan, A.H. ve Abu, A.K., 2017. *Structural Design for Fire Safety*, John Wiley & Sons.
- Cai, J., Pan, J. ve Li, X., 2018. Behavior of ECC-Encased CFST Columns under Axial Compression, Engineering Structures, 171, 1-9.
- Campian, C., Nagy, Z. ve Pop, M., 2015. Behavior of Fully Encased Steel-Concrete Composite Columns Subjected to Monotonic and Cyclic Loading, Procedia Engineering, 117, 439-451.
- Chellini, G., De-Roeck, G., Nardini, L. ve Salvatore, W., 2010. Damage Analysis of A Steel-Concrete Composite Frame by Finite Element Model Updating, Journal of Constructional Steel Research, 66, 3, 398-411.
- Chen, C.C., Li, J.M. ve Weng, C.C., 2005. Experimental Behaviour and Strength of Concrete-Encased Composite Beam-Columns with T-Shaped Steel Section under Cyclic Loading, Journal of Constructional Steel Research, 61, 7, 863-881.
- Cheng, C.T. ve Chung, L.L., 2003. Seismic Performance of Steel Beams to Concrete-Filled Steel Tubular Column Connections, Journal of Constructional Steel Research, 59, 3, 405-426.
- Chen, Q.J., Cai, J., Bradford, M.A., Liu, X. ve Zuo, Z. L., 2014. Seismic Behaviour of A Through-Beam Connection Between Concrete-Filled Steel Tubular Columns and Reinforced Concrete Beams, Engineering Structures, 80, 24-39.

- Chen, Q., Cai, J., Bradford, M.A., Liu, X. ve Wu, Y., 2015. Axial Compressive Behavior of Through-Beam Connections between Concrete-Filled Steel Tubular Columns and Reinforced Concrete Beams, Journal of Structural Engineering, 141, 10, 04015016/1-14.
- Chen, W.Q., Wu, Y.F. ve Xu, R.Q., 2007. State Space Formulation for Composite Beam-Columns with Partial Interaction, Composites Science and Technology, 67, 11-12, 2500-2512.
- Choi, S.M., Yun, Y.S. ve Kim, J.H., 2006. Experimental Study on Seismic Performance of Concrete Filled Tubular Square Column-to-Beam Connections with Combined Cross Diaphragm, Steel and Composite Structures, 6, 4, 303-317.
- Cheng, C.T., Chan, C.F. ve Chung, L.L., 2007. Seismic Behavior of Steel Beams and CFT Column Moment-Resisting Connections with Floor Slabs, Journal of Constructional Steel Research, 63, 11, 1479-1493.
- Chen, C.C., Chen, C.C. ve Shen, J.H., 2018. Effects of Steel-to-Member Depth Ratio and Axial Load on Flexural Ductility of Concrete-Encased Steel Composite Columns. Engineering Structures, 155, 157-166.
- Choi, S., Lee, S., Hong, S. ve Kim, J., 2008. Structural Capacities of Tension Side for CFT Square Column-to-Beam Connections with Combined-Cross Diaphragm, Advances in Structural Engineering, 11, 2, 209-227.
- Choi, S.M., Park, S.H., Yun, Y.S. ve Kim, J.H., 2010. A Study on the Seismic Performance of Concrete-Filled Square Steel Tube Column-to-Beam Connections Reinforced with Asymmetric Lower Diaphragms, Journal of Constructional Steel Research, 66,7, 962-970.
- Chopra, A., K., 2007. Dynamics of Structure: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, Pearson/Prentice Hall.
- Coşgun, S.İ., 2014. Betonarme Plakların Darbe Yüğü Etkisindeki Davranışlarının Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Compan, V., Pachón, P. ve Cámara, M., 2017. Ambient Vibration Testing and Dynamic Identification of A Historical Building, Procedia Engineering, 199, 3392-3397.
- ÇYTHYE, 2016. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, TSE, Ankara.
- Damar, M., 2006. Kompozit Yapılarda Taşıma Gücü, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- D'Ambrisi, A., Mariani, V. ve Mezzi, M., 2012. Seismic Assessment of A Historical Masonry Tower With Nonlinear Static and Dynamic Analyses Tuned on Ambient Vibration Tests. Engineering Structures, 36, 210-219.
- Demonceau, J.F. ve Ciutina, A., 2019. Characterisation of Beam-To-Column Steel-Concrete Composite Joints Beyond Current Eurocode Provisions, Structures, (baskıda).
- Denavit, M.D., Hajjar, J.F., Perea, T. ve Leon, R.T., 2016. Seismic Performance Factors for Moment Frames with Steel-Concrete Composite Columns and Steel Beams, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 45, 10, 1685-1703.
- Dessouki, A.K., Yousef, A. H. ve Fawzy, M.M., 2015. Investigation of in-Plane Moment Connections of I-Beams to Square Concrete-Filled Steel Tube Columns under Gravity Loads, HBRC Journal, 11, 1, 43-56.
- Diñçer, S., Aydın, E. ve Gencer, H., 2015. Methodology of Instrumentation for Structural Health Monitoring of Buildings, SMAR 2015: Third Conference on Smart Monitoring, Assessment & Rehabilitation of Civil Structures, Antalya.
- Ding, F.X., Yin, G.A., Jiang, L.Z. ve Bai, Y., 2018. Composite Frame of Circular CFST Column to Steel-Concrete Composite Beam under Lateral Cyclic Loading, Thin-Walled Structures, 122, 137-146.
- Ercan, E., 2018. Assessing the Impact of Retrofitting on Structural Safety in Historical Buildings Via Ambient Vibration Tests, Construction and Building Materials, 164, 337-349.
- Eslami, M., Namba, H., Kodur, V., Mahamid, M. ve Morovat, M. A., 2019. Seismic Behavior Of Composite Beam Connected to HSS Column with Large Width-to-Thickness Ratio, Engineering Structures, 183, 423-442.
- Essopjee, Y., ve Dundu Y.M., 2015. Performance of Concrete-Filled Double-Skin Circular Tubes in Compression, Composite Structures, 133, 1276-1283.
- Eurocode 4, 2004. Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, Belgium: European Committee for Standardization, Brussels.
- Eurocode 8, 2005. Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Committee for Standardization, Brussels.
- Eurocode, C.E.N., 2005. 3: Design of steel structures, Part 1-8: Design of joints. Brussels: EN1993-1-8, European Committee for Standardization.
- Fakharifar, M., Chen, G., Lin, Z., ve Woolsey, Z.T., 2014. Behavior and Strength of Passively Confined Concrete Filled Tubes. Proceedings of the 10th National Conference in Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Anchorage.

