



Çelik Kiriş ile Kolon Birleşimlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Mohammad Haroon Ehsan

ORCID 0000-0003-1428-3702

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mutlu Seçer

Ocak 2022

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Mohammad Haroon Ehsan** tarafından hazırlanan **Çelik Kiriş ile Kolon Birleşimlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi** başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

ONAYLAYANLAR:

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mutlu Seçer
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. Erkan Doğan
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan Toğay
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Savunma Tarihi: 11.01.2022

Yazarlık Beyanı

Ben, **Mohammad Haroon Ehsan**, başlığı **Çelik Kiriş Kolon Birleşimlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi** olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim. Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta bulundum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

Tarih:

11.01.2022

Çelik Kiriş Kolon Birleşimlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi

Öz

Çelik yapıların tasarımında malzeme, geometri gibi temel özelliklerinin yanında kiriş ile kolon birleşim davranışının da dikkate alınması gereklidir. Yapı modellerinin pratik şekilde kurulabilmesi açısından kiriş ile kolon birleşimleri genellikle ideal mafsallı veya tam rijit olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. İdeal mafsallı birleşimlerin dönme serbestlik derecesi açısından sınırlandırılmamış olup moment aktarmadığı, tam rijit birleşimlerin ise dönme serbestlik derecesi engellenmiş olup tüm momenti aktardığı farz edilir. Hâlbuki pratikte hem bir miktar dönme yapan hem de bir miktar moment aktaran üçüncü bir birleşim tipi bulunmaktadır. Bu tip birleşimler yarı-rijit birleşim olarak adlandırılmaktadır. Çelik kiriş ile kolon birleşimleri davranışlarının tanımlanabilmesi için moment dönme ilişkilerinin incelenmesi gereklidir. Bu çalışmada çelik yapılarda kullanılan kiriş ile kolon birleşimlerinin davranışlarının incelenmesi ve yarı-rijit davranışın önemi araştırılmıştır. Çalışmada çelik kiriş ile kolon birleşimleri sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve hesap sonuçları literatürde yer alan birleşimler dikkate alınarak incelenmiştir. Çelik kiriş ile kolon birleşimlerinin yarı-rijit davranışlarına göre moment–dönme ilişkileri elde edilmiş ve çerçeve sisteme yansıtılarak doğrusal olmayan yapı davranışı incelenmiştir. Ayrıca, çalışmada imalat hatalarını temsil etmek amacıyla bulonlu birleşimlerde birer adet bulonun birleşimde yer almaması, hesap öngerme değerlerinin tam değer olarak

uygulanamaması gibi çeşitli imalat hatası durumları incelenmiş, çerçeve sistemler üzerine olan etkileri sayısal olarak araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Kiriş ile kolon birleşimi, yarı-rijit davranış, sonlu elemanlar yöntemi, moment-dönme ilişkisi, çelik çerçeveler



Investigation of Steel Beam to Column Connections using Finite Element Method

Abstract

In the design of steel structures, it is necessary to take into account the behavior of beam to column connections, as well as basic features such as material and geometry. In order to establish practical building models, beam to column connections are generally applied in two ways, ideally pinned or fully rigid. Ideally pinned connections are assumed to be unconstrained in terms of rotational degrees of freedom and do not transmit moment, while fully rigid connections are assumed to have restricted degrees of freedom and transfer all moments. However, in practice, there is a third type of connection that allows some rotation and transmits some moment. These types of connections are called semi-rigid connections. In order to define the behavior of steel beam to column connections, it is necessary to examine the moment-rotation relationships. In this study, the behavior of beam to column connections used in steel structures and the importance of semi-rigid behavior are investigated. In the study, steel beam to column connections were modeled using the finite element method, and the calculation results were examined by considering the connections in the literature. According to the semi-rigid behavior of the steel beam to column connections, the moment-rotation relations were obtained and the non-linear structure behavior was examined by reflecting the frame system. Besides, various manufacturing errors such as the absence of one bolt in the bolted joints, the inability to apply the pretension

values as full values were examined in order to represent the manufacturing defects, and their effects on the frame systems were investigated numerically.

Keywords: Beam to column connection, semi-rigid behavior, finite element method, moment-rotation relationship, steel frames



Teşekkür

Öncelikle bugünlere gelmeme en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme canı gönülden teşekkür ederim. İnşaat Mühendisliği programında aldığım eğitim ve tez çalışmam sırasında bilgi ve tecrübesinden yararlandığım tez danışmanı hocam Doç. Dr. Mutlu SEÇER'e saygılarımı ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesindeki çalışanlarına sağladıkları imkânlar için teşekkür ederim. Son olarak güzel Türkiye'ye gelmeme, iyi insanları ve kültürü tanımama fırsatlar sağlayan ve yüksek lisans programını tamamlama şansı veren Türkiye Cumhuriyeti'ne özellikle Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mohammad Haroon EHSAN

Ocak 2022

İçindekiler

Yazarlık Beyanı.....	ii
Öz	iii
Abstract	v
Teşekkür.....	vii
İçindekiler	viii
Şekiller Listesi.....	xi
Tablo Listesi.....	xvi
Kısaltmalar	xviii
1. Giriş	1
1.1 Amaç ve Hedef	2
1.2 Yöntem.....	3
1.3 Çalışmanın Kapsamı	3
1.4 Literatür Taraması.....	4
2. Yarı Rijit Kiriş ile Kolon Birleşimleri	8
2.1 Yarı Rijit Kiriş Kolon Birleşim Tipleri.....	8
2.2 Birleşim Modelleri	12
2.2.1 Doğrusal Model.....	12
2.2.2 Polinom Modeli.....	13
2.2.3 Power Modeli	16
2.2.4 Exponential Modeli.....	17
2.2.5 Diğer Birleşim Modelleri	19
2.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	20
3. Kiriş ile Kolon Birleşimlerinin Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi	22

3.1	Giriş.....	22
3.2	Azizinamini'nin Deneyleri ve Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi	22
3.2.1	Birleşim Modellerinin Geometrilere.....	23
3.2.2	Sonlu Eleman Modellemesi	24
3.2.3	Sınır Koşulları ve Uygulanan Yükler.....	25
3.2.4	Malzeme Özellikleri.....	27
3.2.5	Sonlu Elemanlar Yöntemi Analiz Sonuçları	27
3.3	Ostrander'in Deneyleri ve Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi	39
3.3.1	Malzeme Özellikleri.....	40
3.3.2	Sonlu Eleman Modellemesi	41
4.	Kiriş ile Kolon Birleşimindeki Birtakım İmalat Hatalarının Moment-Dönme İlişkisine Etkisi	46
4.1	Giriş.....	46
4.2	Kiriş ile Kolon Birleşiminde Bir Bulonun Eksik Olması Durumunun İncelenmesi	46
4.3	Kiriş ile Kolon Birleşiminde Bulon Öngerme Değerlerinin Hesaplanandan Farklı Uygulanması Durumunun İncelenmesi	54
4.4	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	59
5.	Kiriş ile Kolon Birleşimlerinin Yarı-Rijit Modellendiği Çelik Çerçeveler	60
5.1	Giriş.....	60
5.2	Sayısal Uygulamalar	60
5.2.1	Stelmack'ın Çelik Çerçevelerinin İncelenmesi.....	61
5.2.2	Vogel'in Tek Katlı ve Tek Açıklıklı Çelik Çerçevesinin İncelenmesi	64
5.2.3	Chen'in İki Katlı ve Tek Açıklıklı Çelik Çerçevesinin İncelenmesi	66
5.2.4	Lui ve Chen'in Çelik Çerçevelerinin İncelenmesi	68
5.3	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	71
6.	Kiriş ile Kolon Birleşimlerini Oluşturan Bileşenlerin Çelik Çerçeve Davranışına Etkileri.....	72

6.1	Sayısal Uygulama ile İlgili Bilgiler	72
6.2	İki Katlı ve Tek Açıklıklı Çelik Çerçeve	74
6.2.1	Durum 1	75
6.2.2	Durum 2	75
6.2.3	Durum 3	78
6.2.4	Durum 4	80
6.2.5	Durum 5	82
6.2.6	Durum 6	84
6.2.7	Durum 7	87
6.2.8	Durum 8	89
6.2.9	Durum 9	92
6.3	Tek Katlı ve İki Açıklıklı Çelik Çerçeve	94
6.3.1	Durum 1	95
6.3.2	Durum 2	95
6.3.3	Durum 3	97
6.3.4	Durum 4	98
6.3.5	Durum 5	100
6.3.6	Durum 6	101
6.3.7	Durum 7	102
6.3.8	Durum 8	104
6.3.9	Durum 9	106
6.4	Sayısal Uygulama Sonuçları	107
7.	Sonuçlar.....	108
	Kaynaklar	112
	Özgeçmiş	117

Şekiller Listesi

Şekil 2.1: Çelik kiriş ile kolon birleşimlerinin moment-dönme ilişkileri.....	9
Şekil 2.2: Çelik yapılarda kullanılan kiriş ile kolon birleşim tipleri [2].....	10
Şekil 2.3: Lineer modeller ve moment-dönme ilişkisi [2].....	13
Şekil 2.4: Birleşim tipleri için boyut parametreleri [2]	15
Şekil 3.1: Aziznamini'nin 14Sx deney numuneleri [4]	23
Şekil 3.2: Aziznamini'nin 8Sx deney numuneleri [4]	23
Şekil 3.3: 8Sx modellerine uygulanan sınır koşulları.....	26
Şekil 3.4: 14Sx modellerine uygulanan sınır koşulları.....	26
Şekil 3.5: 8S1 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	28
Şekil 3.6: 8S2 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	28
Şekil 3.7: 8S3 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	29
Şekil 3.8: 8S5 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	29
Şekil 3.9: 8S6 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	30
Şekil 3.10: 8S7 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	30
Şekil 3.11: 8S8 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	31
Şekil 3.12: 8S9 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	31
Şekil 3.13: 8S10 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	32
Şekil 3.14: 14S1 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	34
Şekil 3.15: 14S2 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	34
Şekil 3.16: 14S3 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	35
Şekil 3.17: 14S4 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	35
Şekil 3.18: 14S5 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	36
Şekil 3.19: 14S6 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	36
Şekil 3.20: 14S8 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	37
Şekil 3.21: 14S9 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması	37
Şekil 3.22: Ostrander'in test düzeneği	40
Şekil 3.23: Ostrander'in modellerine uygulanan sınır koşulları.....	41

Şekil 3.24: TEST1 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması.....	42
Şekil 3.25: TEST3 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması.....	42
Şekil 3.26: TEST4 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması.....	43
Şekil 3.27: TEST6 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması.....	43
Şekil 3.28: TEST7 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması.....	44
Şekil 3.29: TEST8 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması.....	44
Şekil 3.30: TEST11 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması.....	45
Şekil 4.1: Aziznamini [4] 8S1 deney numunesi için sonlu eleman modeli ve bir bulon eksik imal edilmesi durumları.....	47
Şekil 4.2: 8S1 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki.....	48
Şekil 4.3: 8S2 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki.....	49
Şekil 4.4: 8S3 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki.....	49
Şekil 4.5: 8S5 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki.....	50
Şekil 4.6: 8S6 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki.....	50
Şekil 4.7: 8S7 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki.....	51
Şekil 4.8: 8S8 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki.....	51
Şekil 4.9: 8S9 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki.....	52
Şekil 4.10: 8S10 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki.....	52
Şekil 4.11: 8S1 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki	54
Şekil 4.12: 8S2 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki	55
Şekil 4.13: 8S3 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki	55

Şekil 4.14: 8S5 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki	56
Şekil 4.15: 8S6 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki	56
Şekil 4.16: 8S7 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki	57
Şekil 4.17: 8S8 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki	57
Şekil 4.18: 8S9 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki	58
Şekil 4.19: 8S10 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki	58
Şekil 5.1: Stelmack'ın [37] iki katlı ve tek açıklıklı çerçevesi.....	61
Şekil 5.2: Stelmack'ın [37] çerçevesindeki birleşimlerin moment - dönme ilişkisi	62
Şekil 5.3: İki katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçevenin yatay yük ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	62
Şekil 5.4: Stelmack'ın [37] iki açıklıklı ve tek katlı çerçevesi.....	63
Şekil 5.5: Tek katlı ve iki açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçevenin yatay yük ile kolon tepe noktası yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	63
Şekil 5.6: Vogel'in tek katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçevesi [41]	64
Şekil 5.7: Tek katlı ve tek açıklıklı çerçevenin kiriş ile kolon birleşimlerinin Power Modeli ile hesaplanan moment-dönme ilişkisi.....	65
Şekil 5.8: Tek katlı ve tek açıklıklı rijit ve yarı-rijit çerçevelerin yük faktörü ile çerçeve tepe noktası yatay yer değiştirmesi ilişkisi	65
Şekil 5.9: Chen'in iki katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçevesi [40]	66
Şekil 5.10: Kiriş ile kolon birleşimleri için moment dönme ilişkileri [40]	67
Şekil 5.11: İki katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçevenin yük ile birinci ve ikinci katlar için yatay yer değiştirme ilişkileri.....	67
Şekil 5.12: Lui ve Chen'in iki ve üç katlı çerçevesi	68
Şekil 5.13: Dört farklı birleşim tipi için moment-dönme ilişkisi	69
Şekil 5.14: İki katlı ve tek açıklıklı rijit ve yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin yük değerleri ile çerçeve tepe noktası yatay yer değiştirme ilişkileri	70

Şekil 5.15: Üç katlı ve tek açıklıklı rijit ve yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin yatay yük ile çerçeve tepe noktası yatay yer değiştirme ilişkileri	71
Şekil 6.1: Stelmack'ın [37] alt ve üst korniyerli birleşim detayı.....	73
Şekil 6.2: Durum 1 için sonlu eleman modeli	75
Şekil 6.3: Durum 2 için sonlu eleman modeli	76
Şekil 6.4: Durum 1 ve Durum 2 için moment-dönme ilişkisi	76
Şekil 6.5: Durum 1 ve Durum 2 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	77
Şekil 6.6: Durum 3 için sonlu eleman modeli	78
Şekil 6.7: Durum 1 ve Durum 3 için moment-dönme ilişkisi	79
Şekil 6.8: Durum 1 ve Durum 3 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	79
Şekil 6.9: Durum 1 ve Durum 4 için moment-dönme ilişkisi	81
Şekil 6.10: Durum 1 ve Durum 4 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	81
Şekil 6.11: Durum 1 ve Durum 5 için moment-dönme ilişkisi	83
Şekil 6.12: Durum 1 ve Durum 5 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi	83
Şekil 6.13: Durum 6 için sonlu eleman modeli	85
Şekil 6.14: Durum 1 ve Durum 6 için moment-dönme ilişkisi	85
Şekil 6.15: Durum 1 ve Durum 6 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	86
Şekil 6.16: Durum 7 için sonlu eleman modeli	87
Şekil 6.17: Durum 1 ve Durum 7 için moment-dönme ilişkisi	88
Şekil 6.18: Durum 1 ve Durum 7 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	88
Şekil 6.19: Durum 8 için sonlu eleman modeli	90
Şekil 6.20: Durum 1 ve Durum 8 için moment-dönme ilişkisi	90
Şekil 6.21: Durum 1 ve Durum 8 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	91
Şekil 6.22: Durum 9 için sonlu eleman modeli	92
Şekil 6.23: Durum 1 ve Durum 9 için moment-dönme ilişkisi	93

Şekil 6.24: Durum 1 ve Durum 9 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	93
Şekil 6.25: Durum 1 ve Durum 2 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	96
Şekil 6.26: Durum 1 ve Durum 3 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	97
Şekil 6.27: Durum 1 ve Durum 4 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	99
Şekil 6.28: Durum 1 ve Durum 5 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	100
Şekil 6.29: Durum 1 ve Durum 6 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	102
Şekil 6.30: Durum 1 ve Durum 7 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	103
Şekil 6.31: Durum 1 ve Durum 8 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	105
Şekil 6.32: Durum 1 ve Durum 9 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi.....	106

Tablo Listesi

Tablo 2.1: Polinom modeli için model katsayıları ve parametreleri (cm) [24]	14
Tablo 3.1: Azizinamini'nin TSADWA birleşimlerinin geometrik özellikleri [4]....	24
Tablo 3.2: Analizde kullanılan birleşim elemanlarının malzeme özellikleri [12]....	27
Tablo 3.3: 8Sx birleşimleri [4] için nihai moment değerleri	33
Tablo 3.4: 14Sx birleşimleri [4] için nihai moment değerleri	38
Tablo 3.5: Ostrander'in testlerinde kullanılan birleşimlerin etiket numaraları ve geometrik özellikleri [44].....	39
Tablo 3.6: Birleşimlerin malzeme özellikleri [44]	40
Tablo 4.1: Azizinamini'nin 8Sx modellerine uygulanan durumlar	48
Tablo 4.2: 8Sx birleşimlerinde incelenen durumlar ve nihai momenti değerleri	53
Tablo 4.3: 8Sx birleşimlerinin bulon öngerme oranları ve nihai moment değerleri	59
Tablo 5.1: Kiriş ile kolon birleşimleri için model parametreleri [40]	66
Tablo 5.2: Exponential modelinin birleşim parametreleri [43]	69
Tablo 6.1: İki katlı ve tek açıklıklı çelik çerçeve üzerinde incelenen durumlar.....	74
Tablo 6.2: Durum 1 ve Durum 2 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri	77
Tablo 6.3: Durum 1 ve Durum 3 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	80
Tablo 6.4: Durum 1 ve Durum 4 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	82
Tablo 6.5: Durum 1 ve Durum 5 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	84
Tablo 6.6: Durum 1 ve Durum 6 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri	86

Tablo 6.7: Durum 1 ve Durum 7 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	89
Tablo 6.8: Durum 1 ve Durum 8 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	91
Tablo 6.9: Durum 1 ve Durum 9 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	94
Tablo 6.10: Tek katlı ve iki açıklıklı çelik çerçeve üzerinde incelenen durumlar.	95
Tablo 6.11: Durum 1 ve Durum 2 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	96
Tablo 6.12: Durum 1 ve Durum 3 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	98
Tablo 6.13: Durum 1 ve Durum 4 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	99
Tablo 6.14: Durum 1 ve Durum 5 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	101
Tablo 6.15: Durum 1 ve Durum 6 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	102
Tablo 6.16: Durum 1 ve Durum 7 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	104
Tablo 6.17: Durum 1 ve Durum 8 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	105
Tablo 6.18: Durum 1 ve Durum 9 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.	107

Kısaltmalar

TSADWA	Üst ve Alt Başlıklı Çift Korniyerli Gövde Birleşimi
DWA	Çift Korniyerli Gövde Birleşimi
TSA	Üst ve Alt Korniyerli Birleşim
FEA	Sonlu Elemanlar Analizi
C3D8	8 Düğümlü Altıgen Katı Eleman
C3D8R	Azaltılmış Integrasyonlu 8 Düğümlü Altıgen Katı Eleman
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu

Bölüm 1

Giriş

Çelik çerçeve sistemleri kullanılarak inşaa edilen modern yapılar mimari tasarımda esneklik sağlaması ve depreme dayanıklılığa sahip olması nedeniyle son yıllarda dikkat çekmektedir. Çelik çerçeveli yapıların inşası betonarme yapılardan farklı olup çerçeveyi oluşturan kolon ve kirişler ile bunların birbirine bağlanmasında kullanılacak olan parçalar genelde atölyelerde üretilmekte ve şantiyede ise bu parçalar birbirine birleştirilerek çelik çerçeveler oluşturulmaktadır. Çelik çerçevelerdeki kolon ve kirişleri birleşimleri değişik form ve şekillerde yapılabilmektedir. Bunun sonucu olarak, bu tür birleşimlerin gerçekçi şekilde modellenmesi ve analizlere birleşim özelliklerinin yansıtılabilmesi gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Yapı modellerinin pratik kurulabilmesi açısından kiriş ile kolon birleşimleri genellikle ideal mafsallı veya tam rijit olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. İdeal mafsallı birleşimlerin dönme serbestlik derecesi açısından sınırlandırılmamış olup moment aktarmadığı, tam rijit birleşimlerin ise dönme serbestlik derecesi engellenmiş olup tüm momentin aktarıldığı kabul edilir. Hâlbuki pratikte hem bir miktar dönme yapan hem de bir miktar moment aktaran üçüncü bir birleşim tipi bulunmaktadır. Bu tip birleşimler yarı-rijit birleşim olarak adlandırılmakta ve çelik yapıların analizlerinde kullanım alanı bulmaktadır [1].

Yarı-rijit birleşim modellerinde, birleşim elemanları arasında moment aktarımının olduğu ve bu elemanların arasında bir miktar rölatif dönmenin olduğu kabul edilir. Rijit birleşim modelinde birleşimin ankastrelik momentinin %90'ından daha fazlasını taşıyabilecek yeterli bir rijitliğe, basit kiriş birleşiminde ise birleşimin ankastrelik momentinin %20'sinden daha azını taşıyabilecek rijitliğe sahip olduğu kabul edilir ve bu değerlerin arasındaki ankastrelik momentlerini taşıyabilen birleşimlere yarı-rijit adı verilir [2].

Çelik yapılardaki kiriş ile kolon birleşimlerinin yarı-rijit davranışını değerlendirebilmek için birleşime ait moment (M) ve dönme (θ) ilişkisinin elde edilmesi gerekmektedir. Yarı-rijit birleşimlerin moment-dönme ilişkilerine ait diyagramlar çizildiğinde elde edilen ilişkinin doğrusal olmayan bir formda olduğu görülmektedir. Bu nedenle, çelik çerçevenin analizinde birleşimi oluşturan birçok parametrenin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu parametreler birleşimde kullanılan bağ levhasının kalınlığı veya birleşimde korniyer kullanılmışsa korniyer kolunun et kalınlığı, üst-alt korniyer genişlikleri, korniyerde ya da bağ levhasında bulon delikleri arası mesafeleri, bulon çapları, bulon sayısı, bulon dayanım gerilmeleri, kolon ve kiriş boyutları gibi parametreler olup, bu parametreler genellikle deneysel olarak belirlenmektedir. Bu deneylerin maliyetlerinin oldukça yüksek olması ve hassas ölçüm cihazları gerektirmesi nedeniyle bu modellemelerin bilgisayar ortamında sonlu elemanlar analizleriyle yapılması maliyeti düşüren bir seçenek olarak öne çıkmaktadır [2].

1.1 Amaç ve Hedef

Bu çalışmanın amacı çelik yapılarda kullanılan kiriş ile kolon birleşimlerinin davranışlarının incelenmesi ve yarı-rijit davranışın öneminin araştırılmasıdır. Çalışmada çelik kiriş ile kolon birleşimleri sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve hesap sonuçları literatürde yer alan birleşimler dikkate alınarak incelenmiştir. Çelik kiriş ile kolon birleşimlerinin moment – dönme ilişkileri elde edilmiş ve çerçeve sisteme yansıtılarak doğrusal olmayan yapı davranışı incelenmiştir. Bu çalışmanın bir amacı da bulonlu birleşimlerde meydana gelen imalat ve montaj hatalarının yapı davranışına etkisini pratik şekilde incelemektir. Eksik bulon kullanılması veya levhalardaki bulon deliğinin yanlış hizalanması gibi imalat hatalarını temsil etmek amacıyla bulonlu birleşimlerde birer adet bulonun birleşimde yer almaması çeşitli durumlar için incelenmiş ve moment – dönme ilişkisine etkisi araştırılmıştır. Benzer şekilde, hesap öngerme değerlerinin tam değer olarak uygulanamaması durumu da incelenmiştir. Ayrıca, kiriş ile kolon birleşimlerde meydana gelebilecek tüm bu imalat hatalarının çerçeve sistemler üzerine olan etkileri de ayrı ayrı dikkate alınarak sayısal örnekler üzerinde araştırılmıştır.

1.2 Yöntem

Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak birleşimler üç boyutlu olarak modellenmiş ve moment – dönme ilişkileri elde edilmiştir. Sayısal uygulamalar için literatürde yer alan deneysel ve nümerik çalışmalar, matematiksel modeller dikkate alınarak örnekler seçilmiş ve sonlu elemanlar modellemesi sonucu elde edilen sonuçlar literatürde yer alan sonuçlar ile karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Akabinde, çelik çerçeveler için çubuk modeller oluşturulmuş ve birleşimler için sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmış moment – dönme ilişkileri pratik bir biçimde dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları literatürde yer alan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu şekilde üç boyutlu sonlu elemanlar modeli ile elde edilmiş moment – dönme ilişkileri yapısal analize pratik şekilde yansıtılabilmektedir.

1.3 Çalışmanın Kapsamı

Tez çalışması yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tezin girişi, amacı, yöntemi ve kapsamı açıklanmış, konu ile ilgili daha önce yapılan literatür çalışmaları özetlenmiştir. İkinci bölümde, çelik yapılarda kullanılan kiriş ile kolon birleşimleri ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Yarı-rijit birleşim tipleri, birleşim modelleri ile ilgili literatürde yer alan pratik yaklaşımlar sunulmuş, çalışmada kullanılan sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, çeşitli kiriş ile kolon birleşimleri için doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizleri verilmiştir. Üst ve alt başlıklarında birer ve gövdesinde çift korniyer bulunan I kesitli kiriş ile kolon birleşimleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiş, elde edilen sonuçlar literatürde yer alan test sonuçları ve diğer araştırmacıların analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Dördüncü bölümde, birleşimlerde rastlanabilecek çeşitli imalat hataları dikkate alınmış ve birleşim davranışının bu tür durumlardan ne şekilde etkilendiği araştırılmıştır. Önceki bölümde incelenmiş kiriş ile kolon birleşim modeli dikkate alınarak birleşimlerde birer bulonun bulunmadığı altı farklı durum incelenmiştir. Ayrıca, bulonlara uygulanan öngerme kuvvetinin etkisi de benzer şekilde değerlendirilmiştir. Beşinci bölümde, kiriş ile kolon birleşimlerinin yarı-rijit olarak modellendiği dikkate alınarak literatürde yer alan farklı özelliklere sahip çelik çerçeveler incelenmiştir. Yük parametresi ile

çerçeve üzerinde seçilen noktaların yer değiştirme ilişkileri elde edilmiş ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Altıncı bölümde, literatürde yer alan yarı-rijit birleşimli çelik çerçeve örnekler üzerinde imalat hataları ve bunların yapı davranışı üzerine olan etkileri sayısal olarak araştırılmıştır. Birleşimler oluşturulurken; bir bulonun eksik olması durumu, bulonların öngerme yüklerinin hatalı olabileceği, korniyerlerin et kalınlığının farklı olabileceği ve bulon deliklerinin geniş açılmış olması durumu gibi birçok farklı durumun etkisi seçilen çerçeveler üzerinden incelenmiştir. Yedinci bölümde ise sonuçlar ve değerlendirmeler yer almaktadır.

1.4 Literatür Taraması

Çelik yapılardaki kiriş ile kolon birleşimleri ile ilgili ilk deneysel çalışmalar 1950'li yıllardan önce perçinlerle yapılmıştır. Rathbun 1936 yılında yaptığı çalışmasında, üst ve alt başlıklarında birer ve gövdesinde çift korniyer bulunan I kesitli kiriş ile kolon birleşimleri (TSADWA) üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirmiştir [3]. Çalışmasında, elemanları birbirine birleştirmek için kolon ve kirişler üzerinde perçin kullanmıştır. Rathbun, çift korniyerli gövde birleşimi (DWA) kullanılan yedi adet, üst ve alt korniyerli birleşimi (TSA) kullanılan üç adet deney gerçekleştirmiştir. Ayrıca, her iki durumu da birlikte değerlendirebileceği, üst ve alt başlıklarında birer ve gövdesinde çift korniyer bulunan birleşim (TSADWA) hazırlamış ve iki adet deney gerçekleştirmiştir [3].

TSADWA birleşimleri ile ilgili önemli bir deneysel çalışma Aziznamini tarafından 1985 yılında South Carolina Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir [4]. Aziznamini, çevrimsel ve çevrimsel olmayan yük etkileri altında çelik birleşimleri araştırmıştır. Aziznamini, TSADWA için iki farklı konfigürasyon kullanmıştır. İlk sistemde W12x96 kolon, W14x38 kirişler ile değişen uzunluk ve kalınlıklarda korniyer elemanlar kullanmıştır. İkinci sistemde ise W12x58 kolon, W8x21 kirişler kullanılmış ve korniyer uzunlukları ile birlikte korniyer kalınlığı deneylerde değiştirilmiştir. Her iki deney düzeneği de ASTM A325 yüksek mukavemetli civatalar ve somunlar kullanılarak birleştirilmiş, farklı bulon çapları deneylerde dikkate alınmıştır [4]. Aziznamini'nin çalışmaları literatüre önemli katkı sağlamıştır.

Calado 2000 yılında yaptığı çalışmasında, üç farklı boyutta üst, alt ve gövde korniyerleri kullanarak 15 adet TSADWA birleşimi oluşturmuş ve bu birleşimler için deneysel çalışma gerçekleştirmiştir [5]. Deneysel çalışmanın temel amacı, TSADWA birleşimlerin hem monotonik hem de çevrimsel yükler altındaki davranışını incelemek hem de deneysel veri tabanını geliştirmektir.

Komuro vd. tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada, bir adet TSA ve iki adet TSADWA birleşim için monotonik ve döngüsel yükler altında birleşimler ile ilgili çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmadan elde edilen moment-dönme ilişkileri 1990 yılında Kishi ve Chen tarafından incelenmiş ve monotonik yükleme koşullarında TSADWA birleşimleri için önerilen pratik denklemlerle karşılaştırılmıştır [6, 7].

Çelik birleşimleri sonlu elemanlar yöntemleri ile modellemeye yönelik öncü çalışmalar Krishnamurthy ve Graddy [8] tarafından ve Krishnamurthy [9] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, doğrusal elastik malzeme ve sekiz düğümlü elemanlar kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile bulonlu çelik birleşimler araştırılmıştır.

Özellikle 2000'li yılların başlarında sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı yazılımların gelişmesiyle birlikte bu tür yazılımlar kullanılarak kiriş ile kolon birleşimlerinin detaylı şekilde modellenmesi mümkün hale gelmiştir. Yang, moment-dönme ilişkisini elde etmek amacıyla ABAQUS sonlu elemanlar programını kullanarak kolona bulonlanmış ve kirişe kaynaklanmış çift korniyerli gövde birleşimlerini elastik-plastik malzeme davranışını da dikkate alarak modellemiştir. Analizlerde bulon başları ile korniyerler arasındaki temas dikkate alınmış, ancak bulon sapları ile bulon delikleri arasındaki temas etkisi ihmal edilmiştir [11].

N.Kishi vd. tarafından 2001 yılında yapılan çalışmada, TSDWA'nın moment - dönme davranışını hesap edebilen bir model geliştirmek için dört farklı sonlu elemanlar modeli incelemiştir [12]. Sonlu eleman analizinde birleşimlerin kiriş, kolon, korniyer ve bulon gibi bileşenleri sekiz düğümlü katı elemanlarla modellenmiştir. Çalışmada, sonlu elemanlar analizi (FEA) hem monoton hem de döngüsel yükleme için kiriş ile kolon birleşimlerinin modellenenebildiği gösterilmiştir. Ayrıca, Power modelinin de yarı-

rijit birleşimlerin moment-dönme özelliklerini kabul edilebilir doğrulukta tahmin edebildiğini göstermektedir.

Citipitioğlu vd. tarafından 2002 yılında yapılan çalışmada, 1985 yılında Aziznamini tarafından deneyleri yapılmış olan TSADWA birleşimleri ile ilgili en ayrıntılı sayısal çalışmalardan birini ABAQUS sonlu elemanlar programı kullanarak gerçekleştirmiştir [13]. Çalışmada, sonlu elemanlar ile modelleme yapılırken yüzeyler arasındaki temas ve sürtünme etkisi değerlendirilmiştir. Aziznamini'nin çalışmasında, bulon malzeme özellikleri ve bulon öngerme değerleri hakkında detay bilgi bulunamadığı ve bu nedenle Citipitioğlu vd. bu değerlerin belirlenmesi için bir kalibrasyon yöntemi kullandığını belirtmiştir. Sonlu elemanlar analiz sonuçlarının birleşim davranışını ve dolayısıyla deney sonuçlarını iyi bir şekilde yansıtabilmesi için bulon öngerme değerlerinin gerçekçi şekilde analizlere yansıtılması gerektiği sonucuna varmıştır [13].

Danesh vd. 2006 yılında yaptığı çalışmada, Aziznamini tarafından gerçekleştirilen deneyleri dikkate almış ve TSADWA birleşimleri için moment-dönme ilişkisini elde etmek için ANSYS sonlu eleman programını kullanmıştır [14]. Çalışmalarından elde ettikleri sayısal sonuçları Aziznamini'nin deneysel verileri [4] ve ayrıca Citipitioğlu vd. sayısal çalışmaları [13] ile karşılamıştır. Malzeme özelliklerinin kalibrasyonu Citipitioğlu vd. [13]'e yaptığına benzer şekilde yapılmıştır.

Pirmoz vd. tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada, TSADWA birleşimlerde, gövde korniyerin kesme yük ve başlangıç rijitliğin kapasitesi üzerine olan etkisini incelemiştir [15]. Çalışmada, literatürde yer alan deneysel ve sayısal çalışmaların sonuçları dikkate almış ve sonlu elemanlar yöntemi ile birleşimlerin davranışını incelemiştir.

Uslu, 2009 yılında yaptığı çalışmada üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizleri ile korniyerlerle oluşturulmuş yarı rijit birleşimleri incelemiş, test sonuçları ve farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş matematiksel modellerle karşılaştırmıştır [16].

Uslu ve Sarıtaş tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, TSADWA birleşimlerin üç boyutlu sonlu eleman modellemesi için Aziznamini tarafından yapılan deneyleri

kullanılmıştır. Literatürde önerilen pratik matematiksel modellerin güvenilirliği değerlendirilmiştir [17].

Daryan vd. tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, TSDWA ve TSA birleşimleri incelenmiştir. İlk olarak, statik yükleme altında yapılan deney sonuçları dikkate alınarak sonlu elemanlar model sonuçlarını incelemiştir. Akabinde, patlama yüklerini temsil eden pseudo-statik yüklemeyi sonlu eleman modellerine uygulanarak analizler yapılmıştır. Sonuçlar, giriş ucunun yer değiştirmesi, birleşim bileşenlerinin deformasyonu, Von Mises gerilmeleri şeklinde sunulmuştur [18].

Azap 2013 yılında yaptığı çalışmada, yarı-rijit birleşimlerin üç boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesini ve analizini gerçekleştirmiştir [19]. Sayısal çalışma için birleşimler doğrusal olmayan sonlu elemanlar programı ile modellemiş ve elde edilen analiz sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada, üç boyutlu birleşim modellerinin güvenilirliği tespit etmeye çalışmıştır.

Abdallah tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada TSADWA birleşimler için geliştirilmiş doğrusal olmayan sonlu eleman modeli sunulmuştur. Üst korniyer gibi birleşimin kritik parçalarının davranışı ve birleşimlerin göçme modları incelenmiştir. Sayısal verilerin doğrulanması için aynı birleşimlerden yapılan deneysel çalışma sonuçları kullanılmıştır [20].

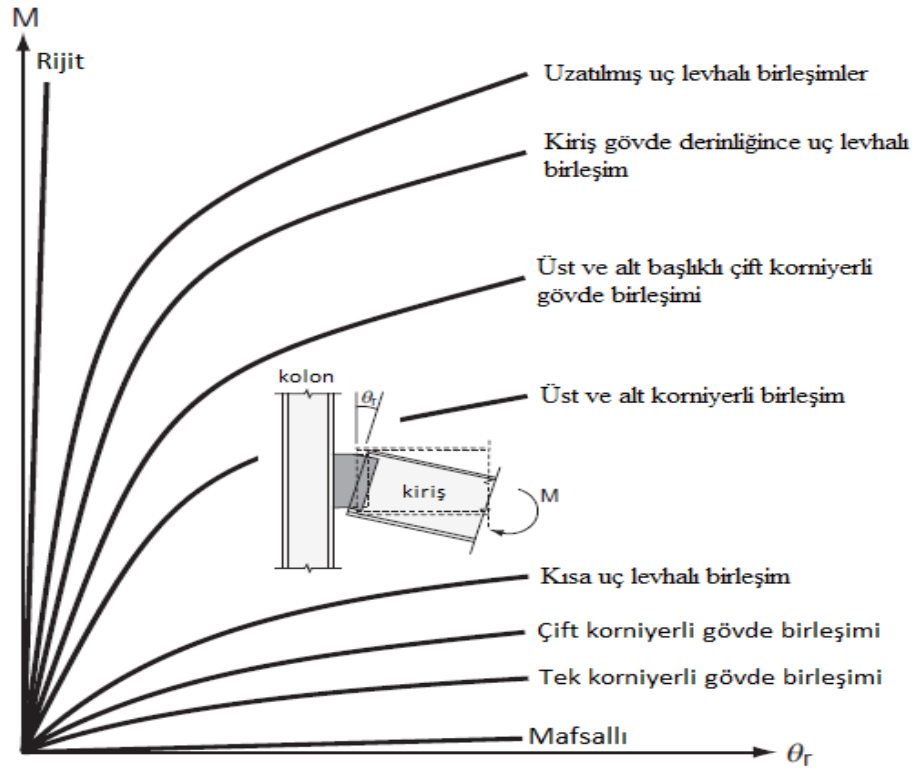
Bölüm 2

Yarı Rijit Kiriş ile Kolon Birleşimleri

Yapı sistemlerinin pratik incelenebilmesi için kiriş ile kolon birleşimleri genellikle ideal mafsallı veya tam rijit olarak modellenmektedir. İdeal mafsallı birleşimler dönme serbestlik derecesi açısından sınırlandırılmamış olup moment aktarmadığı, tam rijit birleşimlerin ise dönme serbestlik derecesi engellenmiş olup tüm momenti aktardığı kabul edilir. Hâlbuki pratikte hem bir miktar dönme yapan hem de bir miktar moment aktaran üçüncü bir birleşim tipi bulunmaktadır. Bu tip birleşimler yarı-rijit birleşim olarak adlandırılmaktadır [1].

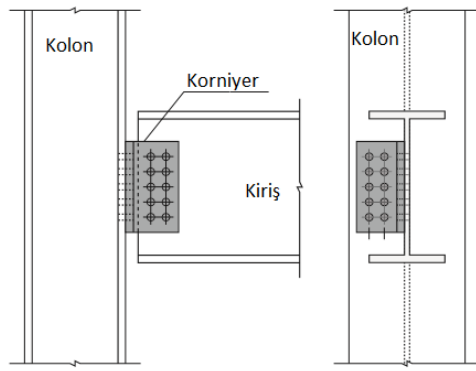
2.1 Yarı Rijit Kiriş Kolon Birleşim Tipleri

Çelik çerçeveler, modern yapılaşmada ve endüstriyel yapılarda yaygın olarak kullanılan sistemlerden biridir. Bu sistemler kolon ve kirişlerin değişik türlerde birbirilerine birleştirilmesiyle oluşturulurlar. Kirişlerden kolonlara aktarılacak iç tesirin türüne bağlı olarak bu bağlantılar uygulamada değişik şekillerde yapılırlar. Şekil 2.1’de çelik çerçeve sistemlerde sıkça kullanılan birleşim türlerinin moment – dönme ilişkileri gösterilmiştir [2].

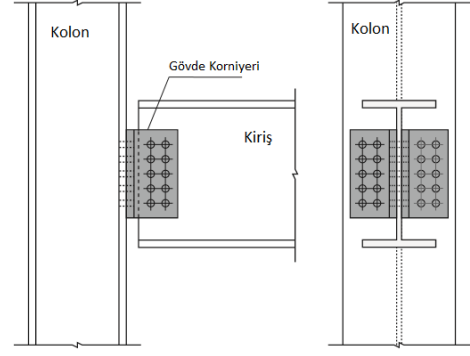


Şekil 2.1: Çelik kiriş ile kolon birleşimlerinin moment-dönme ilişkileri

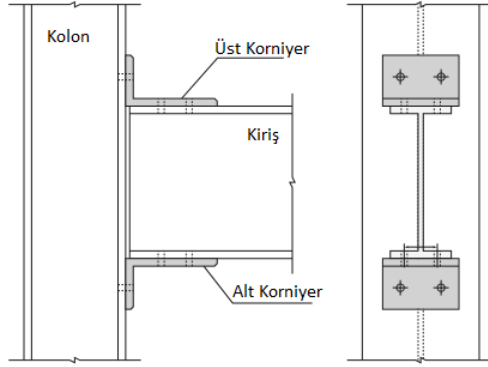
Çelik yapılarda kullanılan kiriş ile kolon birleşim tiplerinden bir kısmı Şekil 2.2’de sunulmuştur. Tek korniyerli gövde birleşimleri Şekil 2.2a’da gösterildiği üzere korniyerin bir kolu kirişin gövdesine ve diğer kolu da kolonun başlığına bulon ile birleştirilir. Bazı durumlarda ise korniyerler imalathanede kolon başlığına kaynaklanır ve şantiyede bulonlanarak kirişe birleştirilir. Çift korniyerli gövde birleşimleri ise Şekil 2.2b’de verilmiş olup, kiriş gövdesine ve kolon başlığına iki korniyer bulonlanarak birleştirilir. Bu tip birleşimlerin tek levhalı ve tek korniyerli birleşimlerden daha rijit davrandığı bilinmektedir [1].



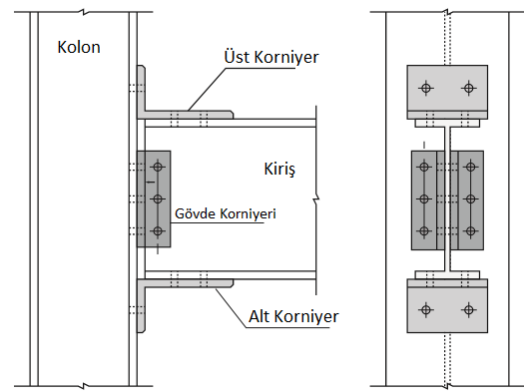
a. Tek korniyerli gövde birleşimi



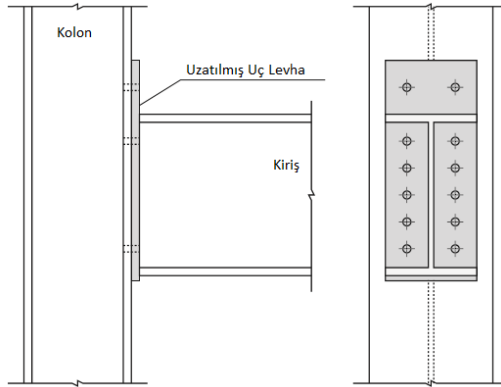
b. Çift korniyerli gövde birleşimi



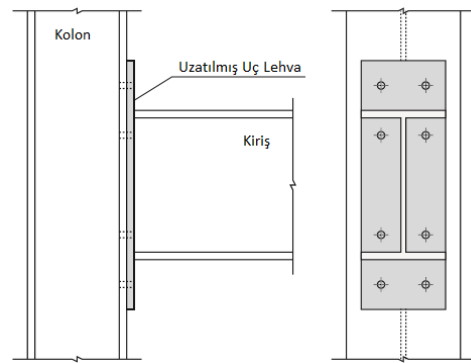
c. Üst ve alt korniyerli birleşim



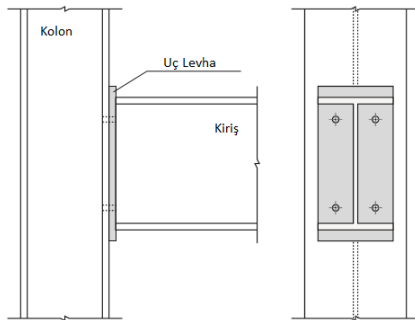
d. Üst ve alt başlıklı çift korniyerli gövde birleşimi



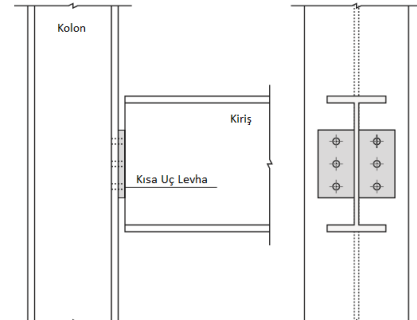
e. Çekme bölgesinde uzatılmış uç levhalı birleşim



f. Uzatılmış uç levhalı birleşim



g. Kiriş gövde derinliğince uç levhalı birleşim



h. Kısaltılmış uç levhalı birleşim

Şekil 2.2: Çelik yapılarda kullanılan kiriş ile kolon birleşim tipleri [2]

Üst ve alt korniyerli birleşimler Şekil 2.2c’de gösterildiği gibi kolon ve kirişe bulonlar ile birleştirilmiş iki korniyerden oluşur. Alt korniyer kolon başlığına ve kirişin alt başlığına, üst korniyer de benzer şekilde kolon başlığına ve kirişin üst başlığına bulonlanarak birleştirilir. Üst ve alt başlıkt için birer korniyer ve gövde için çift korniyer kullanılarak oluşturulmuş birleşim Şekil 2.2d’de verilmiş olup, kolon ve kirişe bulonlanmış toplam dört korniyerden oluşmaktadır. Alt ve üst korniyerler kolon ve kirişin başlığına, iki diğer korniyerler ise kirişin gövdesine ve kolonun başlığına bulonlanarak birleştirilir.