- FEMA 350, 2001. Seismic Design Criteria for New Moment-Resisting Steel Frame Construction.
- FEMA 461, 2007. Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components, Federal Emergency Management Agency.
- Focacci, F., Foraboschi, P., ve De Stefano, M., 2015. Composite Beam Generally Connected: Analytical Model, Composite Structures, 133, 1237-1248.
- Gan, D., Zhou, Z., Zhou, X. ve Hai Tan, K., 2018. Seismic Behavior Tests of Square Reinforced Concrete-Filled Steel Tube Columns Connected to RC Beam Joints, Journal of Structural Engineering, 145, 3, 04018267.
- Gao, S., Guo, L., Fu, F. ve Zhang, S., 2017. Capacity of Semi-Rigid Composite Joints in Accommodating Column Loss, Journal of Constructional Steel Research, 139, 288-301.
- Gara, F., Regni, M., Roia, D., Carbonari, S. ve Dezi, F., 2019. Evidence of Coupled Soil-Structure Interaction and Site Response in Continuous Viaducts from Ambient Vibration Tests, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 120, 408-422.
- Gentile, C. ve Gallino, N., 2008. Ambient Vibration Testing and Structural Evaluation of An Historic Suspension Footbridge, Advances in Engineering Software, 39, 4, 356-366.
- Görkem, S.E., 2002. Çelik Yapılarda Karma Kiriş Davranışlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Grip, N., Sabourova, N. ve Tu, Y., 2017. Sensitivity-Based Model Updating for Structural Damage Identification Using Total Variation Regularization, Mechanical Systems and Signal Processing, 84, 365-383.
- Guo, H., Long, X. ve Yao, Y., 2017. Fire Resistance of Concrete Filled Steel Tube Columns Subjected to Non-Uniform Heating, Journal of Constructional Steel Research, 128, 542-554.
- Gunaydin, M., Adanur, S. ve Altunisik, A.C., 2018. Ambient Vibration Based Structural Evaluation of Reinforced Concrete Building Model, Earthquakes and Structures, 15, 3, 335-350.
- Hajjar, J.F., 2002. Composite Steel and Concrete Structural Systems for Seismic Engineering, Journal of Constructional Steel Research, 58, 5, 703-723.
- Han, L.H., Wang, W.D. ve Zhao, X.L., 2008. Behaviour of Steel Beam to Concrete-Filled SHS Column Frames: Finite Element Model and Verifications, Engineering Structures, 30, 6, 1647-1658.