Bir başka birleşim tipi de uç levhali birleşimlerdir. Bu tip birleşimlerde genellikle uç levhası üretim sürecinde kirişe kaynaklanır ve şantiyede ise kiriş kolona bulonla birleştirilir. Uç levhali birleşimler 1960lardan beri çelik çerçevelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzatılmış uç levhali birleşimler kendi içerisinde, hem çekme hem de basınç yönü ve sadece çekme yönü olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir. Şekil 2.2e’de uzatılmış uç levhasının sadece çekme yönüne, Şekil 2.2f’de ise hem çekme hem de basınç yönüne gösterilmiştir. Uygulamada genellikle uzatılmış uç levhali birleşimin sadece çekme tarafı olan türü yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Uzatılmış uç levhali birleşimin hem çekme hem basınç tarafı olan türü ise çerçeve sistemin deprem yükleri gibi tersinir yüklere maruz kaldığı durumlarda kullanılır. Deprem etkisi altında kiriş ile kolon birleşimine etkiyen momentin yönü değişim gösterir. Bu birleşim tipi bu tür yüklemelerde tercih edilir. Şekil 2.2g’de kiriş gövde derinliğince uç levhali birleşim gösterilmiştir. Bu birleşim tipi uzatılmış uç levhali birleşimin aksine daha hafiftir. Çelik yapı tasarımcılarının çatı detaylarında tip bu birleşimi tercih ettiği bilinmektedir. Şekil 2.2h’de verilen kısa uç levhali birleşimler uzatılmış uç levhali birleşimlerin aksine uzunluğu kirişin derinliğinden daha kısa olan bir uç levhadan oluşmaktadır. Bu tip birleşimlerde levha kolona bulonlanır ve kirişe kaynaklanır. Bu birleşimlerin moment-dönme ilişkisi çift korniyerli gövde birleşiminkine benzemektedir. Kısaltılmış levhali birleşimler, kiriş reaksiyonlarının kolona doğrudan aktarılması amacıyla kullanılmaktadır [3].

2.2 Birleşim Modelleri

Birleşimler iç tesirleri elemanlar arasında aktaran araçlardır. Yapı sistemlerinde birleşimlerin aktardığı en önemli iç tesir ise momenttir. Birleşimlerin gerçek moment-dönme karakteristiklerini elde etmenin bir yolu; gerçek boyutlarda yapılan deneylerdir. Araştırmacılar, deneysel çalışmalardan yola çıkarak çelik kiriş ile kolon birleşimlerinin yarı-rijit modellenmesi için moment-dönme eğrileri oluşturan çeşitli matematiksel modeller önermişlerdir.

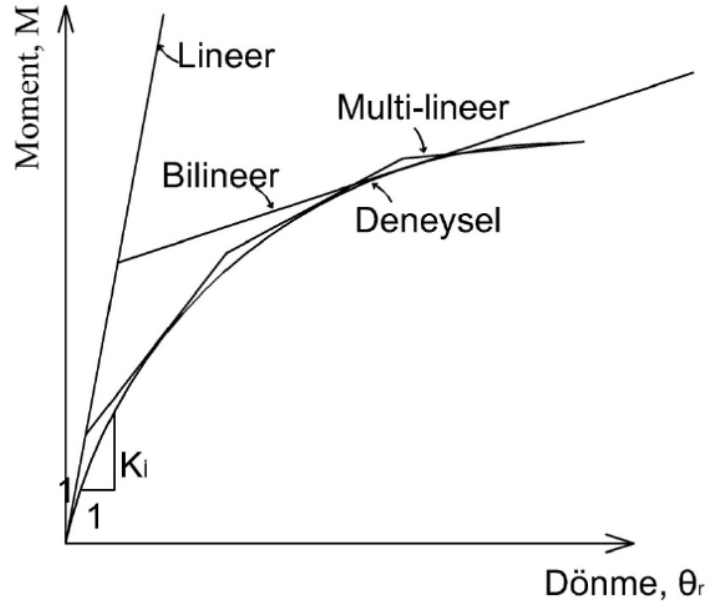
2.2.1 Doğrusal Model

Doğrusal veya Lineer Model en basit birleşim modelidir. Birleşimin rijitliğini tanımlamak için sadece bir parametreye ihtiyaç duyar. Bundan dolayı, yarı-rijit birleşimlerin analiz yönteminin geliştirilmesinde ilk aşamasında yaygın olarak kullanılır [22]. Bu modelin moment-dönme fonksiyonu Denklem 2.1’de gösterilmektedir.

$$\mathbf{M} = \mathbf{S}_c^0 \boldsymbol{\theta}_r \quad (2.1)$$

Burada; $\mathbf{S}_c^0$, birleşimin başlangıç rijitlik katsayısıdır. Bu değer deneylerden elde edilebilir. Matematiksel olarak da $\mathbf{S}_c^0$ ’in basit bir fonksiyonu kiriş rijitliği ile ifade edilebilir.

Tarpy ve Cardinal 1981 yılında, Melchers ve Kaur 1982 yılında ve Lui ve Chen 1986 yılında Bilineer modeli önermiş, Razzaq 1983 yılında ise multi-lineer modeli geliştirmiştir [2]. Şekil 2.3’de üç basit lineer modellerin moment-dönme davranışları gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Lineer modeller ve moment-dönme ilişkisi [2]

2.2.2 Polinom Modeli

Yapısal analiz için moment-dönme ilişkisini temsil eden en popüler model, Frye and Morris tarafından 1975 yılında önerilen tek kuvvetli polinom fonksiyonudur [23]. Frye-Morris Modeli, Sommer tarafından 1969 yılında formüle edilen yaklaşıma dayalı olarak geliştirilmiş olup bu modelin genel formu Denklem 2.2’de gösterilmektedir [23].

$$\theta_r = C_1(KM) + C_2(KM)^2 + C_3(KM)^5 \quad (2.2)$$

Burada;

θ_r , birleşimin dönmesi

M, birleşime uygulanan moment

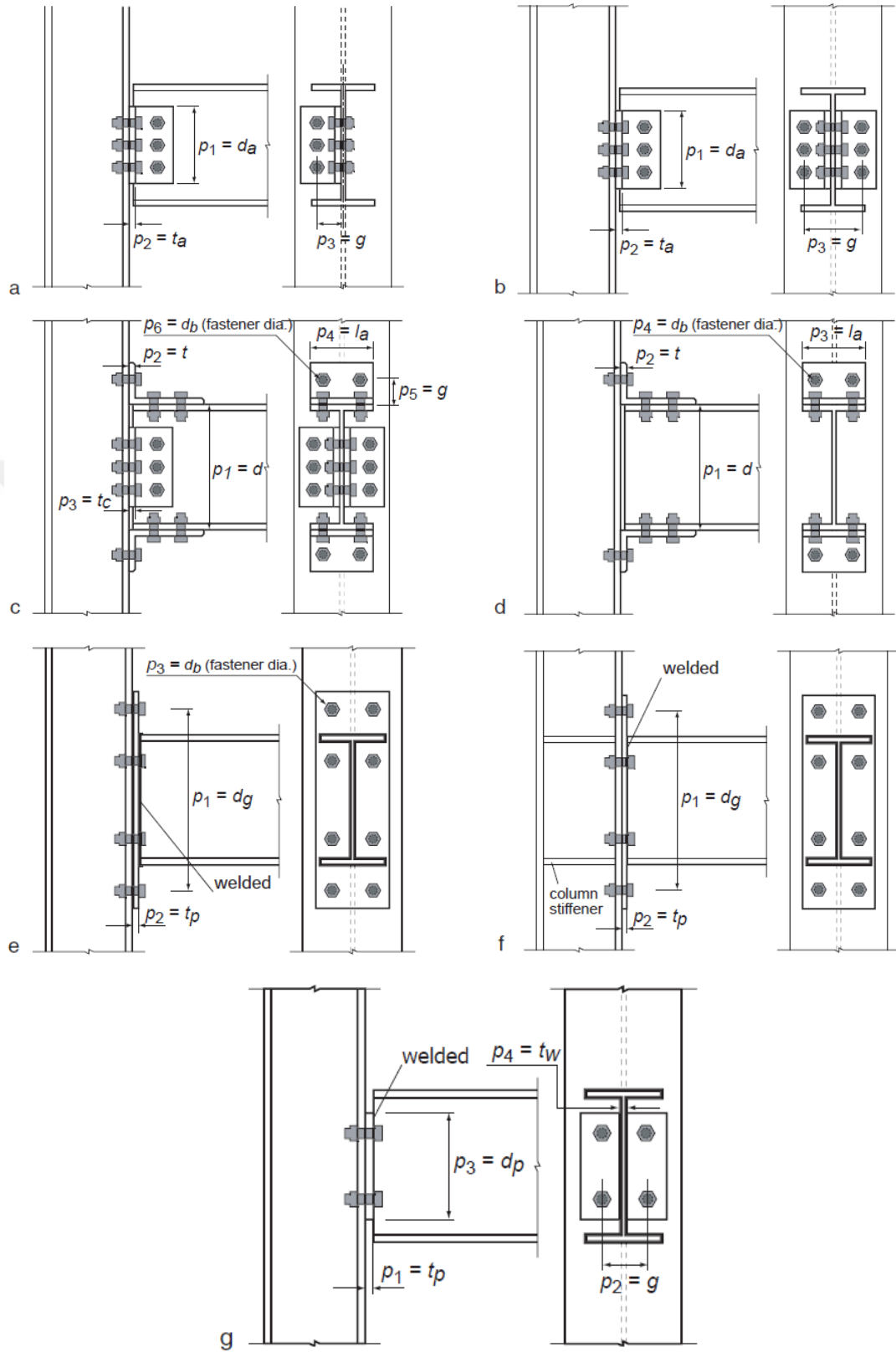
K, eleman boyutları, levha kalınlığı vb. geometrik parametrelere bağlı bir fonksiyon olan model parametresi

$C_1 C_2 C_3$, model katsayılarıdır.

Yarı-rijit birleşim tipleri için test verilerine dayanan model parametreleri ve model katsayıları Frye and Morris tarafından 1975 yılında belirlenmiştir [24]. Tablo 2.1’de bu model parametreleri ve model katsayıları verilmiştir. Şekil 2.4’de ise birleşim tipleri için boyut parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Polinom modeli için model katsayıları ve parametreleri (cm) [24]

Birleşim tipi	Model katsayıları	Model parametreleri
Tek korniyerli gövde birleşimi	$C_1 = 1.67 \times 10^{-0}$ $C_2 = 8.56 \times 10^{-2}$ $C_3 = 1.35 \times 10^{-3}$	$K = d_a^{-2.4} t_a^{-1.81} g^{0.15}$
Çift korniyerli gövde birleşimi	$C_1 = 1.43 \times 10^{-1}$ $C_2 = 6.79 \times 10^1$ $C_3 = 4.09 \times 10^5$	$K = d_a^{-2.4} t_a^{-1.81} g^{0.15}$
Üst ve alt korniyerli birleşim	$C_1 = 2.59 \times 10^{-1}$ $C_2 = 2.88 \times 10^3$ $C_3 = 3.31 \times 10^4$	$K = d^{-1.5} t^{-0.5} l_a^{-0.7} d_b^{-1.1}$
Üst ve alt başlıklı, çift korniyerli gövde birleşimi	$C_1 = 1.50 \times 10^{-3}$ $C_2 = 5.60 \times 10^{-3}$ $C_3 = 4.35 \times 10^{-3}$	$K = d^{-1.287} t^{-1.128} l_a^{-0.694}$ $\left(g - d_b/2\right)^{1.350}$
Uzatılmış takviyeli uç levhalı birleşim	$C_1 = 2.60 \times 10^{-1}$ $C_2 = 5.36 \times 10^4$ $C_3 = 1.31 \times 10^8$	$K = d_g^{-2.4} t_p^{-0.4} d_b^{-1.5}$
Uzatılmış takviyesiz uç levhalı birleşim	$C_1 = 2.60 \times 10^{-1}$ $C_2 = 5.36 \times 10^2$ $C_3 = 1.31 \times 10^7$	$K = d_g^{-2.4} t_p^{-0.6}$
Kısa uç levhalı birleşim	$C_1 = 6.14 \times 10^{-3}$ $C_2 = 1.08 \times 10^{-3}$ $C_3 = 6.05 \times 10^{-3}$	$K = t_p^{-1.6} g^{1.6} d_p^{-2.3} t_w^{-0.5}$



Şekil 2.4: Birleşim tipleri için boyut parametreleri [2]

2.2.3 Power Modeli

Farklı birleşim tipleri için çeşitli parametreler geliştirilmiştir. Fonksiyonlar için iki veya üç parametreye ihtiyaç duyulmuştur. İki parametrelili Power Modeli basit bir şekilde ifade edilebilmekte olup Denklem (2.3) ile sunulmuştur [7, 26].

$$\theta_r = aM^b \quad (2.3)$$

Birleşim rijitliği denklem (2.4) ile gösterilmiştir.

$$S_c = \frac{dM}{d\theta_r} = \frac{1}{abM^{b-1}} \quad (2.4)$$

Burada; a ve b , $a>0$ ve $b>1$ olmak üzere iki eğri uydurma parametresidir.

Calson and Louveau tarafından 1983 yılında üç parametrelili power fonksiyonunu tanımlanmıştır [10]. Dönme ifadesi Denklem (2.5) ile verilmiştir.

$$\theta_r = \frac{|M|}{S_c^0} \frac{1}{1 - \left| \frac{M}{M_u} \right|^n} \quad (2.5)$$

Birleşim rijitliği Denklem (2.6) ile verilmiştir.

$$S_c = \frac{dM}{d\theta_r} = \frac{S_c^0 \left[1 - \left(\frac{M}{M_u} \right)^n \right]^2}{1 + (n-1) \left(\frac{M}{M_u} \right)^n} \quad (2.6)$$

Burada;

S_c^0 , birleşimin başlangıç rijitliği

M_u , nihai moment kapasitesi

n , moment-dönme eğrisinin şekil parametresidir.

Kishi and Chen tarafından 1987 yılında benzer bir Power Model önerilmiş ve Denklem (2.7) ile verilmiştir [27].

$$\theta_r = \frac{M}{S_c^0 \left[1 - \left| \frac{M}{M_u} \right|^n \right]^{1/n}} \quad (2.7)$$

Birleşim rijitliği Denklem (2.8) ile gösterilmiştir.

$$S_c = \frac{dM}{d\theta_r} = S_c^0 \left[1 - \left(\frac{M}{M_u} \right)^n \right]^{n+1/n} \quad (2.8)$$

Burada;

S_c^0 , birleşimin başlangıç rijitliği

M_u , son moment kapasitesi

n , moment-dönme eğrisinin şekil parametresidir.

2.2.4 Exponential Modeli

Chen ve Lui tarafından 1986 yılında çok parametrelili Exponential Modeli geliştirilmiş ve Denklem (2.9) ile verilmiştir [2].

$$M = \sum_{j=1}^m C_j \left[1 - \exp \left(-\frac{|\theta_r|}{2j\alpha} \right) \right] + M_0 + R_{kf} |\theta_r| \quad (2.9)$$

Birleşimin tanjant rijitliği denklem (2.10) ile verilmiştir.

$$S_c = \frac{dM}{d\theta_r} \Big|_{\theta_r=\theta_r} = \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{2j\alpha} \exp \left(-\frac{|\theta_r|}{2j\alpha} \right) + R_{kf} \quad (2.10)$$

Başlangıç rijitliği ise denklem (2.11) ile gösterilir.

$$S_c^0 = \left. \frac{dM}{d\theta_r} \right|_{\theta_r=0} = \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{2j\alpha} + R_{kf} \quad (2.11)$$

Burada;

M, birleşimdeki moment,

θ_r , birleşimin dönmesi,

M_0 , başlangıç momenti,

R_{kf} , birleşimin şekil değiştirme rijitliği,

α , ölçeklendirme faktörü,

C_j , eğri katsayıları,

n, dönem sayısıdır.

Kishi and Chen, lineer bileşenleri yerleştirmek için Chen-Lui'nin Exponential Modelini kullanmış ve Denklem (2.12) ile göstermiştir [30, 31].

$$M = \sum_{j=1}^m C_j \left[1 - \exp\left(-\frac{|\theta_r|}{2j\alpha}\right) \right] + M_0 + \sum_{k=1}^n D_k (\theta_r - \theta_k) H[\theta_r - \theta_k] \quad (2.12)$$

Birleşimin tanjant rijitliği denklem (2.13) ile verilmiştir.

$$S_c = \left. \frac{dM}{d\theta_r} \right|_{\theta_r=\theta_r} = \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{2j\alpha} \exp\left(-\frac{|\theta_r|}{2j\alpha}\right) + \sum_{k=1}^n D_k H[\theta_r - \theta_k] \quad (2.13)$$

Başlangıç rijitliği denklem (2.14) ile gösterilmiştir.

$$S_c^0 = \left. \frac{dM}{d\theta_r} \right|_{\theta_r=0} = \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{2j\alpha} + D_k H[-\theta_k]_{k=1} \quad (2.14)$$

Burada;

D_k , lineer fonksiyon için katsayı parametreleri

θ_k , lineer bileşenlerin başlangıç dönmeleri

C_j , D_k , eğri katsayıları

$H[\theta]$, Heaviside adım fonksiyonudur.

Geliştirilmiş Exponential Modeli, pekleşme davranışını içeren moment-dönme eğrilerini iyi bir biçimde temsil etmektedir [10].

Yee and Melchers tarafından 1986 yılında geliştirilen dört parametrelili Exponential Modeli ise Denklem (2.15) ile sunulmuştur.

$$M = M_p \left| 1 - \exp \left| - \frac{(K_i - K_p + C\theta)\theta}{M_p} \right| \right| + K_p \theta \quad (2.15)$$

Burada;

M_p , plastik moment kapasitesi

K_i , başlangıç elastik rijitliği

K_p , pekleşme bölgesi rijitliği

C , eğrinin kontrol eğimi katsayısıdır.

2.2.5 Diğer Birleşim Modelleri

Çalışma kapsamında doğrudan kullanılmayan, ancak literatürde yer alan diğer birleşim modelleri bu kısımda kısaca özetlenmiştir.

B-spline modeli, Jones et al. tarafından 1980 yılında B-spline eğri uydurma tekniğinin doğrusal olmayan moment-dönme eğrisi için kullanılmasıyla elde edilmiştir [25]. Kübik B-spline modelinde moment-dönme eğrisileri kısımlara ayrılır ve her bir

kısımdaki veriler kübik polinom ile modellenir. Doğrusal olmayan moment-dönme eğrisinin sürekliliğini sağlamak için, her hangi iki bitişik parça arası için eğrinin her bir parçasının birinci ve ikinci türevlerinin sürekliliği mecbur edilmiştir [22]. Kübik B-spline modeli deney verilerini temsil etmekte başarılı olmasına rağmen eğri uydurma işleminde çok sayıda veriye ihtiyaç duyması nedeniyle pratik kullanımı oldukça sınırlıdır.

Ramberg-Osgood Modeli, doğrusal olmayan gerilme ile şekil değiştirme ilişkisi için Ramberg and Osgood tarafından 1943 yılında oluşturulmuştur [28]. Ang and Morris 1984 yılında, bu modeli Power Modeline benzer bir formda kullanmıştır [29].

Richard-Abbott Modeli, dört parametrelili power modelinin Richard ve Abbott tarafından 1975 yılında elastik-plastik gerilme ile şekil değiştirme ilişkisini de dikkate alarak modellenmesi için kullanılmaktadır [32].

2.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme için sonlu elemanlar yazılımları kullanılmaktadır. ABAQUS, pratik bir yazılım olup gerçekçi simülasyonların yapılabildiği son derece etkili çözüm algoritmalarına ve eleman kütüphanesine sahip, doğrusal veya doğrusal olmayan analizlerin gerçekleştirebilen bir sonlu eleman programıdır [33].

Çelik malzemenin davranışı, çekme deneyleri sonucunda elde edilen mühendislik gerilme-şekil değiştirme değerleri, gerçek gerilme-şekil değiştirme değerlerine dönüştürülerek modellenenbilmektedir. Malzemenin elastik bölgedeki davranışını elastisite modülünün tanımlanmasıyla otomatik olarak oluşturmaktadır. Plastik bölgedeki gerilme ve şekil değiştirmelerin tablo halinde tanımlanması gerekmektedir [34].

Sonlu elemanlar ile doğrusal olmayan davranışa sahip sistemlerin çözümü için Newton-Raphson yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntemde kuvvet, küçük artım adımlarına ayrılarak sisteme uygulanır. Sonlu elemanlar yazılımlarında elemanlar arasındaki etkileşimlerin tanımlanabilmesi için gereken iki tip yüzey tanımı

bulunmaktadır. Bunlardan ilki esas yüzey olarak tanımlanan “master surface”; diğeri ise bu yüzeyi tamamlayıcı yüzey olan “slave surface” tanımıdır. Sonlu eleman yazılımlarında elemanların yüzeyleri birbirine bağlanarak birlikte hareket etmeleri sağlanabilir. Böylece iki yüzey de aynı serbestlik derecesine sahip olurlar [34].

Bu çalışmada yapılan analizler ile ilgili bilgiler, parametreler ve kabuller analizlerin yapıldığı bölümlerde detaylı şekilde verilmiş olup bu kısımda sonlu elemanlar yönteminin kullanılması ile ilgili temel bilgiler sunulmuştur.



Bölüm 3

Kiriş ile Kolon Birleşimlerinin Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi

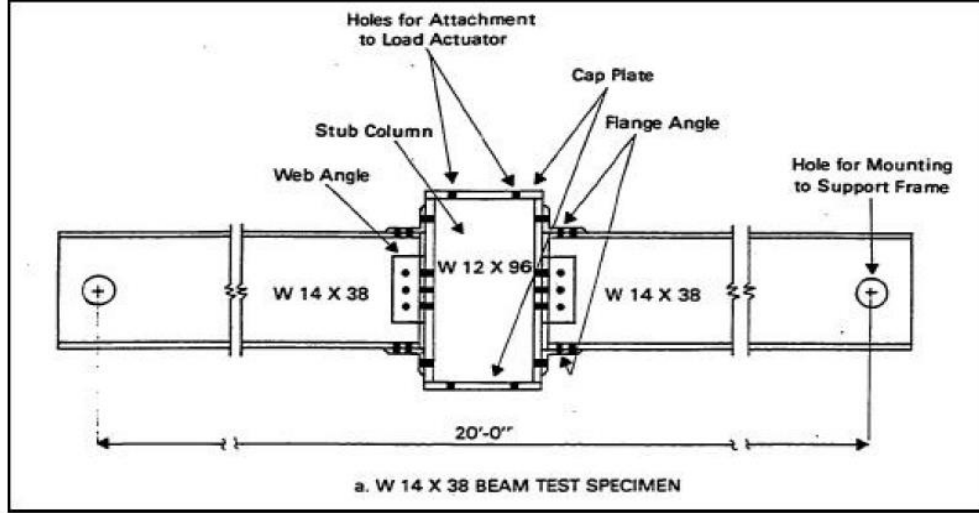
3.1 Giriş

Bu bölümde, Azizinami'nin [4] TSADWA birleşimlerinin ve Ostrander'in [44] uç levhalı birleşimlerinin kullandıldığı deneysel çalışmalar incelenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizleri yapılmıştır. Bu bölümde kullanılan tüm geometrik ve malzeme özellikleri, literatürde yer alan deneysel çalışmalardan alınmıştır [4, 44]. Analizler ile elde edilen sonuçlar deneysel veriler [4, 44] ve diğer matematiksel [13,24,27] hesap sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

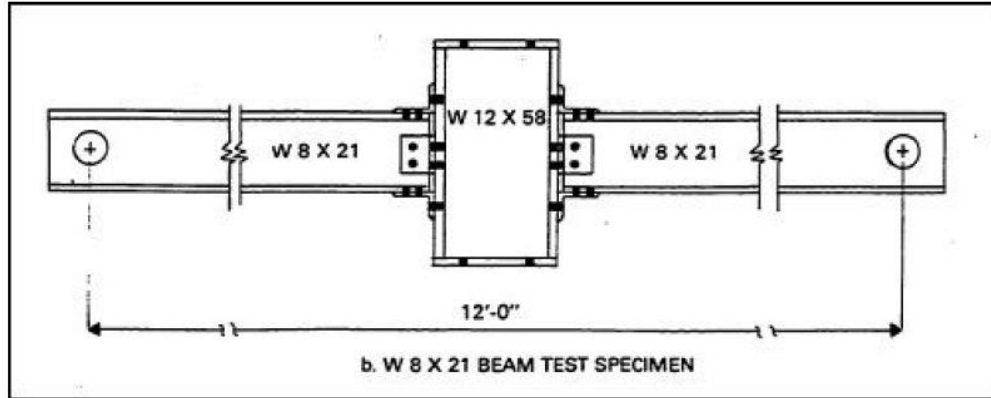
3.2 Azizinamini'nin Deneyleri ve Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi

Azizinamini 1985 yılında yaptığı çalışmasında [4], monotonik ve döngüsel yükleme koşulları altında TSADWA birleşimleri üzerinde deneyler yürütmüştür. Azizinamini, TSADWA için iki farklı konfigürasyon kullanmıştır. Birinci sistemde; W12x96 (W305x144) kolon, W14x38 (W360x57) kirişler seçmiş ve korniyer uzunlukları ile eleman kalınlıkları değişimini incelemiştir [4]. İkinci sistemde; W12x58 (W305x87) kolon ve W8x21 (W203x32) kirişler kullanılmış, korniyer uzunlukları ile birlikte korniyerin eleman kalınlıkları deneylerde değiştirilmiştir [4]. Her iki deney

düzeninde ASTM A325 yüksek mukavemetli bulonlar ve somunlar kullanılmıştır. Azizinamini'nin test düzeneği Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de detaylarıyla verilmiştir.



Şekil 3.1: Azizinamini'nin 14Sx deney numuneleri [4]



Şekil 3.2: Azizinamini'nin 8Sx deney numuneleri [4]

3.2.1 Birleşim Modellerinin Geometrilere

Bu tez kapsamında Azizinamini'nin testlerinden [4] 17 adet farklı birleşim seçilmiş ve birleşimler sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek birleşimlerin davranışları incelenmiştir. Doğrusal olmayan sonlu eleman analiz sonuçları ile mevcut deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Azizinamini'nin testlerinde kullanılan birleşimlerin etiket numaraları ve geometrik özellikleri Tablo 3.1'de listelenmiştir [4]. 8Sx tipi birleşimler,

14Sx birleşimlere göre daha küçük kiriş kesitlerine ve dolayısıyla daha az rijitlik ve moment taşıma kapasitelerine sahiptir. Tablo 3.1'de gösterilen tüm birleşimlerde 22 mm (7/8 inç) ve 19 mm (3/4 inç) çaplı bulonlar kullanılmıştır.

Tablo 3.1: Aziznamini'nin TSADWA birleşimlerinin geometrik özellikleri [4]

Numune numarası	Bulon çapı, mm (inç)	Kiriş kesiti	Üst ve Alt Başlık Korniyerleri			Gövde Korniyerleri	
			Korniyer	Uzunluk, mm (inç)	Bulon aralığı mm, (inç)	Korniyer	Uzunluk mm, (inç)
8S1	19 (3/4)	W8x21	L6x3.5x5/16	152	51 (2)	2L4x3.5x1/4	140 (5 ^{1/2})
8S2			L6x3.5x3/8	(6)			
8S3			L6x3.5x5/16	203			
8S5			L6x4x3/8	(8)			
8S6			L6x4x5/16	63.5 (2 ^{1/2})			
8S7	L6x4x3/8						
8S8	22 (7/8)		L6x3.5x5/16	152	51 (2)		
8S9			L6x3.5x3/8	(6)			
8S10			L6x3.5x1/2				
14S1	19 (3/4)	W14x38	L6x4x3/8	203 (8)	63,5 (2 ^{1/2})	2L4x3.5x1/4	216 (8 ^{1/2})
14S2			L6x4x1/2				
14S3			L6x4x3/8				
14S4			L6x4x3/8				
14S5			L6x4x3/8				
14S6	22 (7/8)		L6x4x3/8				
14S8			L6x4x5/8				
14S9			L6x4x1/2				

3.2.2 Sonlu Eleman Modellemesi

Aziznamini'nin [4] TSADWA birleşimlerin yapısal davranışı, üç boyutlu sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanılarak incelenmiştir. FEA analizleri için ABAQUS [33] sonlu elemanlar programı kılavuzu incelenmiştir.

Tüm birleşim bileşenlerinin geometrik detayları, Tablo 3.1'de verilen deneysel çalışmanın [4] geometrik özelliklerine göre modellenmiştir. Geometri detaylarının,

yükleme ve sınır koşulların simetrik olması nedeniyle 14Sx numuneleri Şekil 4.2’de gösterildiği gibi simetrik modellenmiştir. 8Sx numuneleri ise Şekil 3.3’te gösterildiği gibi ilerideki analizlerde kullanabilmek amacıyla tam modellenmiştir.

Bulon delikleri, bulon çapından 0,3175 cm (1/8 inç) daha büyük olarak modellenmiştir [13]. Eleman tipi, azaltılmış entegrasyonlu 8 düğümlü altıgen katı eleman (C3D8R) olarak tanımlanmıştır. Bulon ve somunu yüzeylerin korniyerlere, korniyerlerin ise kiriş ve kolona temas alanları, Penalty temas algoritması uygulanarak modellenmiştir. İki yüzey arasında ortaya çıkan normal davranış "sert temas" olarak tanımlanmış ve teğet yönünde sürtünme katsayısı 0,33 olarak tanımlanmıştır [35].

3.2.3 Sınır Koşulları ve Uygulanan Yükler

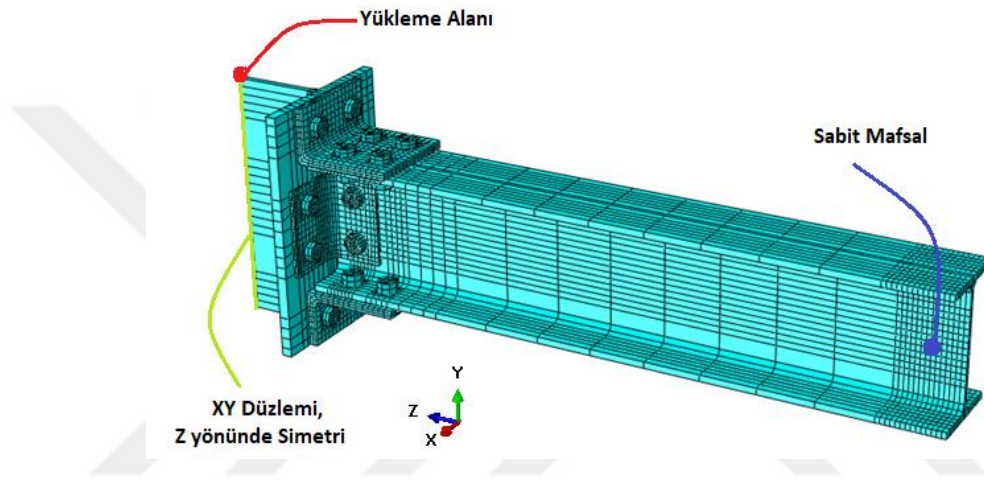
Sayısal analizler Azizinami'nin deney düzeneği ve yükleme yöntemi izlenerek yapılmıştır. İki kiriş simetrik olarak kolon başlıklarına bağlanmıştır, bu kirişlerin uçlarına sabit mafsallar tanımlanmış ve kolunun merkez noktasının yukarıya doğru hareket etmesine izin verilmiştir. Ek olarak, kolona kayma ve asimetri nedeniyle herhangi bir hareketini düzeltmek için hareketli mafsallar tanımlanmıştır. Deneysel sınırlara dayalı olarak, yapısal simetri dikkate alınarak sayısal analiz için kolon, kiriş, alt ve üst korniyerleri, gövde korniyeri ve bulonları içeren bir bağlantı modeli kullanılmıştır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te FEA modellerine uygulanan sınır koşulları göstermektedir.

İlk yük durumu olarak bulon öngerme uygulanmıştır. Deneyde kullanılan öngerme miktarı hakkında bilgi bulunmadığından dolayı öngerme kuvveti tasarım değerleri’ne göre 22.3 mm (3/4 inç) çaplı bulonlara 178 kN ve 19.1 mm (7/8 inç) bulonlara 133 kN öngerme kuvveti uygulanmıştır [36]. Birleşimlerden ortaya çıkan moment ve dönme değerleri Denklem 3.1 ve Denklem 3.2’ye göre elde edilmiştir [14]:

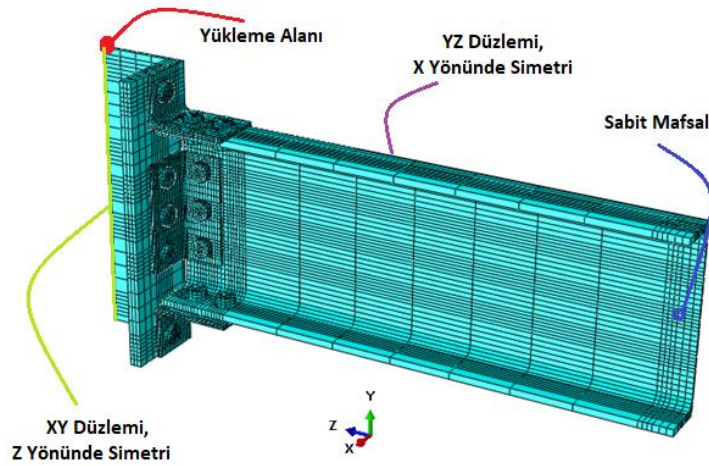
$$M = P \cdot L \quad (3.1)$$

$$R = \frac{d_1 - d_2}{h} \quad (3.2)$$

Burada M uygulanan birleşim momenti, P kiriş uç düğümlerinde uygulanan yer değiştirmelerin reaksiyonlarının toplamıdır; L kiriş uzunluğu, R bağlantının dönme değeri, h kiriş derinliği, d_1 ve d_2 sırasıyla kirişin üst ve alt başlıkların yatay yer değiştirmeleridir.



Şekil 3.3: 8Sx modellerine uygulanan sınır koşulları



Şekil 3.4: 14Sx modellerine uygulanan sınır koşulları

3.2.4 Malzeme Özellikleri

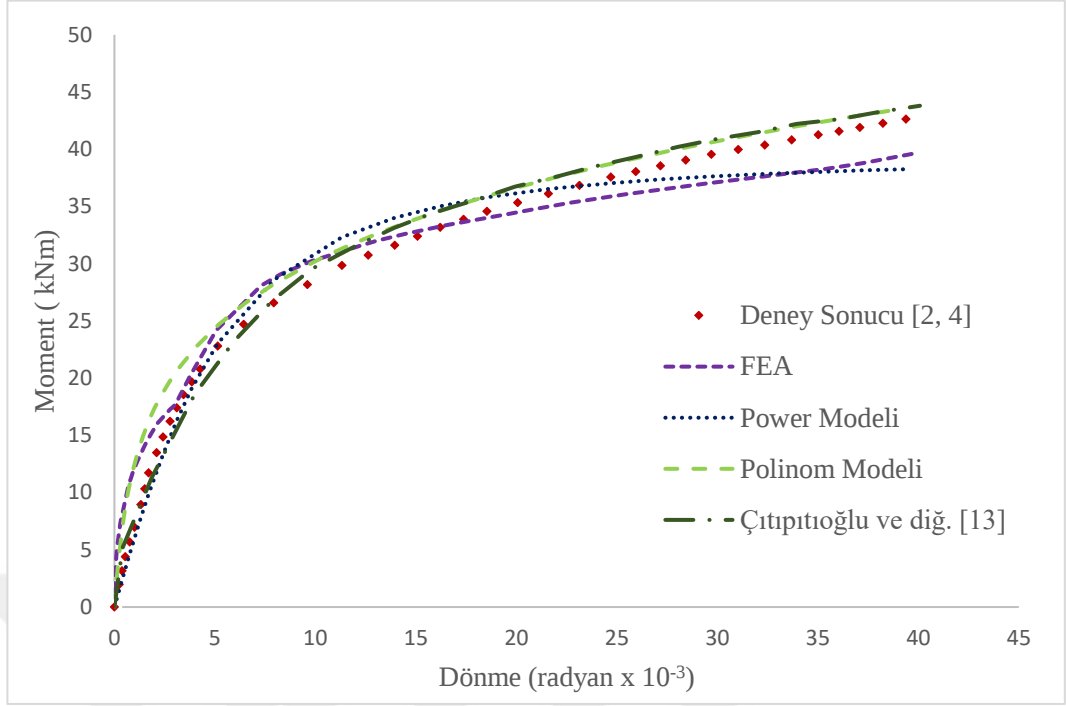
Malzemelerin gerilme ve şekil değiştirme özellikleri, bilinear bir model kullanılarak tanımlanmıştır. Çeliğin plastik deformasyonu için izotropik pekleşme kuralı uygulanmıştır. Kiriş, kolon ve korniyerler için ASTM A36 çeliği kullanılmıştır. Korniyerler için akma gerilmesi ve nihai mukavemeti gerçekleştirilen kupon deneylerinden alınmış ve benzer değerler kiriş ve kolon için de kullanılmıştır. Bulonların akma gerilimi ve nihai mukavemetleri, A325 bulonlarının nominal özellikleri dikkate alınarak kullanılmıştır. Birleşimlerin malzeme özellikleri Tablo 3.2'de gösterilmektedir [12].

Tablo 3.2: Analizde kullanılan birleşim elemanlarının malzeme özellikleri [12]

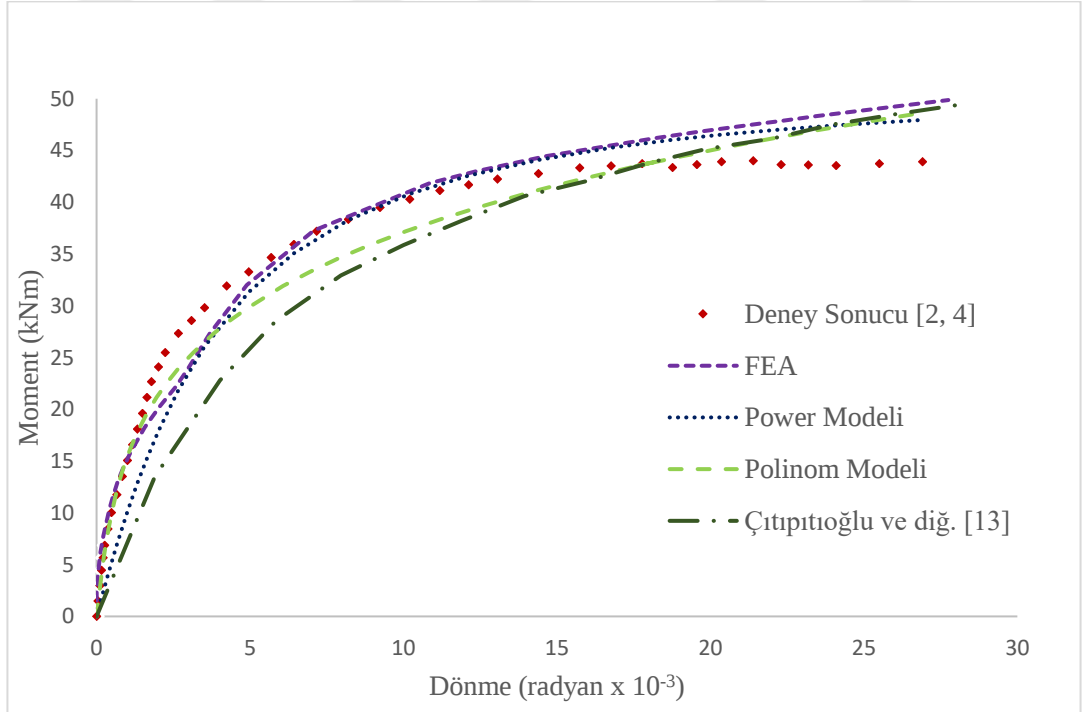
Birleşim bileşenleri	ASTM tanımı	Akma gerilmesi (MPa)	Nihai gerilme (MPa)	Pekleşme (%)	Elastisite modülü (MPa)	Poisson oranı
Bulon	A325	634,3	930,8	8	2×10^5	0,3
19mm bulon çapı ile						
Korniyer, kiriş, kolon	A36	280,3	471,8	20	2×10^5	0,3
22mm bulon çapı ile						
Korniyer, kiriş, kolon	A36	272,7	468,5	20	2×10^5	0,3

3.2.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi Analiz Sonuçları

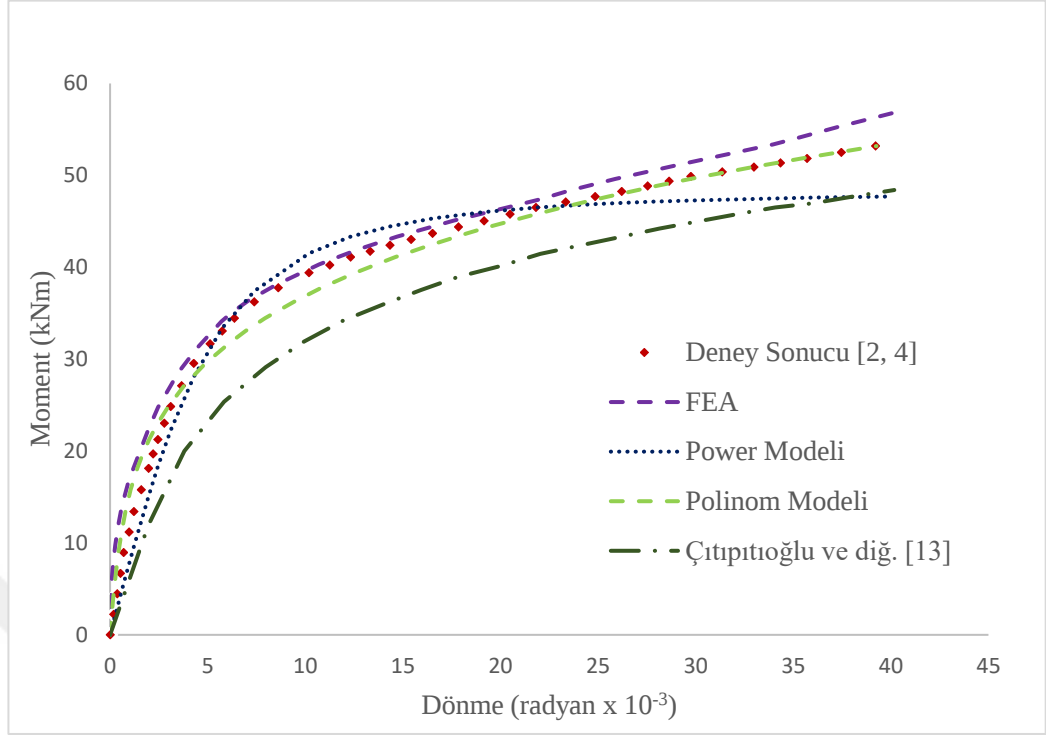
Sonlu elemanlar yöntemi analizlerinden elde edilen sonuçlar 8Sx modelleri için Şekil 3.5 – Şekil 3.13 ve 14Sx modelleri için ise Şekil 3.14 – Şekil 3.21’de sunulmuştur. Bu şekillerde Azizinami’nin deney sonuçları [2,4], Çıtıpıtıoğlu’nun çalışmasına ait sonuçlar [13], ile analiz sonucunda elde edilen değerler, Power Modeli ve Poliom Modeli karşılaştırılarak gösterilmiştir.