- Han, L.H., Qu, H., Tao, Z. ve Wang, Z.F., 2009. Experimental Behaviour of Thin-Walled Steel Tube Confined Concrete Column to RC Beam Joints under Cyclic Loading, Thin-Walled Structures, 47, 8, 847-857.
- Han, L.H., ve Li, W., 2010. Seismic Performance of CFST Column to Steel Beam Joint with RC Slab: Experiments, Journal of Constructional Steel Research, 66, 11, 1374-1386.
- Han, L.H., Wang, W.D. ve Tao, Z., 2011. Performance of Circular CFST Column to Steel Beam Frames Under Lateral Cyclic Loading, Journal of Constructional Steel Research, 67,5, 876-890.
- 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.
- Hanswille G., 2008. Eurocodes Background and Applications Dissemination of Information for Training, Brussels.
- Heylen W., Lammens S. ve Sas, P., 2007. Modal Analysis Theory and Testing, Leuven Katholieke Universtiy, Department of Mechanical Engineering, Leuven, Belgium.
- Huo, J., Wang, H., Zhu, Z., Liu, Y., ve Zhong, Q., 2017. Experimental Study on Impact Behavior of Stud Shear Connectors between Concrete Slab and Steel Beam, Journal of Structural Engineering, 144, 2, 04017203.
- Hüsem, M., Nasery, M.M., Okur, F.Y. ve Altunişik, A.C., 2018. Experimental Evaluation of Damage Effect on Dynamic Characteristics of Concrete Encased Composite Column-Beam Connections, Engineering Failure Analysis, 91, 129-150.
- Hwang, H.J., Eom, T.S., Park, H.G., Lee, S.H. ve Kim, H.S., 2015. Cyclic Loading Test for Beam-Column Connections of Concrete-Filled U-Shaped Steel Beams and Concrete-Encased Steel Angle Columns, Journal of Structural Engineering, 141, 11, 04015020/1-12.
- Jaishi, B., Kim, H.J., Kim, M.K., Ren, W.X. ve Lee, S.H., 2007. Finite Element Model Updating of Concrete-Filled Steel Tubular Arch Bridge Under Operational Condition Using Modal Flexibility, Mechanical Systems and Signal Processing, 21, 6, 2406-2426.
- Jia, M., Lu, D., Guo, L. ve Sun, L., 2014. Experimental Research and Cyclic Behavior of Buckling-Restrained Braced Composite Frame, Journal of Constructional Steel Research, 95, 90-105.
- Johnson, R.P., 2004. Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns, and Frames for Buildings, U.K, Blackwell Publishing, Oxford.
- JSCE, 2007. Standard Specifications for Steel and Composite Structures, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo.

- Jungbluth, O., 1980. U.S. Patent No: 4,196,558. DC: U.S. Patent and Trademark Office, Washington.
- Kalkan, E., Okur, F.Y., Karahasan, O.Ş., Altunişik, A.C. ve Ozgan, K., 2018. Finite Element Model Updating and Dynamic Analysis of A Restored Historical Timber Mosque Based on Ambient Vibration Tests, Journal of Testing and Evaluation, 47, 5, 345-352.
- Kamaris, G.S., Skalomenos, K.A., Hatzigeorgiou, G.D. ve Beskos, D.E., 2016. Seismic Damage Estimation of in-Plane Regular Steel/Concrete Composite Moment Resisting Frames, Engineering Structures, 115, 67-77.
- Kana, H., 1994. Betonarme-Çelik Kompozit Elemanlar, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kang, C.H., Shin, K.J., Oh, Y.S. ve Moon, T.S., 2001. Hysteresis Behavior of CFT Column to H-Beam Connections with External T-Stiffeners and Penetrated Elements, Engineering structures, 23, 9, 1194-1201.
- Kaynak, U., 2012. Jeofizik Açidan Deprem Güvenli Yapı, Teknik Notlar.
- Keçeli, A. ve Cevher, M., 2018. Zemin Hakim Periyodu ve Bina Yüksekliği Rezonans İlişkisi, Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 17, 2, 203-224.
- Kim, C.S., Park, H.G., Chung, K.S. ve Choi, I.R., 2011. Eccentric Axial Load Testing for Concrete-Encased Steel Columns Using 800 MPa Steel and 100 MPa Concrete. Journal of Structural Engineering, 138, 8, 1019-1031.
- Kodur, V.K.R., 1999. Performance-Based Fire Resistance Design of Concrete-Filled Steel Columns, Journal of Constructional Steel Research, 51, 1, 21-36.
- Krishan, A.L., Troshkina, E.A., ve Chernyshova, E.P., 2016. Efficient Design of Concrete Filled Steel Tube Columns, Procedia Engineering, 150, 1709-1714.
- Lacanna, G., Ripepe, M., Marchetti, E., Coli, M. ve Garzonio, C.A., 2016. Dynamic Response of the Baptistery of San Giovanni in Florence, Italy, Based on Ambient Vibration Test. Journal of Cultural Heritage, 20, 632-640.
- Lacanna, G., Ripepe, M., Coli, M., Genco, R. ve Marchetti, E., 2019. Full Structural Dynamic Response from Ambient Vibration of Giotto's Bell Tower in Firenze (Italy), Using Modal Analysis and Seismic Interferometry, NDT & E-International, 102, 9-15.
- Lacki, P., Derlatka, A., ve Kasza, P., 2018. Comparison of Steel-Concrete Composite Column and Steel Column, Composite Structures, 202, 82-88.
- Lai, Z., Fischer, E.C. ve Varma, A.H., 2019. Database and Review of Beam-to-Column Connections for Seismic Design of Composite Special Moment Frames, Journal of Structural Engineering, 145, 5, 04019023.