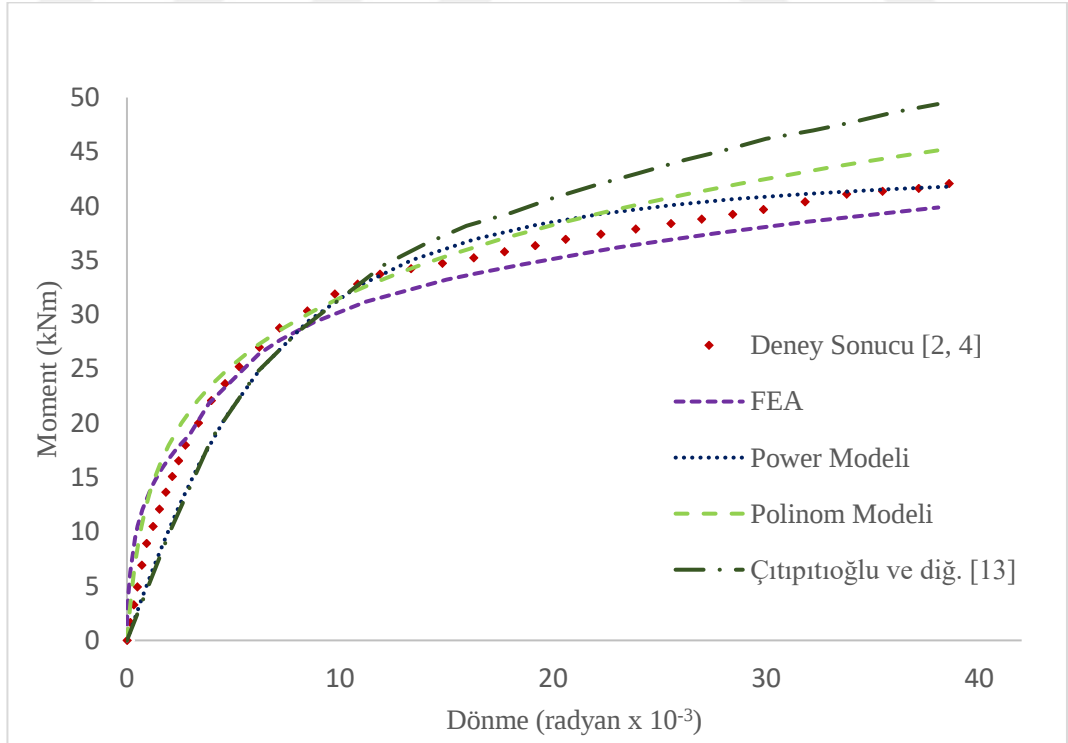
Şekil 3.5: 8S1 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



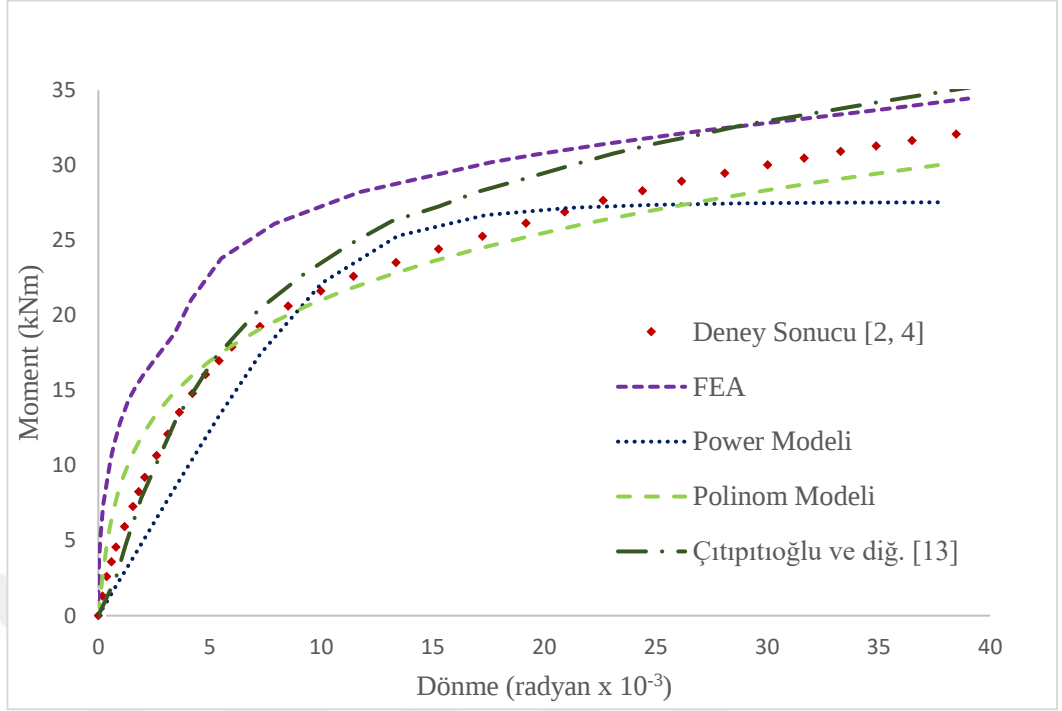
Şekil 3.6: 8S2 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



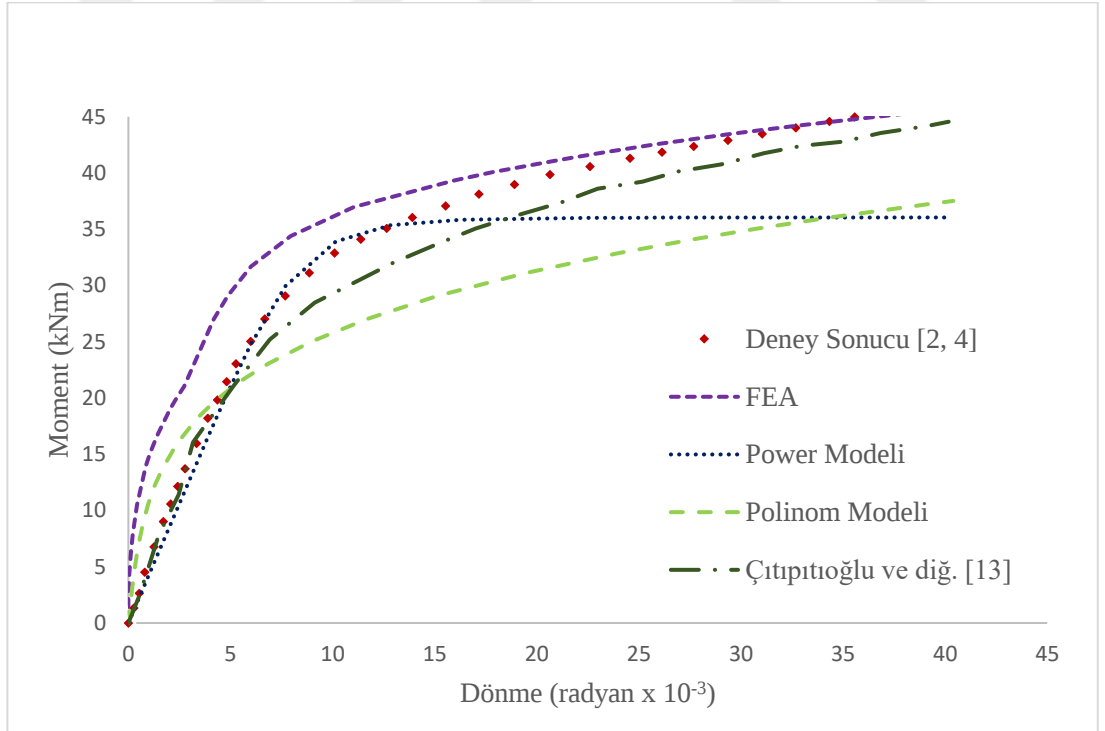
Şekil 3.7: 8S3 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



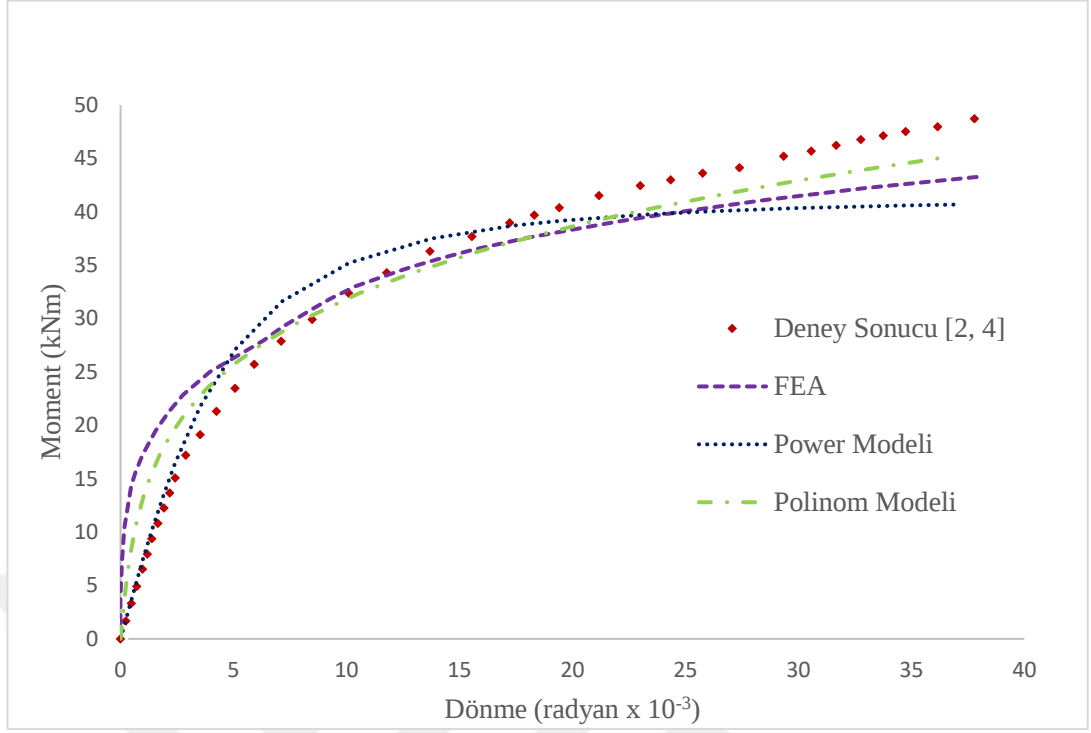
Şekil 3.8: 8S5 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



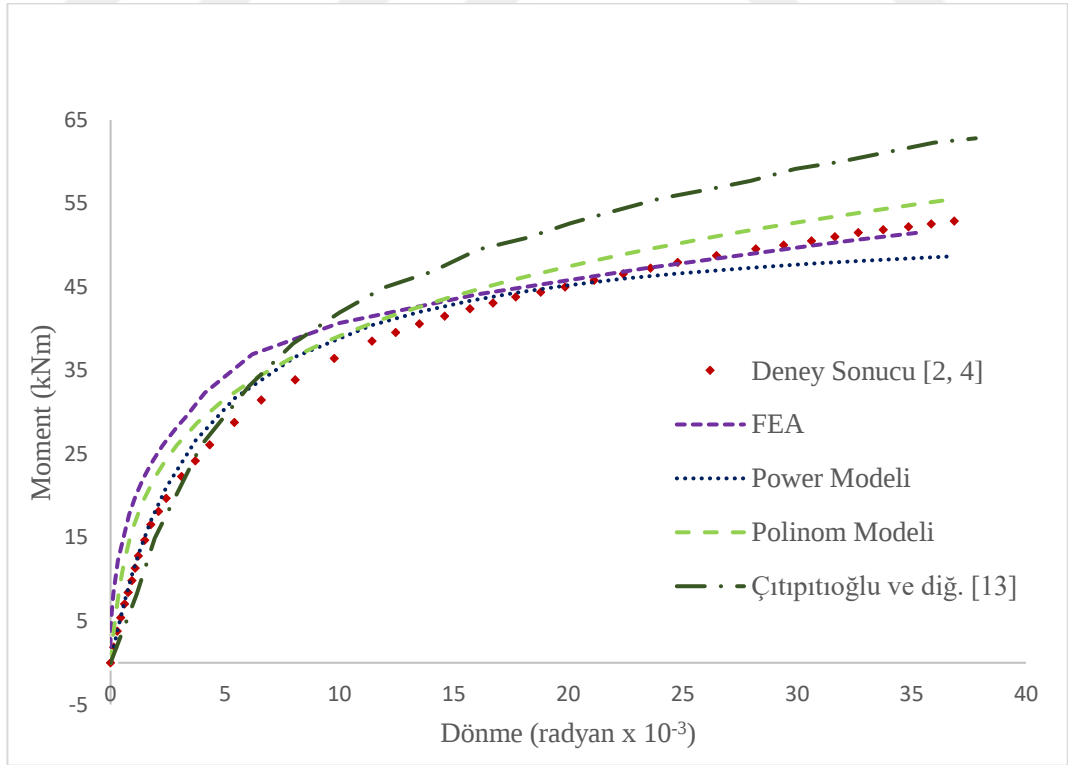
Şekil 3.9: 8S6 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



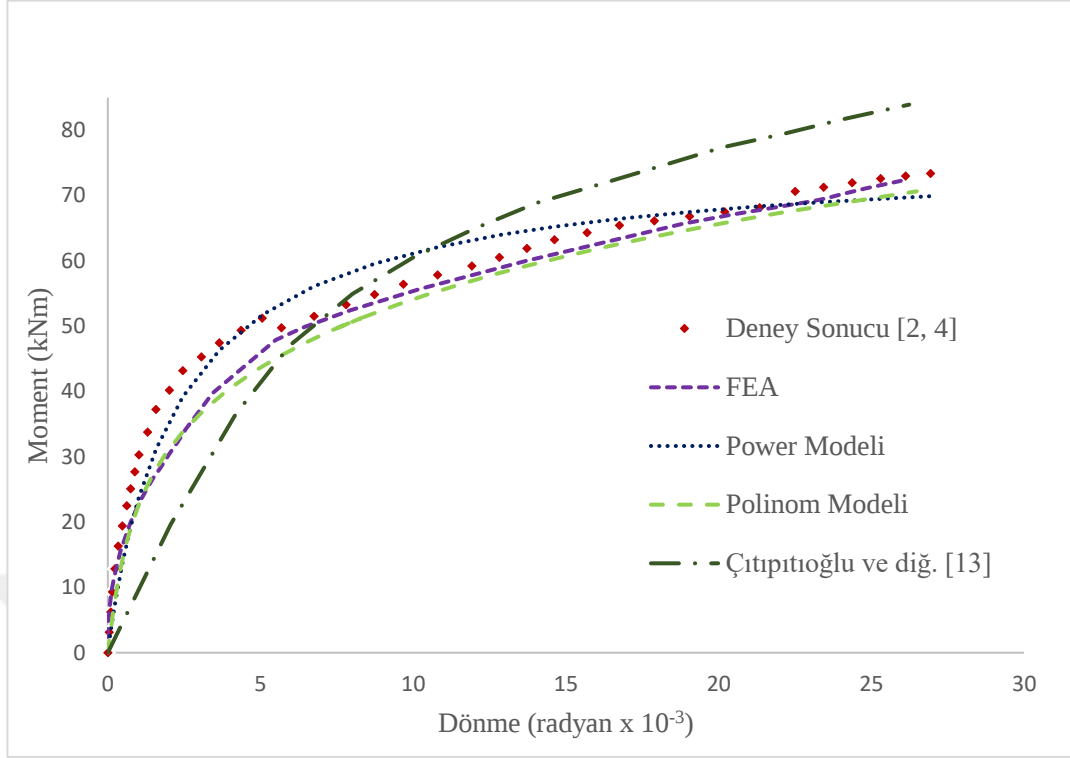
Şekil 3.10: 8S7 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



Şekil 3.11: 8S8 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



Şekil 3.12: 8S9 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



Şekil 3.13: 8S10 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması

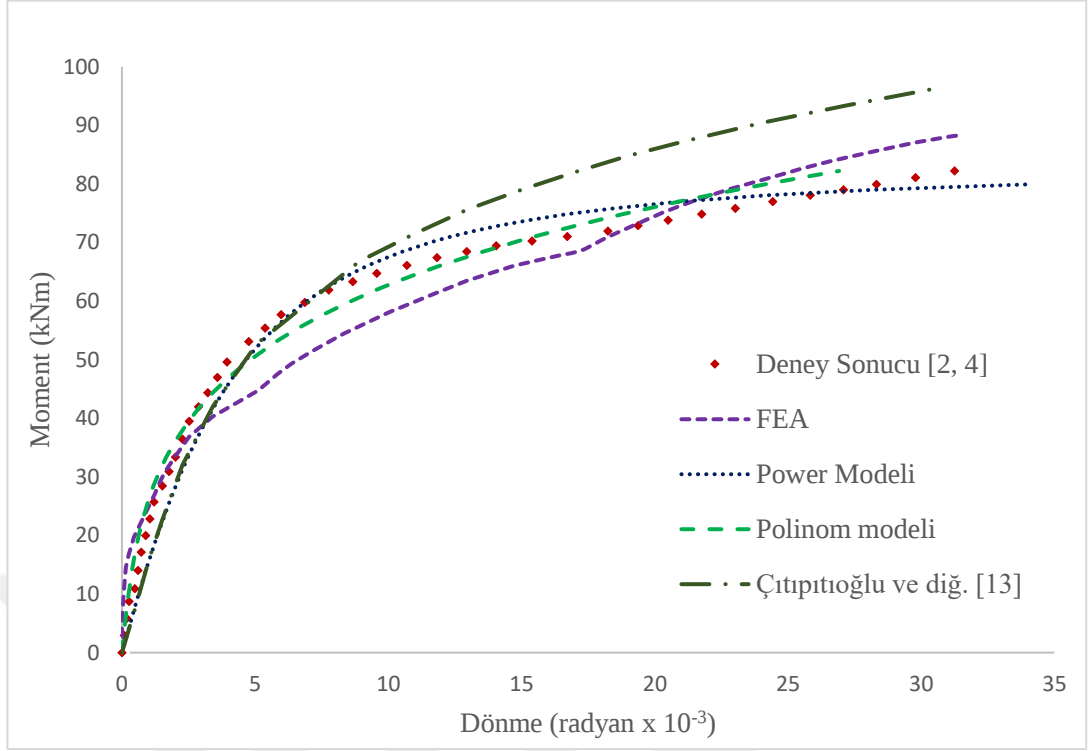
Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 8Sx numuneler için elde edilen nihai moment değerleri ile Azizinami'nin deney sonuçları [2,4], Çıtıptıoğlu vd.'nin çalışmasına ait sonuçlar [13], Power Modeli sonuçları ve Polinom Modeli sonuçları karşılaştırılmıştır. Farklı birleşim özelliklerine sahip 8Sx numunelerin nihai moment değerleri ve referans deney sonuçlarına göre farkları hesaplanmış ve Tablo 3.3 ile sunulmuştur.

Tablo 3.3: 8Sx birleşimleri [4] için nihai moment değerleri

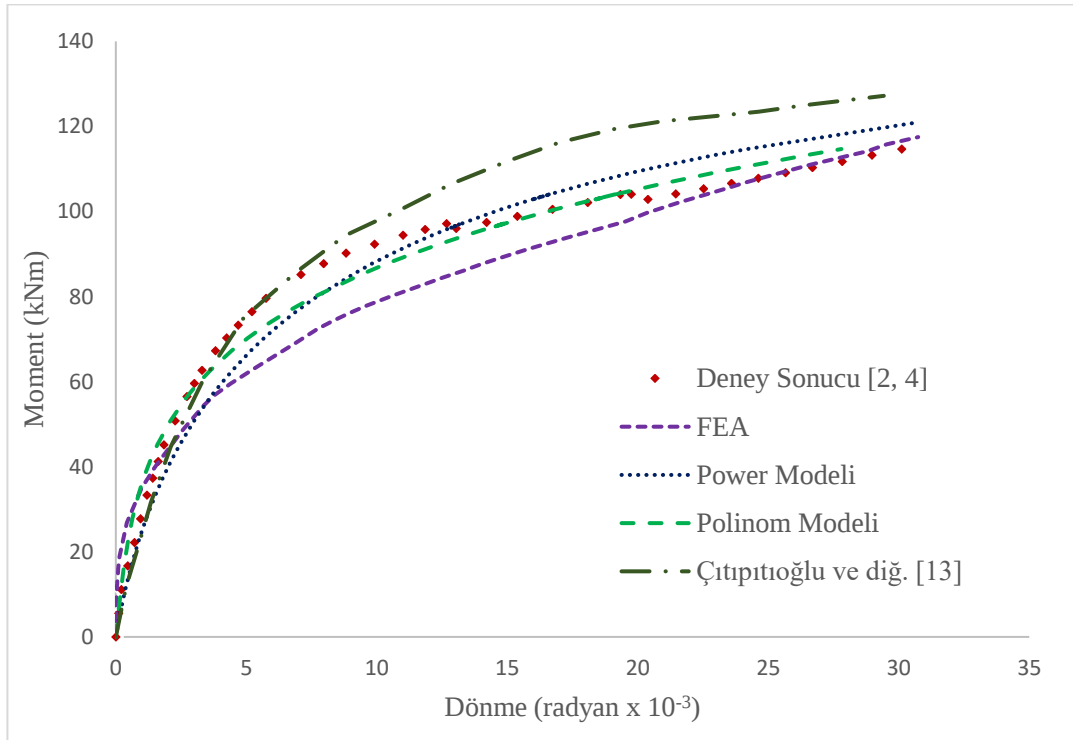
Numune Numarası	Nihai Moment (kNm)					Deney Sonuçlarına göre Fark (%)			
	Deney Sonucu [2,4]	FEA	Power Modeli	Polinom Modeli	Çıtıptıoğlu vd. [13]	FEA	Power Modeli	Polinom Modeli	Çıtıptıoğlu vd. [13]
8S1	42,63	39,49	38,25	43,59	43,61	-7,36	-10,25	2,27	2,31
8S2	43,91	49,57	47,96	48,65	48,88	12,89	9,22	10,79	11,32
8S3	53,18	56,30	47,67	53,17	48,07	5,85	-10,36	-0,02	-9,61
8S5	42,06	40,01	41,80	45,29	49,65	-4,88	-0,61	7,68	18,03
8S6	32,08	34,34	27,54	30,19	35,04	7,04	-14,14	-5,89	9,23
8S7	46,50	45,70	36,04	37,47	44,54	-1,73	-22,49	-19,4	-4,21
8S8	48,72	43,26	40,71	45,52	-	-11,19	-16,43	-6,56	-
8S9	52,89	52,02	48,68	55,54	62,48	-1,64	-7,94	5,0	18,13
8S10	73,37	73,30	69,91	70,99	84,74	-0,09	-4,71	-3,24	15,49

Azizinami'nin 8Sx birleşimleri için Tablo 3.3 nihai momentler bakımından incelendiğinde; deney sonuçları ile bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri arasındaki en büyük farkın %13 olduğu görülmüştür. Power Model ve Polinom Model için ise bu fark sırasıyla %23 ve %20 şeklindedir. Çıtıptıoğlu vd. çalışmasında ise en büyük fark %19 civarındadır.

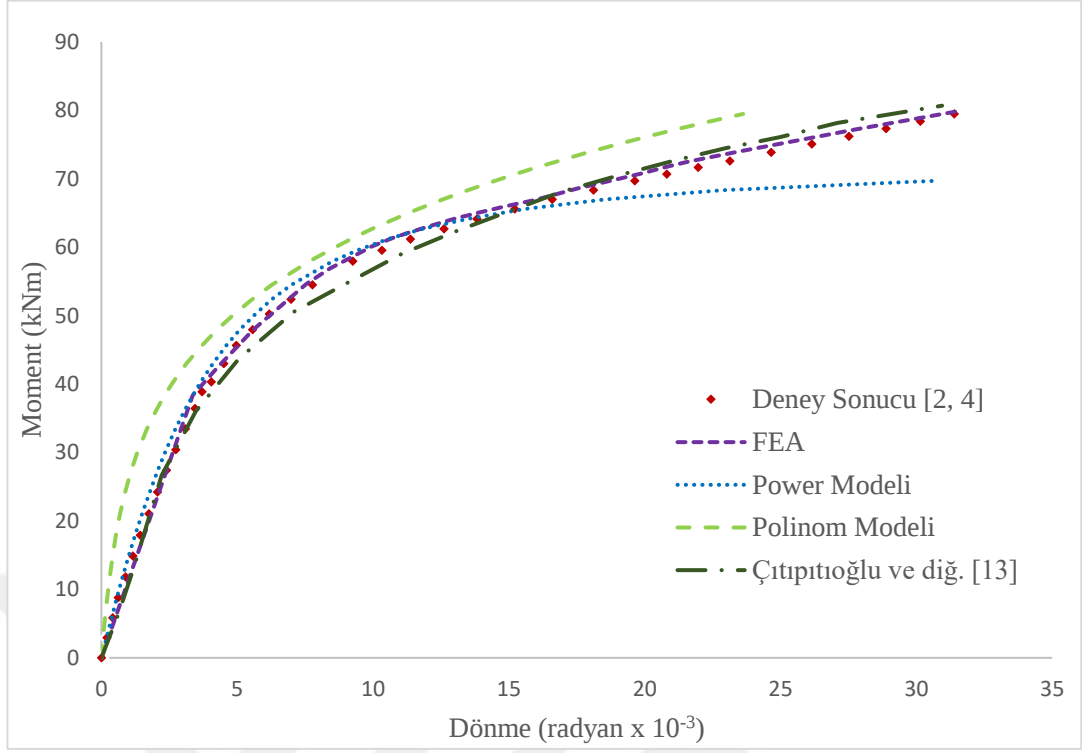
Sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlar kendi içerisinde nihai moment açısından değerlendirildiğinde Tablo 3.3'de yer alan 8S7, 8S9 ve 8S10 birleşimleri için sonlu eleman analiz sonuçlarının deney sonuçlarına oldukça yakın olduğu görülmüştür.



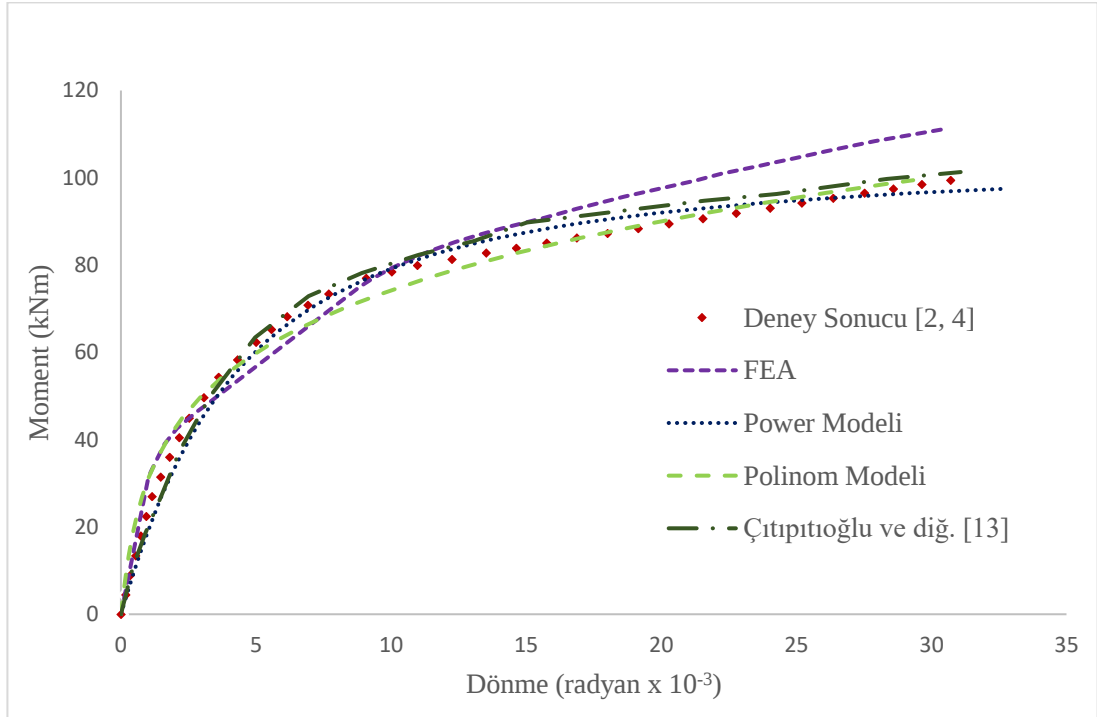
Şekil 3.14: 14S1 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



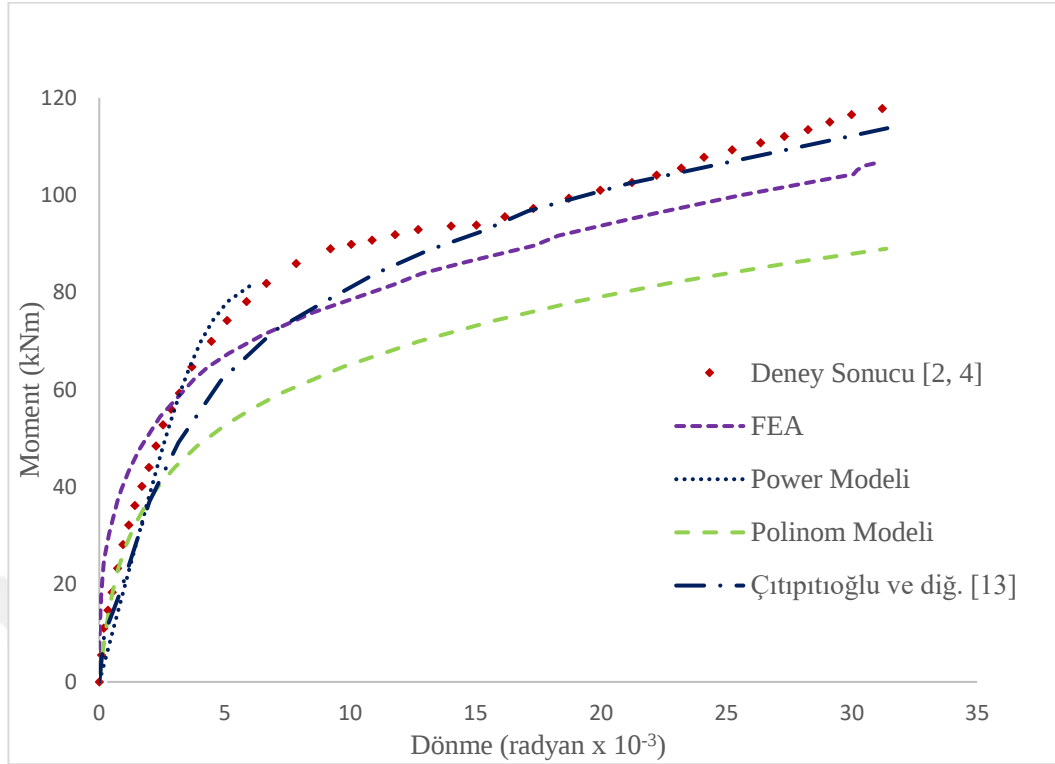
Şekil 3.15: 14S2 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



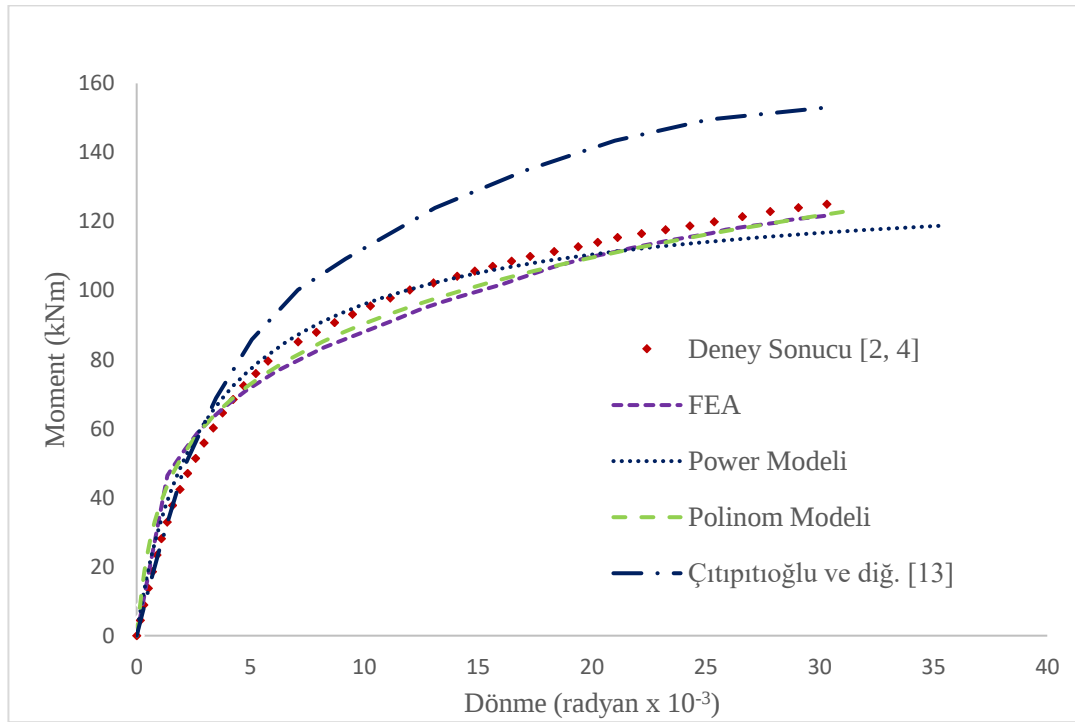
Şekil 3.16: 14S3 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



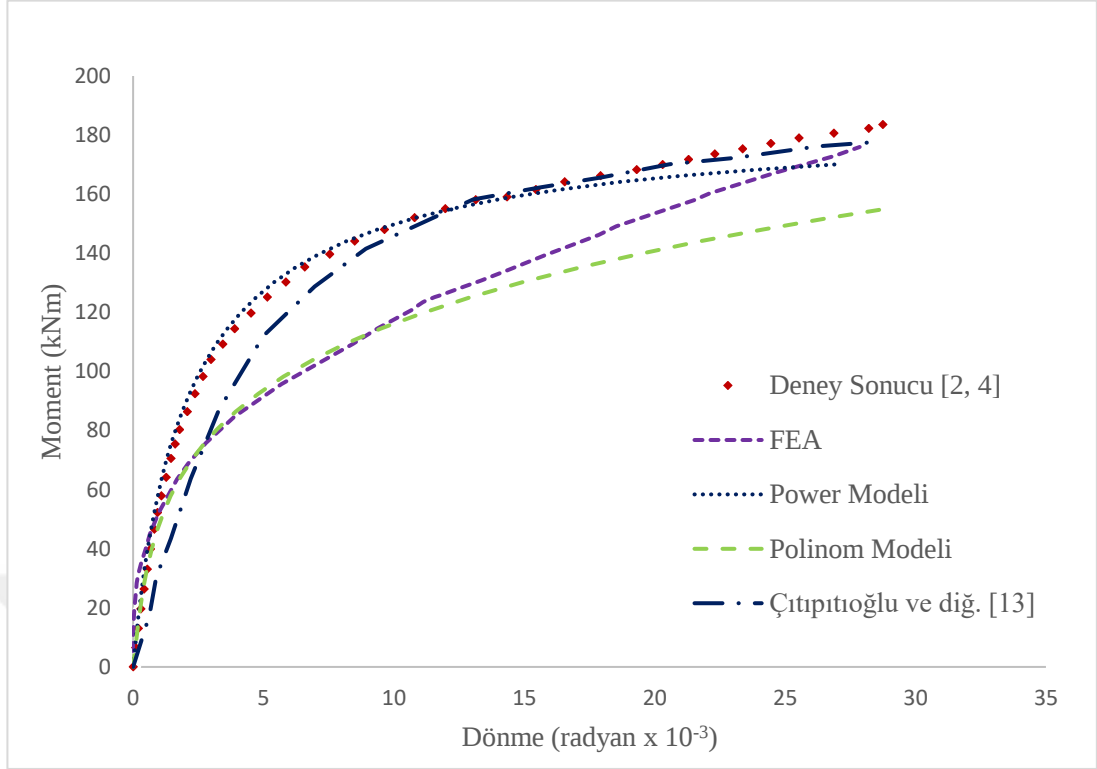
Şekil 3.17: 14S4 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



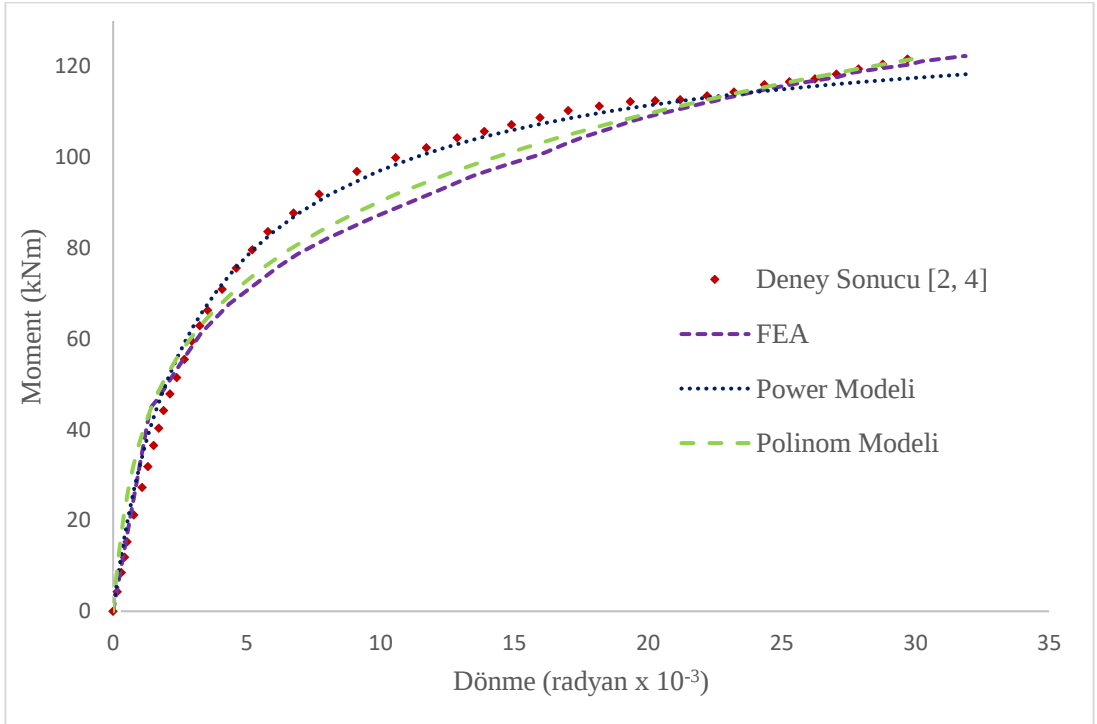
Şekil 3.18: 14S5 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



Şekil 3.19: 14S6 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



Şekil 3.20: 14S8 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



Şekil 3.21: 14S9 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 14Sx numuneleri için elde edilen nihai moment değerleri ile Azizinami'nin deney sonuçları [2,4], Çıtıptıoğlu vd.'nin çalışmasına ait sonuçlar [13], Power Modeli sonuçları ve Polinom Modeli sonuçları karşılaştırılmıştır. Farklı birleşim özelliklerine sahip 14Sx numunelerin nihai moment değerleri ve referans deney sonuçlarına göre farkları hesaplanmış ve Tablo 3.3 ile sunulmuştur.

Tablo 3.4: 14Sx birleşimleri [4] için nihai moment değerleri

Numune Numarası	Nihai Moment (kNm)					Tutarsızlık (%)			
	Deney Sonucu [2,4]	FEA	Power Modeli	Polinom Modeli	Çıtıptıoğlu vd. [13]	FEA	Power Modeli	Polinom Modeli	Çıtıptıoğlu vd. [13]
14S1	82,21	88,18	79,45	85,78	96,95	7,25	-3,36	4,34	17,92
14S2	114,68	116,53	120,38	117,25	127,77	1,61	4,97	2,23	11,41
14S3	79,48	79,81	69,95	86,25	81,13	0,41	-11,9	8,52	2,07
14S4	99,44	111,4	96,86	100,6	101,2	12,1	-2,59	1,24	1,77
14S5	117,8	107,04	-	88,97	113,56	-9,16	-	-24,5	-3,63
14S6	125,07	122,21	116,8	122,05	153,51	-2,29	-6,61	-2,41	22,7
14S8	183,5	179,6	171,32	154,9	178,28	-2,12	-6,66	-15,6	-2,87
14S9	121,6	120,34	117,32	121,43	-	-1,03	-3,5	-0,13	-

Azizinami'nin 14Sx birleşimleri için Tablo 3.4 nihai momentler bakımından incelendiğinde; deney sonuçları ile bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri arasındaki en büyük farkın yaklaşık %12 olduğu görülmüştür. Power Model ve Polinom Model için ise bu fark sırasıyla %12 ve %25 şeklindedir. Çıtıptıoğlu vd. çalışmasında ise en büyük fark %23 civarındadır.

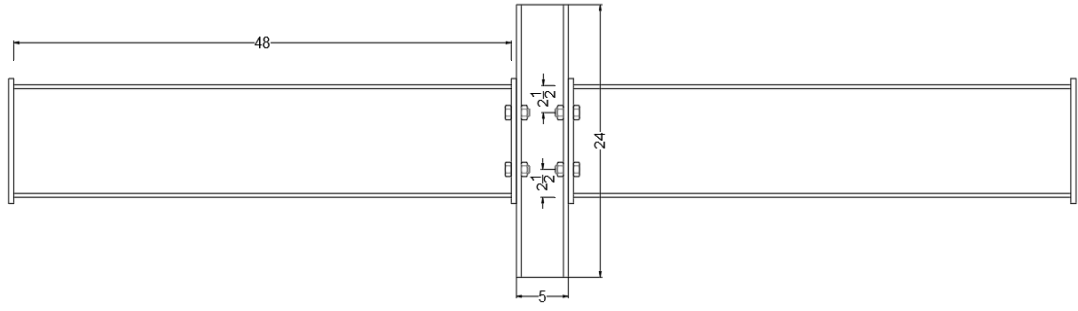
Sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlar kendi içerisinde nihai moment açısından değerlendirildiğinde Tablo 3.4'de yer alan 14S2, 14S3, 14S6 ve 14S8 birleşimleri için sonlu eleman analiz sonuçlarının deney sonuçlarına oldukça yakın olduğu görülmüştür.

3.3 Ostrander'in Deneyleri ve Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi

Ostrander [44], 1970 yılında yaptığı çalışmasında uç levhalı birleşimleri üzerinde deneyler yürütmüştür. Bu bölümde kapsamında Ostrander'in testlerinden 7 adet farklı özelliklere sahip birleşim seçilmiş ve birleşimler sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek birleşimlerin davranışları incelenmiştir. Doğrusal olmayan sonlu eleman analiz sonuçları ile literatürde yer alan [44] deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Ostrander'in test düzeneği Şekil 3.22'de ve testlerinde kullanılan birleşimlerin etiket numaraları ve geometrik özellikleri Tablo 3.5'de listelenmiştir [44]. Tablo 3.5'de verilen parametreler; w eleman genişliği, d eleman derinliği, t elemanın kalınlığı, g yatay bulon aralığı ve p dikey bulon aralığı'dır.

Tablo 3.5: Ostrander'in testlerinde kullanılan birleşimlerin etiket numaraları ve geometrik özellikleri [44]

Numune numarası	Kiriş kesiti	Kolon kesiti	Uç levha			Rijitlik Levhası			Bulon	
			w mm (inç)	d mm (inç)	t mm (inç)	w mm (inç)	d mm (inç)	t mm (inç)	g mm (inç)	p mm (inç)
TEST 1					12,7 (1/2)	-	-	-		
TEST 3					9,5 (3/8)	-	-	-		
TEST 4	W10x21	W8x28	165 (6½)	280 (11)	6,35 (1/4)	-	-	-	89 (3½)	127 (5)
TEST 6					9,52 (3/8)	76,2 (3)	22,2 (7⅛)	6,35 (1/4)		
TEST 7					6,35 (1/4)					
TEST 8										
TEST 11	W12x27	W8x40	190 (7½)	330 (13)	9,52 (3/8)	-	-	-	101,5 (4)	178 (7)



Şekil 3.22: Ostrander'in test düzeneği

3.3.1 Malzeme Özellikleri

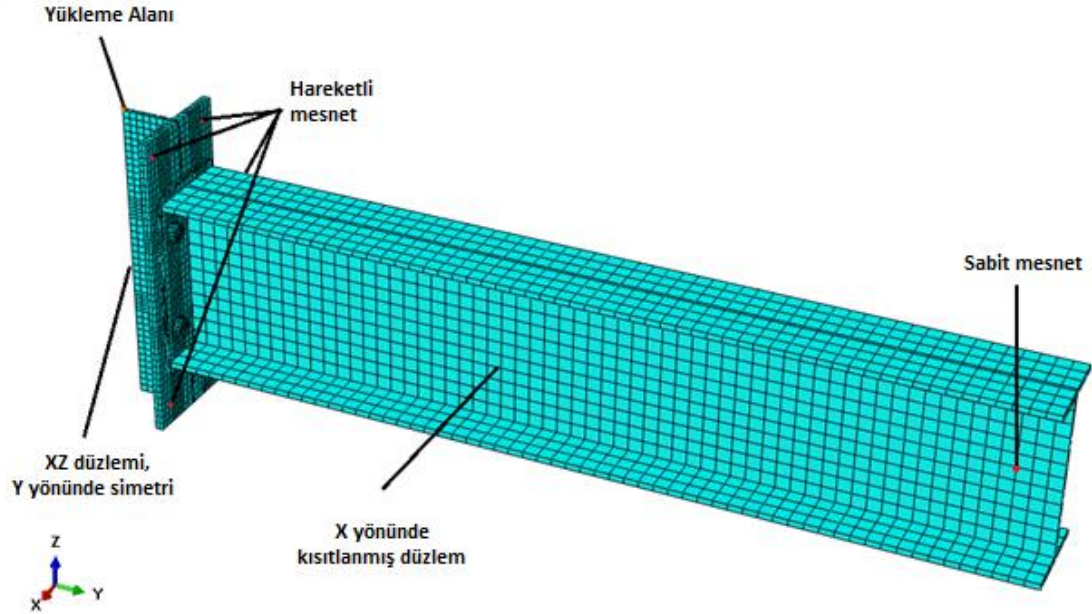
Kiriş, kolon ve uç levha için ASTM A36 çeliği kullanılmış, elemanların akma gerilmesi ile nihai mukavemet değerleri Ostrander'in kupon deney sonuçlarından alınmıştır [44]. Bulonların akma gerilimi ve nihai mukavemetleri, A325 bulonlarının nominal özellikleri dikkate alınarak kullanılmıştır. Malzemelerin gerilme ve şekil değiştirme özellikleri, bilinear bir model kullanılarak tanımlanmıştır. Çeliğin plastik deformasyonu için izotropik pekleşme kuralı uygulanmıştır. Birleşimlerin malzeme özellikleri Tablo 3.6'da gösterilmektedir [44].