- Lam, D. ve Fu, F., 2005. Modelling of Semi-Rigid Composite Beam-Column Connections with Precast Hollowcore Slabs. Fourth International Conference on Advances in Steel Structures, Haziran, Şangay, Bildiriler Kitabı: 787-792.
- Lamarche, C.P., Paultre, P., Proulx, J. ve Mousseau, S., 2008. Assessment of the Frequency Domain Decomposition Technique by Forced-Vibration Tests of A Full-Scale Structure, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 37, 3, 487-494.
- Lee, J. ve Fenves, G., 1998. Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structure, Engineering Mechanics, 124, 892-900.
- Lee, H.J., Park, H.G., Park, S.S., Kim, S.B. ve Choi, I.R., 2015. Cyclic Loading Test for Exterior Beam-Column Joints of CEFT Columns, Journal of Structural Engineering, 142, 2, 04015147.
- Li, X., Xiao, Y. ve Wu, Y.T., 2009. Seismic Behavior of Exterior Connections with Steel Beams Bolted to CFT Columns, Journal of Constructional Steel Research, 65, 7, 1438-1446.
- Li, W. ve Han, L.H., 2011. Seismic Performance of CFSTC to Steel Beam Joints with RC Slab: Analysis, Journal of Constructional Steel Research, 67, 1, 127-139.
- Li, R., Samali, B., Tao, Z. ve Hassan, M.K., 2017. Cyclic Behaviour of Composite Joints with Reduced Beam Sections, Engineering Structures, 136, 329-344.
- Li, J.T., Chen, Z.P., Xu, J.J., Jing, C.G. ve Xue, J.Y., 2018. Cyclic Behavior of Concrete-Filled Steel Tubular Column-Reinforced Concrete Beam Frames Incorporating 100% Recycled Concrete Aggregates, Advances in Structural Engineering, 21, 12, 1802-1814.
- Li, S., Han, L.H. ve Hou, C., 2018. Concrete-Encased CFST Columns under Combined Compression and Torsion: Analytical Behaviour, Journal of Constructional Steel Research, 144, 236-252.
- Liang, Q.Q., 2009a. Performance-Based Analysis of Concrete-Filled Steel Tubular Beam-Columns, Part I: Theory and Algorithms, Journal of Constructional Steel Research, 65, 2, 363-372.
- Liang, Q.Q., 2015. Analysis and Design of Steel and Composite Structures, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York.
- Liao, F.Y., Han, L.H. ve Tao, Z., 2014. Behaviour of Composite Joints with Concrete Encased CFST Columns under Cyclic Loading: Experiments, Engineering Structures, 59, 745-764.
- Lu, L., Xu, Y. ve Zheng, H., 2017. Investigation of Composite Action on Seismic Performance of Weak-Axis Column Bending Connections, Journal of Constructional Steel Research, 129, 286-300.

- Ma, D.Y., Han, L.H., Li, W. ve Zhao, X.L., 2017. Seismic Performance of Concrete-Encased CFST Piers: Analysis, Journal of Bridge Engineering, 23, 1, 04017119.
- Ma, D.Y., Han, L.H., Ji, X. ve Yang, W.B., 2018. Behaviour of Hexagonal Concrete-Encased CFST Columns Subjected to Cyclic Bending, Journal of Constructional Steel Research, 144, 283-294.
- Ma, D.Y., Han, L.H. ve Zhao, X.L., 2019. Seismic Performance of the Concrete-Encased CFST Column to RC Beam Joint: Experiment, Journal of Constructional Steel Research, 154, 134-148.
- Mago, N. ve Hicks, S.J., 2016. Fire Behaviour of Slender, Highly Utilized, Eccentrically Loaded Concrete Filled Tubular Columns, Journal of Constructional Steel Research, 119, 123-132.
- Malveiro, J., Ribeiro, D., Sousa, C. ve Calçada, R., 2018. Model Updating of A Dynamic Model of A Composite Steel-Concrete Railway Viaduct Based on Experimental Tests. Engineering Structures, 164, 40-52.
- Moliner, V., Espinos, A., Romero, M.L. ve Hospitaler, A., 2013. Fire Behavior of Eccentrically Loaded Slender High Strength Concrete-Filled Tubular Columns, Journal of Constructional Steel Research, 83, 137-146.
- Nie, J., ve Cai, C.S., 2003. Steel–Concrete Composite Beams Considering Shear Slip Effects, Journal of Structural Engineering, 129, 4, 495-506.
- Nie, J., Qin, K. ve Cai, C.S., 2008. Seismic Behavior of Connections Composed of CFSSTCs and Steel-Concrete Composite Beams-Finite Element Analysis, Journal of Constructional Steel Research, 64, 6, 680-688.
- Nogueiro, P., Silva, L.S.D., Bento, R. ve Simões, R., 2009. Calibration of Model Parameters for the Cyclic Response of End-Plate Beam-to-Column Steel-Concrete Composite Joints, Steel and Composite Structures, 9, 39-58.
- Nozari, A., Behmanesh, I., Yousefianmoghadam, S., Moaveni, B. ve Stavridis, A., 2017. Effects of Variability in Ambient Vibration Data on Model Updating and Damage Identification of A 10-Story Building, Engineering Structures, 151, 540-553.
- Oehlers, D.J., 1990. Deterioration in Strength of Stud Connectors in Composite Bridge Beams, Journal of structural engineering, 116, 12, 3417-3431.
- OMA, 2006. Operational Modal Analysis, Release 4.0. Structural Vibration Solution A/S, Denmark.
- Pachoumis, D.T., Galoussis, E.G., Kalfas, C.N. ve Christitsas, A.D., 2009. Reduced Beam Section Moment Connections Subjected to Cyclic Loading: Experimental Analysis and FEM Simulation, Engineering Structures, 31, 1, 216-223.