Tablo 3.6: Birleşimlerin malzeme özellikleri [44]

Malzeme	Akma gerilimi MPa (ksi)	Nihai mukavemet MPa (ksi)	Pekleşme (%)
W10x21	285 (41,3)	461 (66,9)	35
W8x28	352 (51,1)	533 (77,3)	38,3
W12x27	400 (58)	538 (78)	37,3
W8x40	335 (48,6)	517 (75)	33,8
Uç levha 1/4"	320,5 (46,5)	491 (71,2)	34,3
Uç levha 3/8"	313,7 (45,5)	472 (68,5)	38,8
Uç levha 1/2"	313 (45,4)	485 (70,3)	39
Rijitlik Levhası 1/4"	342 (49,6)	496 (71,9)	38
Rijitlik Levhası 3/4"	220,5 (32)	403 (58,5)	45

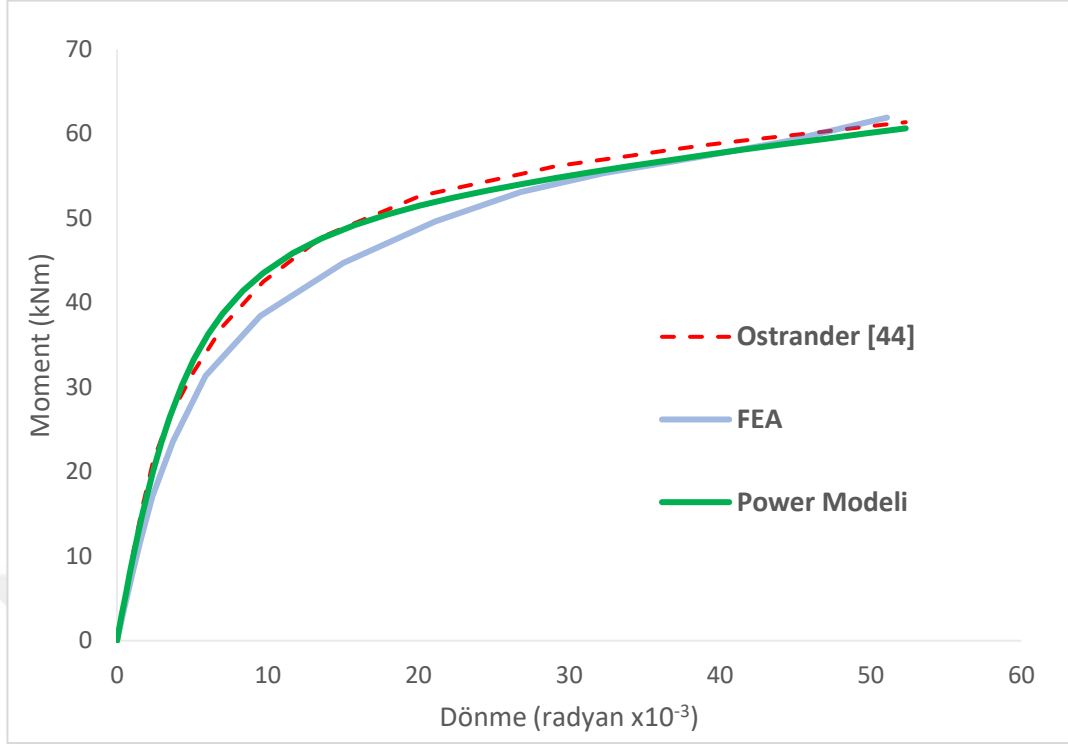
3.3.2 Sonlu Eleman Modellemesi

Ostrander'ın [44] uç levhalı birleşimlerinin yapısal davranışı üç boyutlu sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanılarak incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi için ABAQUS [33] kılavuzu incelenmiştir. Tüm birleşim bileşenlerinin geometrik detayları, Tablo 3.5'de verilen deneysel çalışmanın [44] geometrik özelliklerine göre modellenmiştir. Yükleme ve sınır koşulları, bulon delikleri, eleman tipi, yüzeylerin temas algoritması ve sürtünme katsayısı Aziznami'nin [4] TSADWA birleşimleri bölümünde belirtildiği şekilde dikkate alınmıştır. Sonlu eleman modeli TEST11 için Şekil 3.23'de gösterilmiştir.

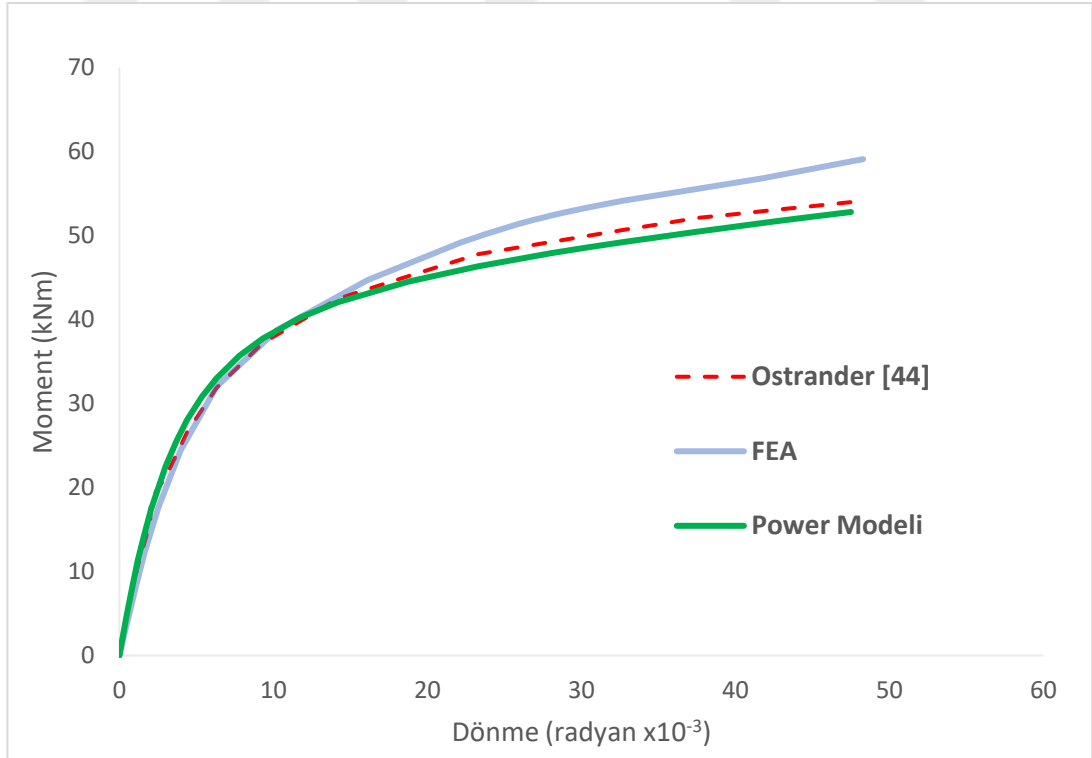


Şekil 3.23: Ostrander'in modellerine uygulanan sınır koşulları

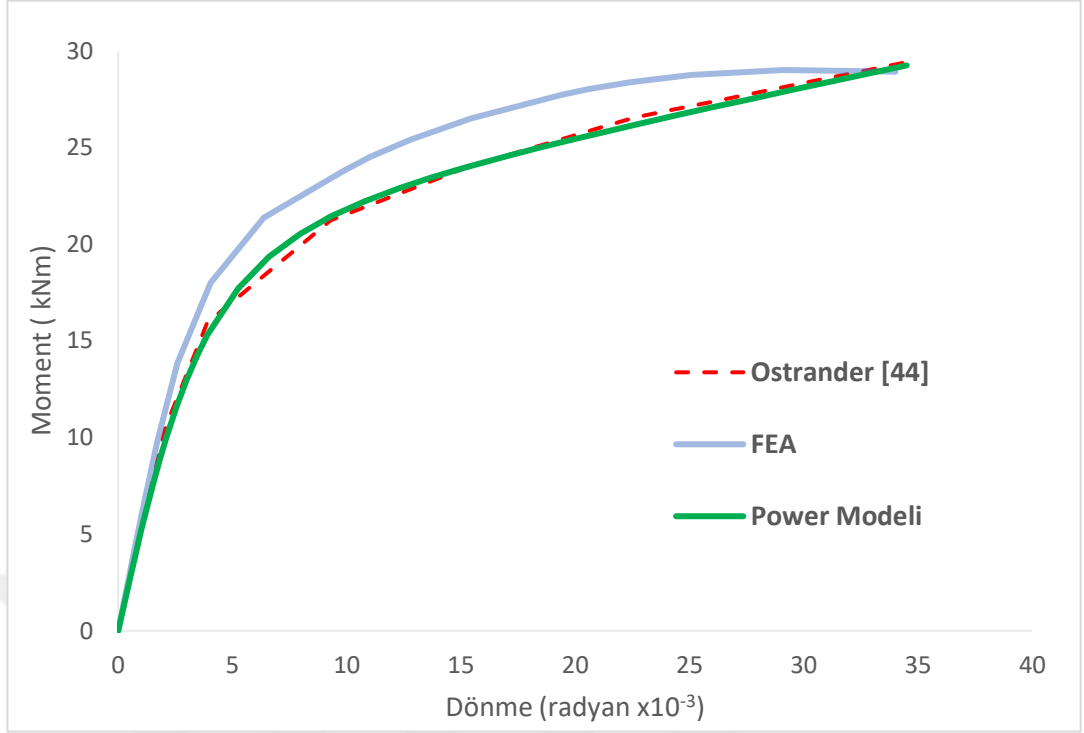
Sonlu elemanlar yöntemi analilerinden elde edilen sonuçlar Şekil 3.24 – Şekil 3.30'de sunulmuştur. Bu şekillerde Ostrander'in deney sonuçları [44], analiz sonucunda elde edilen değerler ve Power Modeli karşılaştırılarak gösterilmiştir [45].



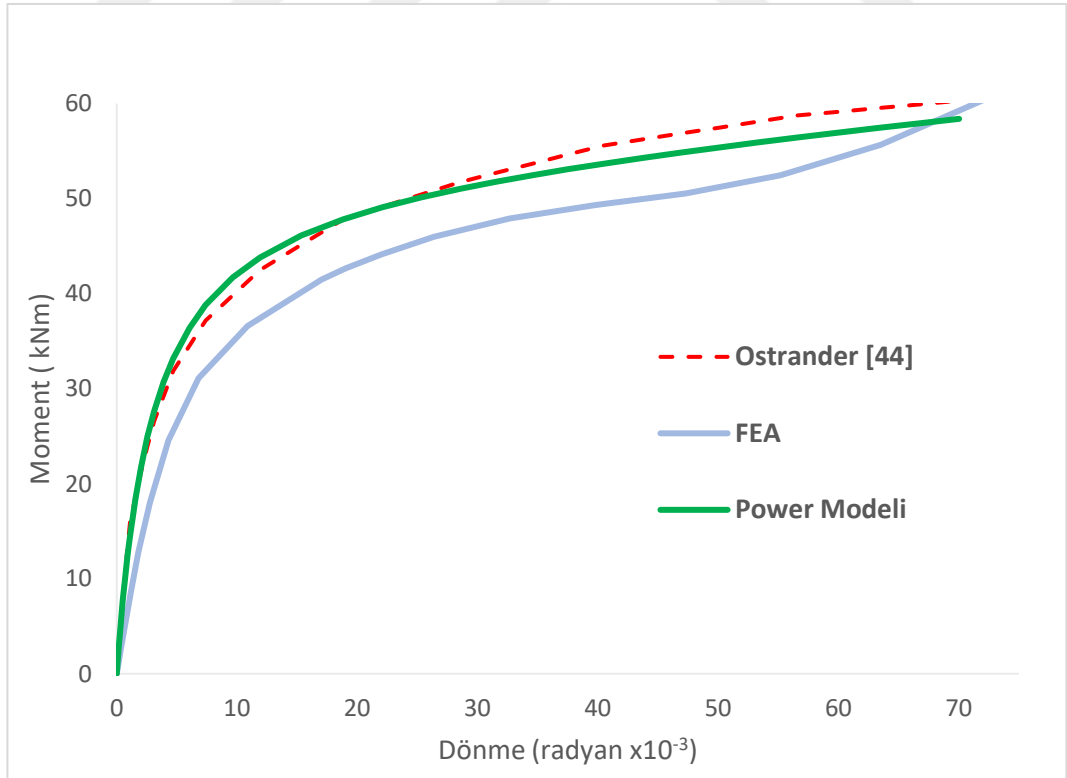
Şekil 3.24: TEST1 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



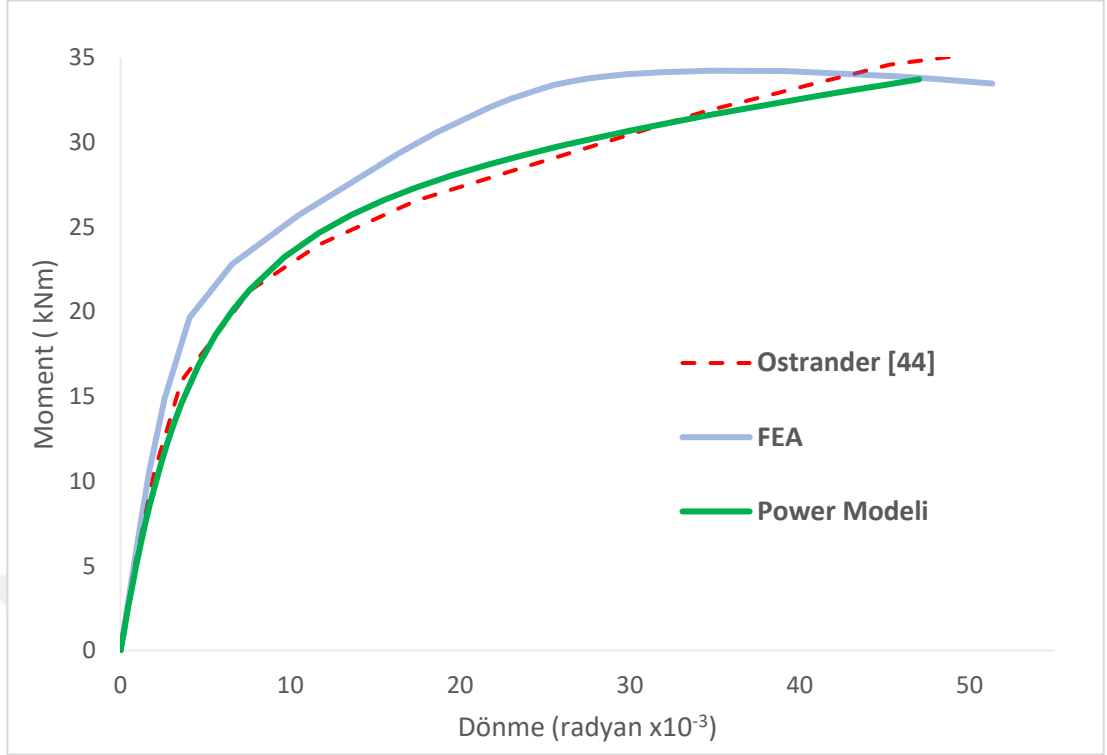
Şekil 3.25: TEST3 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



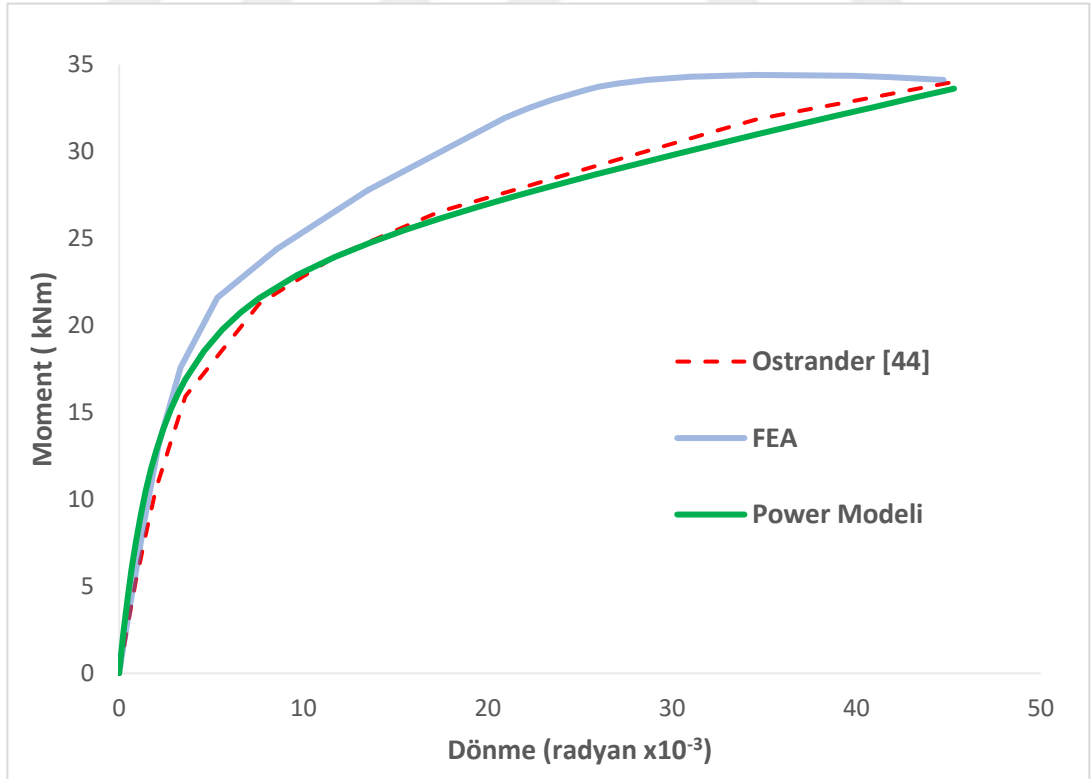
Şekil 3.26: TEST4 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



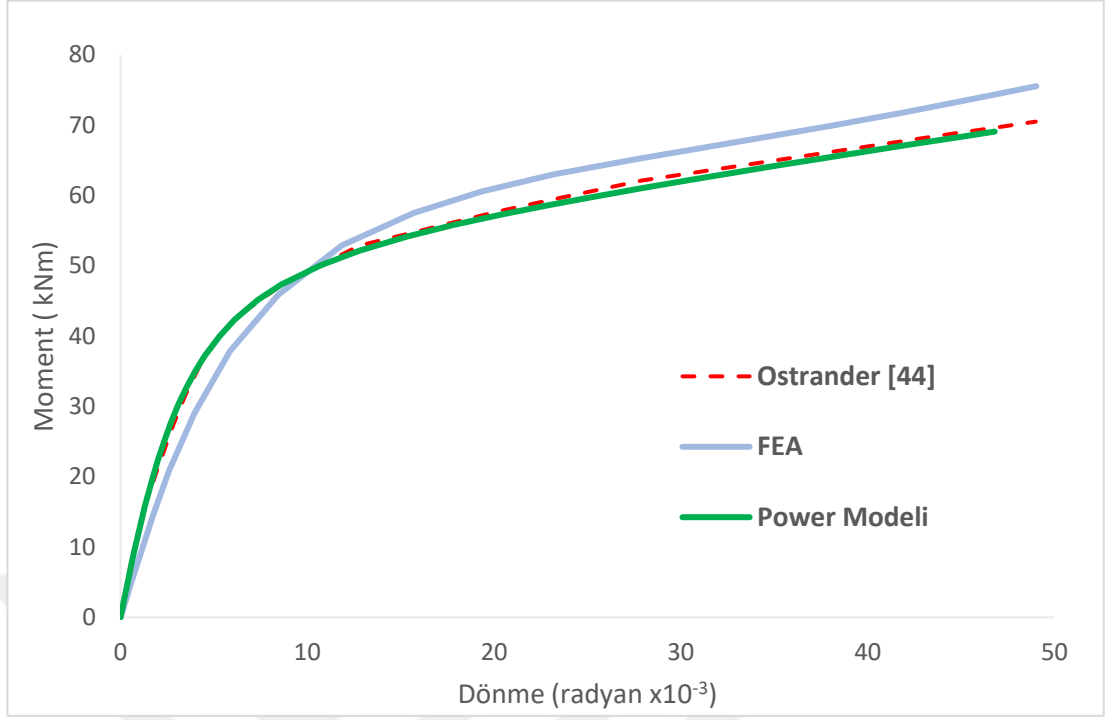
Şekil 3.27: TEST6 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



Şekil 3.28: TEST7 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



Şekil 3.29: TEST8 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması



Şekil 3.30: TEST11 modelinin FEA analiz sonucu ve karşılaştırması

Bölüm 4

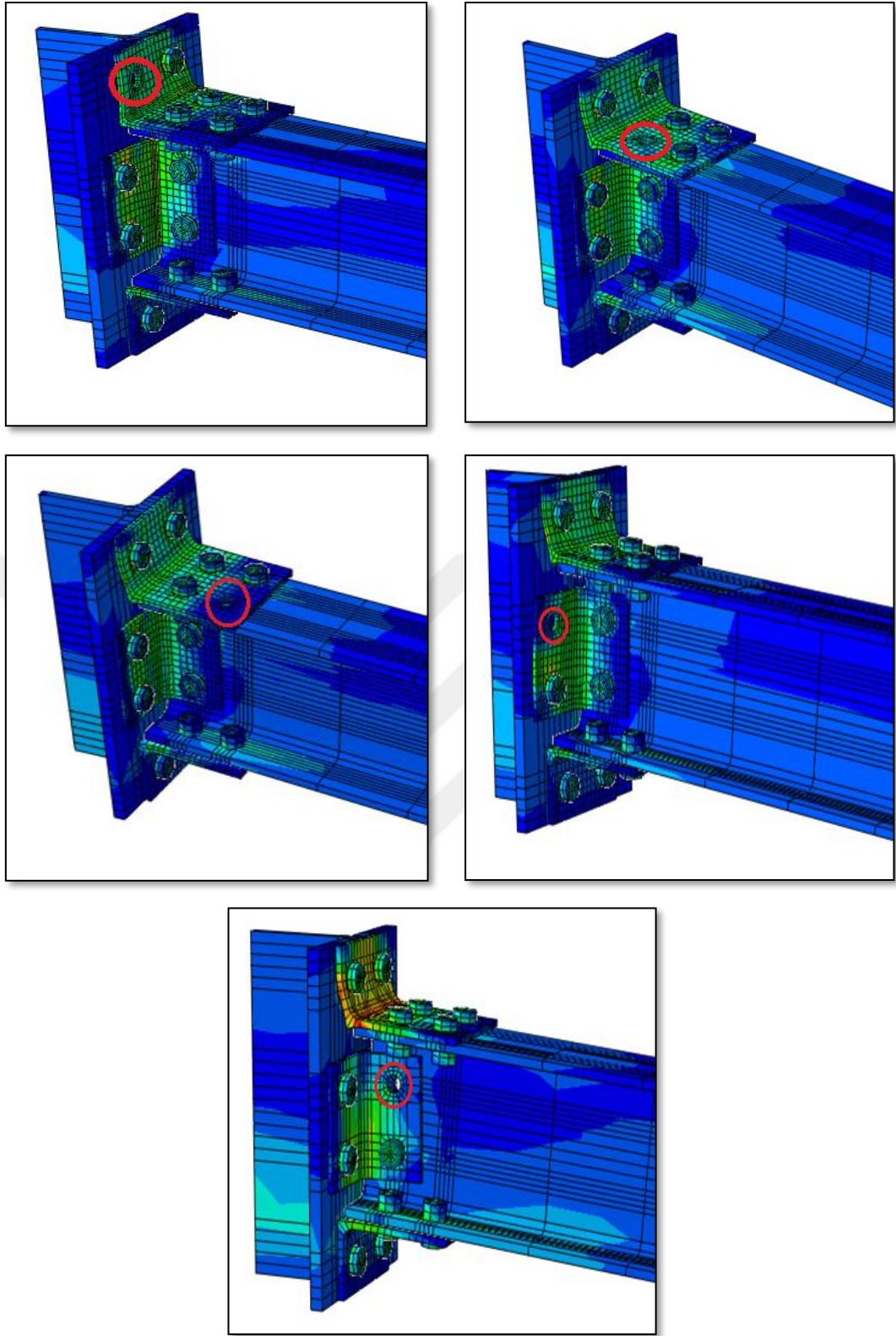
Kiriş ile Kolon Birleşimlerindeki Birtakım İmalat Hatalarının Moment- Dönme İlişkisine Etkisi

4.1 Giriş

Bu bölümde, imalat hatalarını temsil etmek amacıyla bulonlu giriş ile kolon birleşimlerde birer adet bulonun birleşimde yer almaması ve hesap öngerme değerlerinin tam değer olarak uygulanamaması durumları incelenmiş, giriş ile kolon birleşimler için moment-dönme ilişkileri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında Aziznamini'nin [4] çalışmasında sunduğu ve üçüncü bölümde incelenen 8Sx deney seti sonuçları dikkate alınmış ve moment-dönme ilişkileri açısından araştırılmıştır.