- Pan, P., Lam, A., Lin, X., Li, Y. ve Ye, L., 2013. Cyclic Loading Tests and Finite Element Analyses on Performance of Ring Beam Connections, Engineering Structures, 56, 682-690.
- Pathirage, C.S.N., Li, J., Li, L., Hao, H., Liu, W. ve Ni, P., 2018. Structural Damage Identification Based on Autoencoder Neural Networks and Deep Learning, Engineering Structures, 172, 13-28.
- Park, H.G., Hwang, H.J., Lee, C.H., Park, C.H. ve Lee, C.N., 2012. Cyclic Loading Test for Concrete-Filled U-Shaped Steel Beam-RC Column Connections, Engineering Structures, 36, 325-336.
- Park, S.H., Choi, S.M., Kim, Y.S., Park, Y.W. ve Kim, J.H., 2010. Hysteresis Behavior of Concrete Filled Square Steel Tube Column-to-Beam Partially Restrained Composite Connections, Journal of Constructional Steel Research, 66, 7, 943-953.
- Patidar, A.K., 2012. Behaviour of Concrete Filled Rectangular Steel Tube Column, Journal of Mechanical and Civil Engineering, 4, 2, 46-52.
- Piluso, V., Rizzano, G. ve Tolone, I., 2012. Moment Resistance Statistical Distribution of Beam-to-Column Composite Joints, Journal of Constructional Steel Research, 78, 183-191.
- Piquer, A., ve Hernández-Figueirido, D., 2016. Protected Steel Columns vs Partially Encased Columns: Fire Resistance and Economic Considerations, Journal of Constructional Steel Research, 124, 47-56.
- Polanco, N.R., May, G. ve Hernandez, E.M., 2016. Finite Element Model Updating of Semi-Composite Bridge Decks Using Operational Acceleration Measurements, Engineering Structures, 126, 264-277.
- PULSE, 2006. Analyzers and Solutions, Release 11.2. Bruel and Kjaer, Sound and Vibration Measurement A/S, Denmark.
- Qi, J., Wang, J., Li, M., ve Chen, L., 2017. Shear Capacity of Stud Shear Connectors with Initial Damage: Experiment, FEM Model and Theoretical Formulation, Steel Composite Structure, 25, 1, 79-92.
- Qian, W.W., Li, W., Han, L.H. ve Zhao, X.L., 2016. Analytical Behavior of Concrete-Encased CFST Columns under Cyclic Lateral Loading, Journal of Constructional Steel Research, 120, 206-220.
- Qin, Y., Chen, Z., Yang, Q. ve Shang, K., 2014. Experimental Seismic Behavior of Through-Diaphragm Connections to Concrete-Filled Rectangular Steel Tubular Columns, Journal of Constructional Steel Research, 93, 32-43.
- Ramos, J.L.F.S., 2007. Damage Identification on Masonry Structures Based on Vibration Signatures, Doktora Tezi, University of Minho, Portugal.

- Ren, W.X. ve Peng, X.L., 2005. Baseline Finite Element Modeling of a Large Span Cable-Stayed Bridge Through Field Ambient Vibration Tests, Computers & Structures, 83, 536-550.
- Ren, X., Bai, Q., Yang, C., ve Li, J., 2018 Seismic Behavior of Tall Buildings Using Steel-Concrete Composite Columns and Shear Walls. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 27, 4, 1415-1441.
- Ricles, J. M., Sause, R., Muhummud, T. ve Herrera, R., 2002. Modeling and Behavior of Composite Mrfs with Concrete Filled Steel Tubular Columns Subject to Earthquake Loading, Advances in Building Technology, 48, 439-446.
- Ricles, J.M., Peng, S.W. ve Lu, L.W., 2004. Seismic Behavior of Composite Concrete Filled Steel Tube Column-Wide Flange Beam Moment Connections, Journal of Structural Engineering, 130, 2, 223-232.
- Roia, D., Gara, F., Balducci, A. ve Dezi, L., 2014. Ambient Vibration Tests on A Reinforced Concrete School Building Before and After Retrofitting Works With External Steel Dissipative Towers, 9th International Conference on Structural Dynamics, EUROLYN, Porto, Bildiriler Kitabı: 2509-2516.
- Sahmaran, M., Li, V.C. ve Andrade, C., 2008. Corrosion Resistance Performance of Steel-Reinforced Engineered Cementitious Composite Beams, ACI Materials Journal, 105, 3, 243-251.
- Salvatore, W., Bursi, O.S. ve Lucchesi, D., 2005. Design, Testing and Analysis of High Ductile Partial-Strength Steel-Concrete Composite Beam-to-Column Joints, Computers & structures, 83, 28, 2334-2352.
- SAP2000, 2018. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.
- Sevim, B., 2010. Kemer Barajların Dinamik Davranışlarının Sonlu Eleman ve Deneysel Modal Analiz Yöntemleriyle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Sevim, B., Altunisik, A.C. ve Bayraktar, A., 2013. Structural Identification of Concrete Arch Dams By Ambient Vibration Tests, Advances in Concrete Construction, 1, 3, 227-237.
- Shakib, H. ve Parsaeifard, N., 2011. Ambient Vibration Tests on A 19-Story Asymmetric Steel Building, Structural Engineering and Mechanics, 40, 1, 1-11.
- Sheet, I.S., Gunasekaran, U. ve MacRae, G.A., 2013. Experimental Investigation of CFT Column to Steel Beam Connections under Cyclic Loading, Journal of Constructional Steel Research, 86, 167-182.
- Shim, C.S., Lee, P.G., ve Yoon, T.Y., 2004. Static Behavior of Large Stud Shear Connectors, Engineering structures, 26, 12, 1853-1860.

- Shin, K.J., Kim, Y.J. ve Oh, Y.S., 2008. Seismic Behaviour of Composite Concrete-Filled Tube Column-to-Beam Moment Connections, Journal of Constructional Steel Research, 64, 1, 118-127.
- Siringoringo, D.M. ve Fujino, Y., 2008. System Identification of Suspension Bridge from Ambient Vibration Response, Engineering Structures, 30, 2, 462-477.
- Spacone, E. ve El-Tawil, S., 2004. Nonlinear Analysis of Steel-Concrete Composite Structures: State of the Art, Journal of Structural Engineering, 130, 2, 159-168.
- Tao, M.X., Fan, J.S. ve Nie, J.G., 2013. Seismic Behavior of Steel Reinforced Concrete Column-Steel Truss Beam Hybrid Joints, Engineering Structures, 56, 1557-1569.
- Taranath, B.S., 2016. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction, CRC Press.
- Taufik, S., Utomo, G. ve Sugianto, A., 2018. Behavior of Filled and Encased Composite Column Using 3D Numerical Modelling ANSYS, International Journal of Composite Materials, 8, 1, 18-23.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, AFAD, Ankara.
- Tizani, W., Wang, Z.Y. ve Hajirasouliha, I., 2013. Hysteretic Performance of a New Blind Bolted Connection to Concrete Filled Columns under Cyclic Loading: An Experimental Investigation, Engineering Structures, 46, 535-546.
- TS500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- Ulusoy, H.S., Kalkan, E., Fletcher, J.P.B., Friberg, P., Leith, W.K. ve Banga, K., 2012. Design and Implementation of A Structural Health Monitoring and Alerting System for Hospital Buildings in the United States, 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Bildiriler Kitabı: 24-28.
- URL1, <https://www.compositeuk.com/services-solutions/concreting-ancillary-services/>. 2 Mart 2019
- URL2, http://www.tectonica-online.com/products/1710/improving_fire_resistance_concrete_embedded_profiles_partially_steel/. 20 Aralık 2018
- URL-3, http://www.baudosteel.com/products_detail/productId=122.html. 2 Mart 2019
- URL-4, <https://www.picswe.com/pics/partially-encased-ba.html>. 2 Mart 2019
- Vasdravellis, G., Valente, M. ve Castiglioni, C.A., 2009. Behavior of Exterior Partial-Strength Composite Beam-to-Column Connections: Experimental Study and Numerical Simulations, Journal of Constructional Steel Research, 65, 1, 23-35.
- Viest, I.M., 1956. Investigation of Stud Shear Connectors for Composite Concrete and Steel T-Beams, International Journal Proceedings, 52, 4, 875-892.

- Votsis, R.A., Kyriakides, N., Chrysostomou, C.Z., Tantele, E. ve Demetriou, T., 2012. Ambient Vibration Testing of Two Masonry Monuments in Cyprus. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 43, 58-68.
- Wang, J., Chen, X. ve Shen, J., 2012. Performance of CFTST Column to Steel Beam Joints with Blind Bolts under Cyclic Loading, Thin-Walled Structures, 60, 69-84.
- Wang, J.F. ve Li, G.Q., 2007. Testing of Semi-Rigid Steel–Concrete Composite Frames Subjected to Vertical Loads, Engineering Structures, 29, 8, 1903-1916.
- Wang, J. ve Sun, Q., 2019. Cyclic Testing of Q690 Circular High-Strength Concrete-Filled Thin-Walled Steel Tubular Columns, Advances in Structural Engineering, 1369433218790769.
- Wang, K., Lu, X.F., Yuan, S.F., Cao, D.F. ve Chen, Z.X., 2017. Analysis on Hysteretic Behavior of Composite Frames with Concrete-Encased CFST Columns, Journal of Constructional Steel Research, 135, 176-186.
- Wang, J., Lu, J., Zhang, H. ve Zhao, C., 2018. Experimental Investigation on Seismic Performance of Endplate Composite Joints to CFST Columns, Journal of Constructional Steel Research, 145, 352-367.
- Wang, W., Qian, X. ve Yang, B., 2014. Fracture in Concrete-Filled Square Hollow Section to H-Section Joints Under Low-Cycle Loading. Journal of Constructional Steel Research, 101, 363-372.
- Wang, Y.C., 2014. Steel and Composite Structures: Behaviour and Design for Fire Safety, CRC Press.
- Wang, J., Zhang, H. ve Jiang, Z., 2016. Seismic Behavior of Blind Bolted and Plate Composite Joints to CFTST Columns, Thin-Walled Structures, 108, 256-269.
- Wu, L.Y., Chung, L.L., Tsai, S.F., Lu, C.F. ve Huang, G.L., 2007. Seismic Behavior of Bidirectional Bolted Connections for CFT Columns and H-Beams, Engineering Structures, 29, 3, 395-407.
- Xu, Y., Lu, L. ve Zheng, H., 2019. Finite Element Analysis of Weak-Axis Composite Connections under Cyclic Loading. International Journal of Steel Structures, 19, 1, 82-95.
- Yang, B. ve Tan, K. H., 2013. Behavior of Composite Beam-Column Joints in A Middle-Column-Removal Scenario: Experimental Tests, Journal of Structural Engineering, 140, 2, 04013045/1-20.
- Yang, J., Sheehan, T., Dai, X. H. ve Lam, D., 2015. Experimental Study of Beam to Concrete-Filled Elliptical Steel Tubular Column Connections, Thin-Walled Structures, 95, 16-23.

- Ye, X., Yan, Q., Wang, W. ve Yu, X., 2012. Modal Identification of Canton Tower under Uncertain Environmental Conditions, Smart Structures and Systems, 10, 4, 353-373.
- Yin, T., Lam, H.F., Chow, H.M. ve Zhu, H.P., 2009. Dynamic Reduction-Based Structural Damage Detection of Transmission Tower Utilizing Ambient Vibration Data, Engineering Structures, 31, 9, 752-764.
- Zhang, D., Gao, S. ve Gong, J., 2012. Seismic Behaviour of Steel Beam to Circular CFST Column Assemblies with External Diaphragms, Journal of Constructional Steel Research, 76, 155-166.
- Zhang, J., 2004. Design of Composite Columns, Yüksek Lisans Tezi, Helsinki Üniversitesi of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki.
- Zhang, Y.F., Zhao, J.H. ve Cai, C.S., 2012. Seismic Behavior of Ring Beam Joints between Concrete-Filled Twin Steel Tubes Columns and Reinforced Concrete Beams, Engineering Structures, 39, 1-10.
- Zhou, L. ve Yi-sheng, S., 2019. Experimental Study on Seismic Behavior of SRC Deep Beam-to-CFST Column Frames, Journal of Constructional Steel Research, 155, 157-175.
- Zhou, Q.S., Fu, H.W., Ding, F.X., Liu, X.M., Yu, Y.J., Wang, L.P. ve Luo, L., 2019. Seismic Behavior of a New Through-Core Connection between Concrete-Filled Steel Tubular Column and Composite Beam, Journal of Constructional Steel Research, 155, 107-120.
- Zhou, S., Zhu, H., Ju, J.W., Yan, Z. ve Chen, Q., 2017. Modeling Microcapsule-Enabled Self-Healing Cementitious Composite Materials Using Discrete Element Method, International Journal of Damage Mechanics, 26, 2, 340-357.
- Zhou, X., Zhou, Z. ve Gan, D., 2018. Cyclic Testing of Square Tubed-Reinforced-Concrete Column to RC Beam Joints, Engineering Structures, 176, 439-454.

ÖZGEÇMİŞ

Mohammad Manzoor NASERY, 1987 yılında Afganistan başkenti Kabil’de doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Amani Lisesi’nde tamamladı. 2006 yılında girdiği Afganistan ulusal üniversite giriş sınavında üstün başarı ile Kabil Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. Bir dönem okuduktan sonra Türkiye Cumhuriyeti Bursları programını kazanan NASERY’ 2006 yılında Türkiye’ye geldi, dil eğitimini tamamladıktan sonra 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversite, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2012 yılında derece ile mezun olduğu inşaat Mühendisliği Bölümün yansıra, aynı yıllar arasında Harita Mühendisliği Bölümü’nü Yan Dal olarak bitirdi. 2012 yılında Yurt dışında okuyan en başarılı Afgan öğrencisi olarak seçilen NASERY, aynı yıl lisans derecesi ile Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora programına kabul oldu. 2013 yılında TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Programı tarafından Yabancı Uyruklular Lisansüstü Burs Programı ile ödüllendirildi. 2017 yılında kurmuş olduğu Dynamica Mühendislik firması bünyesinde bugüne kadar birçok özel mühendislik yapıların projelendirilmesini tamamlayan NASERY, yirminin üzerine bilgisayar programını aktif olarak kullanabilmektedir. Anadili Peştucanın yanı sıra ileri derecede Türkçe, Farsça ve İngilizce bilmektedir. Evli ve YUSRA adında bir kız çocuk babası NASERY’nin bugüne kadar yapmış olduğu akademik çalışmalara ait yayın listesi aşağıda sunulmaktadır.

- **Nasery M.M.**, Hüsem M., Okur F.Y., Altunışık A.C., "Damage effect on experimental modal parameters of haunch strengthened concrete encased composite column-beam connections", INTERNATIONAL JOURNAL OF DAMAGE MECHANICS, vol.--, pp.---, 2019 (Basımda.)
- Hüsem M., **Nasery M.M.**, Okur F.Y., Altunışık A.C., " Experimental evaluation of damage effect on dynamic characteristics of concrete encased composite column-beam connections", Engineering Failure Analysis, Vol 91, pp.129-150, 2018
- **Nasery M.M.**, Ergün M., Ateş Ş., Hüsem M., "Comparing the dynamic behavior of a hospital-type structure with fixed and isolated base", EARTHQUAKES AND STRUCTURES, vol.9, pp.657-671, 2015.
- **Nasery M.M.**, Hüsem M., "Kompozit Çelik-Betonarme Yapıların İrdelenmesi ", Mühendislik Bülteni, Sayı 84, ss.6-8, 2017.

- **Nasery M.M.**, Ergün M., Hüsem M., Ateş Ş., "Kat Planındaki Çıkıntıların Burulma Düzensizliği Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi ", Mühendislik Bülteni, cilt.29, ss.16-26, 2015.
- **Nasery M.M.** , Hüsem M., Ardamshahid M., " Design Stages of Rockfall Protection Systems " International Conference on Advanced Engineering Technologies, Bayburt, Türkiye, Eylül, 2017, Bildiriler Kitabı: 1531.
- **Nasery M.M.** , Hüsem M., Ardamshahid M., " Earthquake Resistance Performance and Reconstruction Analysis of Historical Kundupoglu Mansion " International Conference on Advanced Engineering Technologies, Bayburt, Türkiye, Eylül, 2017, Bildiriler Kitabı, 1532.
- **Nasery M.M.** , Hüsem M., " Evaluating effects of Haunch in Concrete Encased Composite Column-Steel Beam Connection Zone under Bending and Lateral Loading" International Conference on Civil and Environmental Engineering, Kapadokya, Türkiye, Mayıs 2017, Bildiriler Kitabı: 443-452.
- **Nasery M.M.** , Hüsem M., " Investigation The Seismic Performance Of The Structures With Steel, Concrete And Composite Columns " International Conference on Civil and Environmental Engineering, Kapadokya, Türkiye, Mayıs 2017, Bildiriler Kitabı: 334-343.
- **Nasery M.M.** , Hüsem M., " Behaviour of the Composite Column- Beam Connection under Cyclic Loading" 12th INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCES IN CIVIL ENGINEERING, İstanbul, Türkiye, Eylül 2016, Bildiriler Kitabı: 28.
- **Nasery M.M.**, Hüsem M., "Effects Of Shear Wall Location On Earthquake Resistance Design Of Symmetric Structures", International Symposium on Natural Hazard and Hazard Management Symposium, Karabük, Türkiye, Mart 2016, Bildiriler Kitabı: 056-061.
- **Nasery M.M.**, Hüsem M., " Effects Of Plan Balconies On Dynamic Behaviour Of The Structure", International Symposium on Natural Hazard and Hazard Management Symposium, Karabük, Türkiye, Mart 2016, Bildiriler Kitabı:086-091.
- **Nasery M.M.**, Hüsem M., "Plastik Boşluklu Kirişsiz Döşeme Sistemleri İle İlgili Bir Sentez Çalışması", Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu, Bayburt, Türkiye, Ekim 2015, Bildiriler Kitabı: 141-149.
- **Nasery M.M.**, Ergün M., Ateş Ş., Hüsem M., "Süneklik Düzeyi Yüksek Bir Binanın Dinamik Davranışına Deprem İzolatörlerinin Etkisinin Araştırılması ", Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı , İstanbul, Türkiye, Mayıs 2015, Bildiriler Kitabı.799-810.