4.2 Kiriş ile Kolon Birleşiminde Bir Bulonun Eksik Olması Durumunun İncelenmesi

Bu bölümde Aziznamini'nin [4] 8Sx ile numaralandırdığı birleşimler dikkate alınmış ve birleşimlerde birer adet bulonun çeşitli nedenler ile imal edilemediği durumlar dikkate alınarak moment-dönme ilişkileri elde edilmiştir. Burada amaç, bulonlu sistemlerde karşılaşılabilecek bu tür bir hatanın birleşim davranışına etkisini araştırmaktır. Çalışmada incelenen durumlar ile ilgili açıklama Tablo 4.1 ile sunulmuş olup 8S1 için sonlu elemanlar modelleri Şekil 4.1'de sunulmuştur.

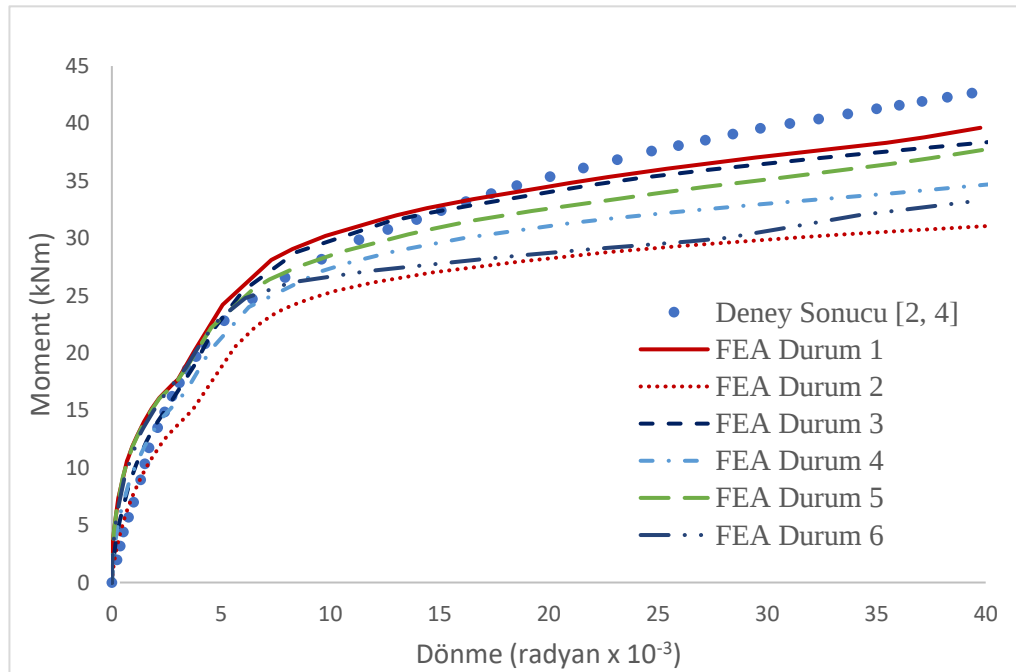


Şekil 4.1: Azizinamini [4] 8S1 deney numunesi için sonlu eleman modeli ve bir bulon eksik imal edilmesi durumları

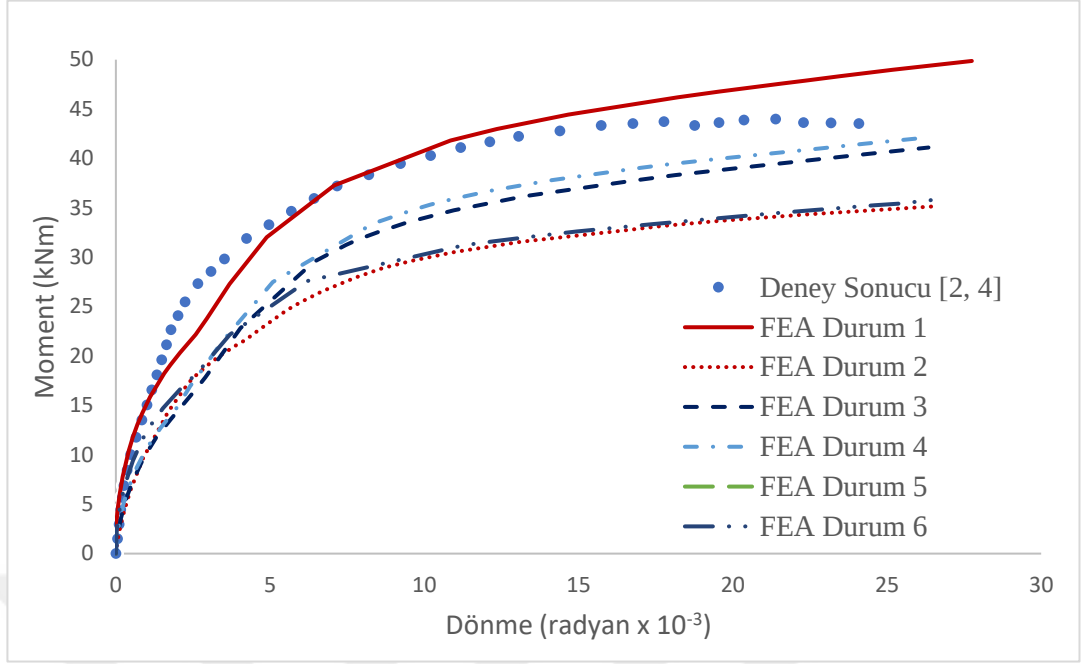
Tablo 4.1: Azizinamini'nin 8Sx modellerine uygulanan durumlar

Durumlar	Açıklama
Durum 1	Azizinamini'nin [4] referans çalışmada yer alan birleşim modeli
Durum 2	Kolona bağlı olan üst korniyerlerden bir bulon eksik olması durumu
Durum 3	Kirişe bağlı olan üst korniyerin birinci sırasından bir bulon eksik olması durumu
Durum 4	Kirişe bağlı olan üst korniyerin ikinci sırasından bir bulon eksik olma durumu
Durum 5	Kolona bağlı olan gövde korniyerin bir bulon eksik olması durumu
Durum 6	Kirişe bağlı olan gövde korniyerin bir bulon eksik olması durumu

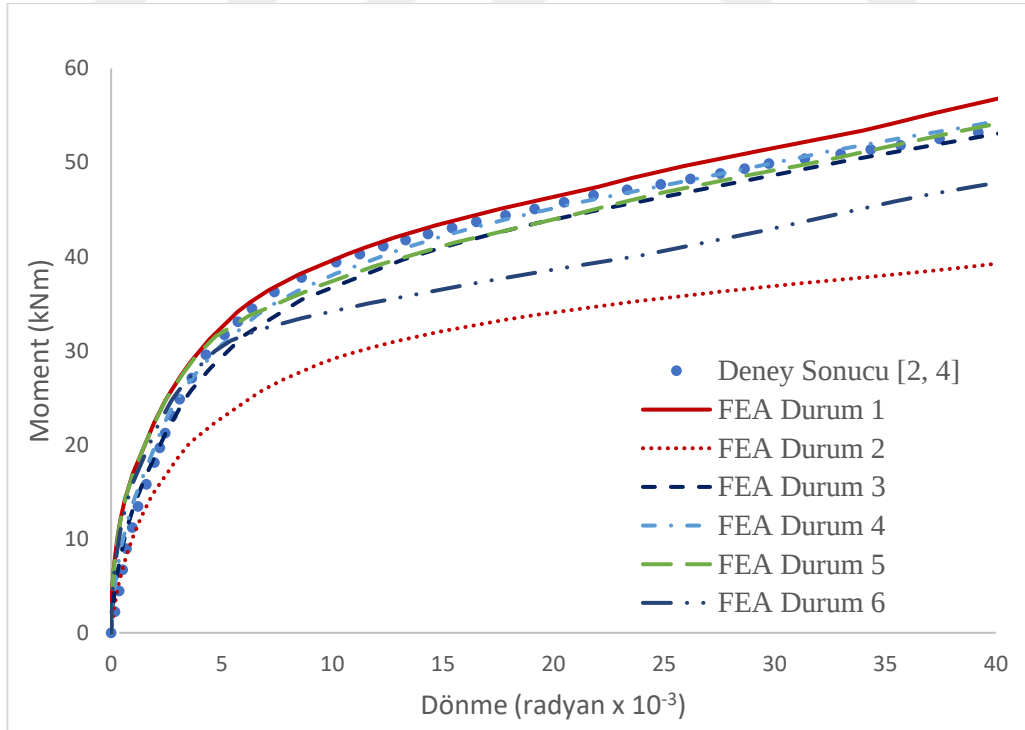
Çalışmada incelenen durumlar 8S1 için verilen Şekil 4.1'de gösterilmiş olup diğer 8Sx serisi deneyler için de benzer şekilde modeller oluşturulmuştur. Tablo 4.1 ile sunulan durumlar için moment-dönme ilişkileri Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



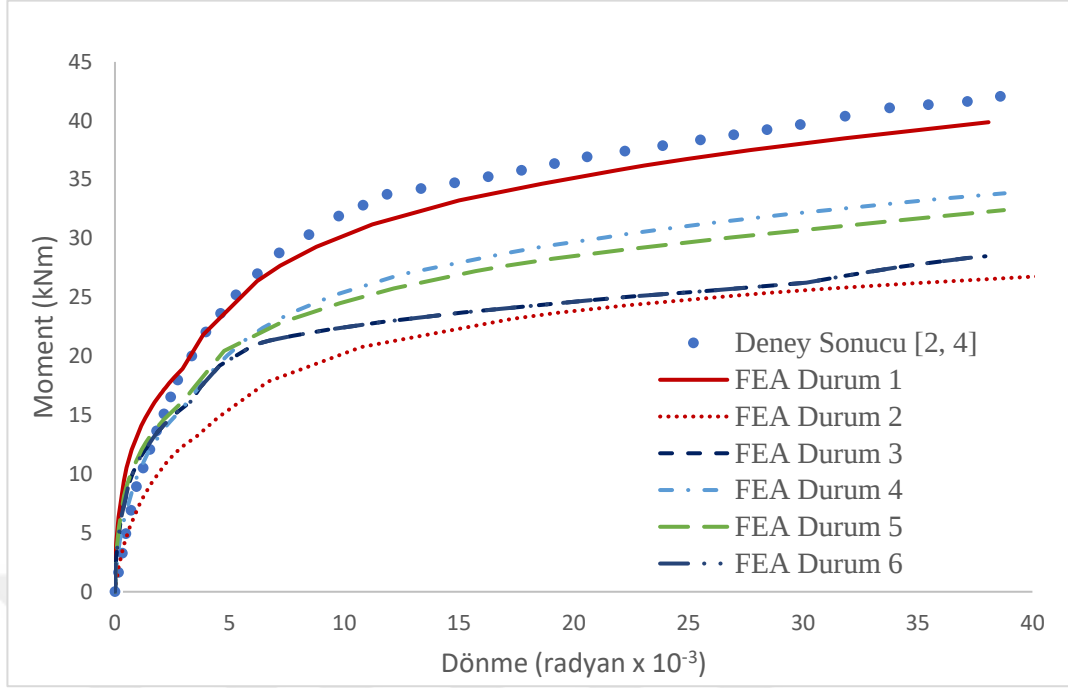
Şekil 4.2: 8S1 için Azizinamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki



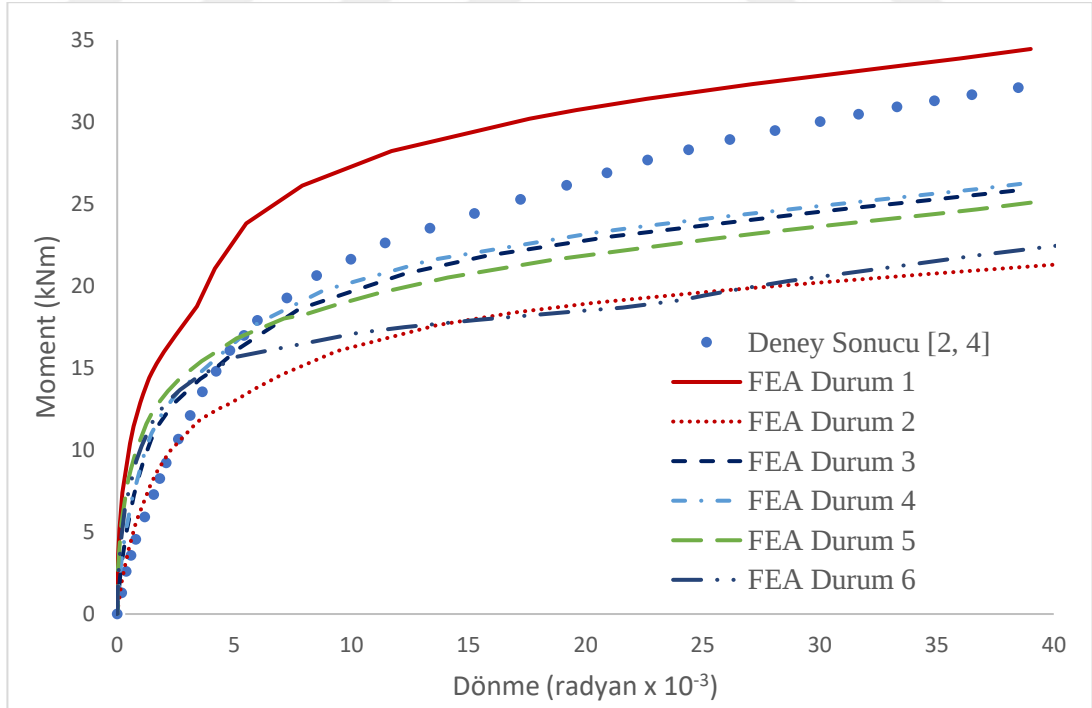
Şekil 4.3: 8S2 için Azizinamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki



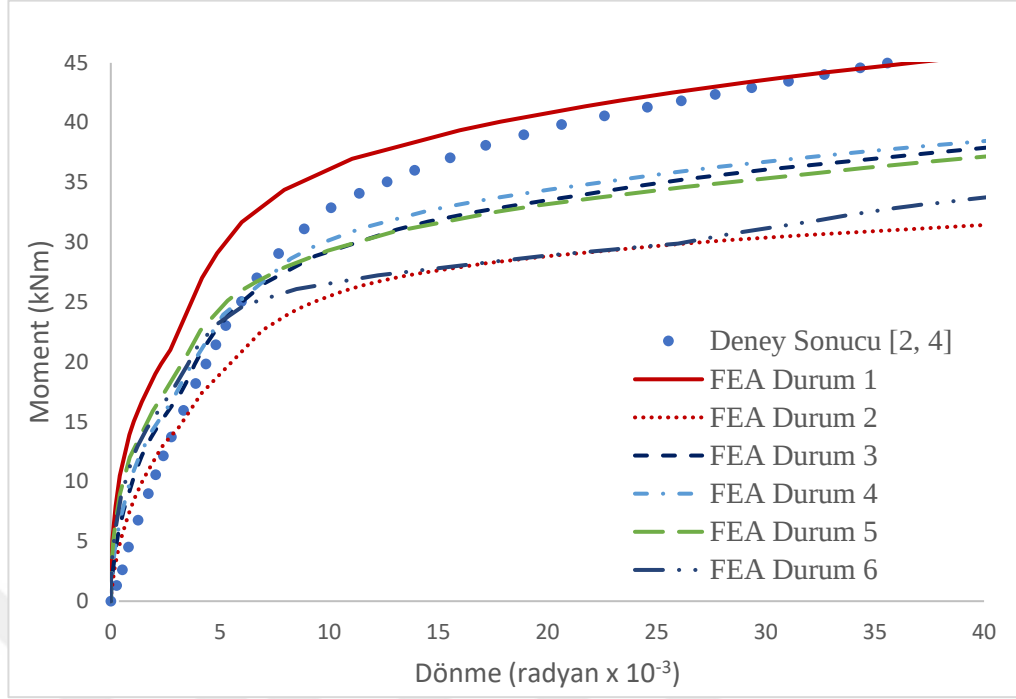
Şekil 4.4: 8S3 için Azizinamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki



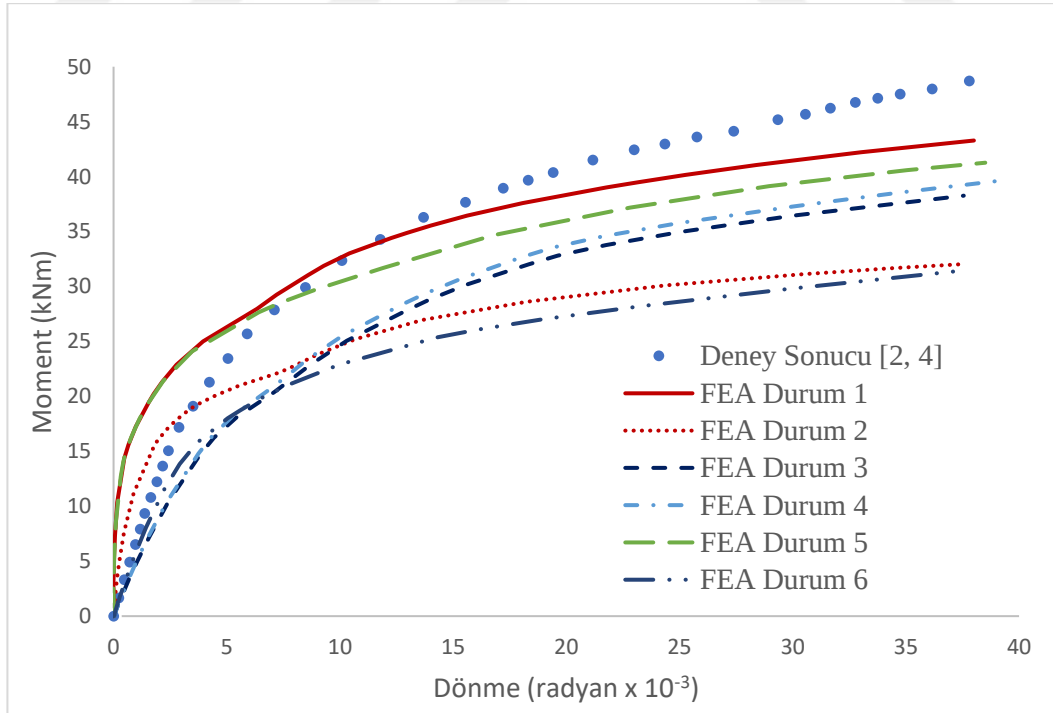
Şekil 4.5: 8S5 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki



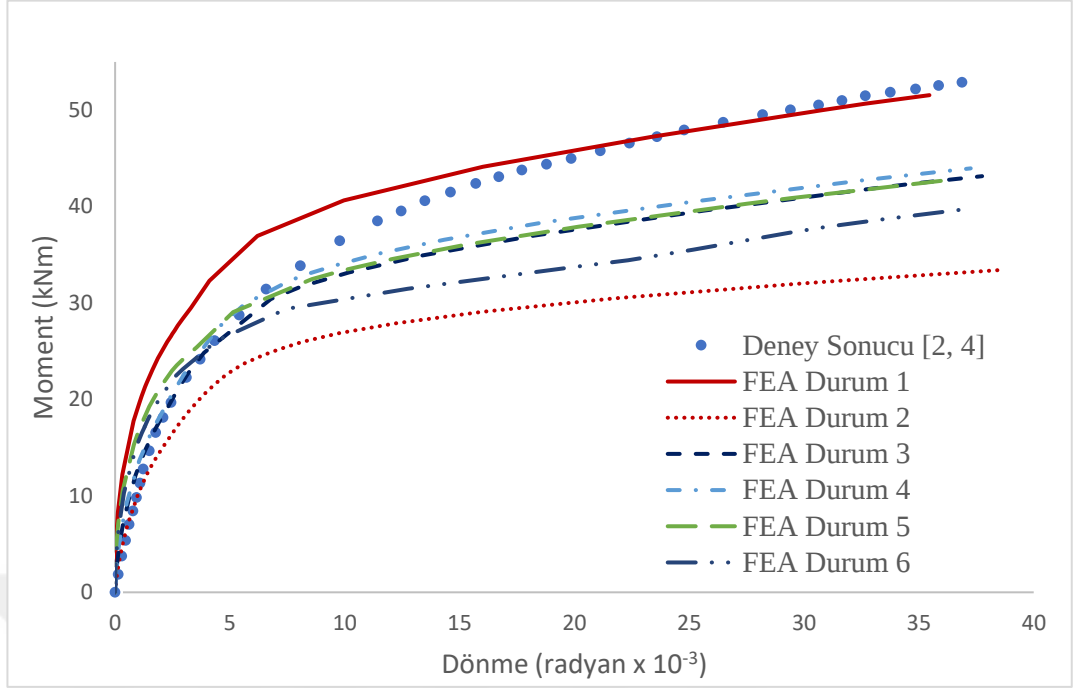
Şekil 4.6: 8S6 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki



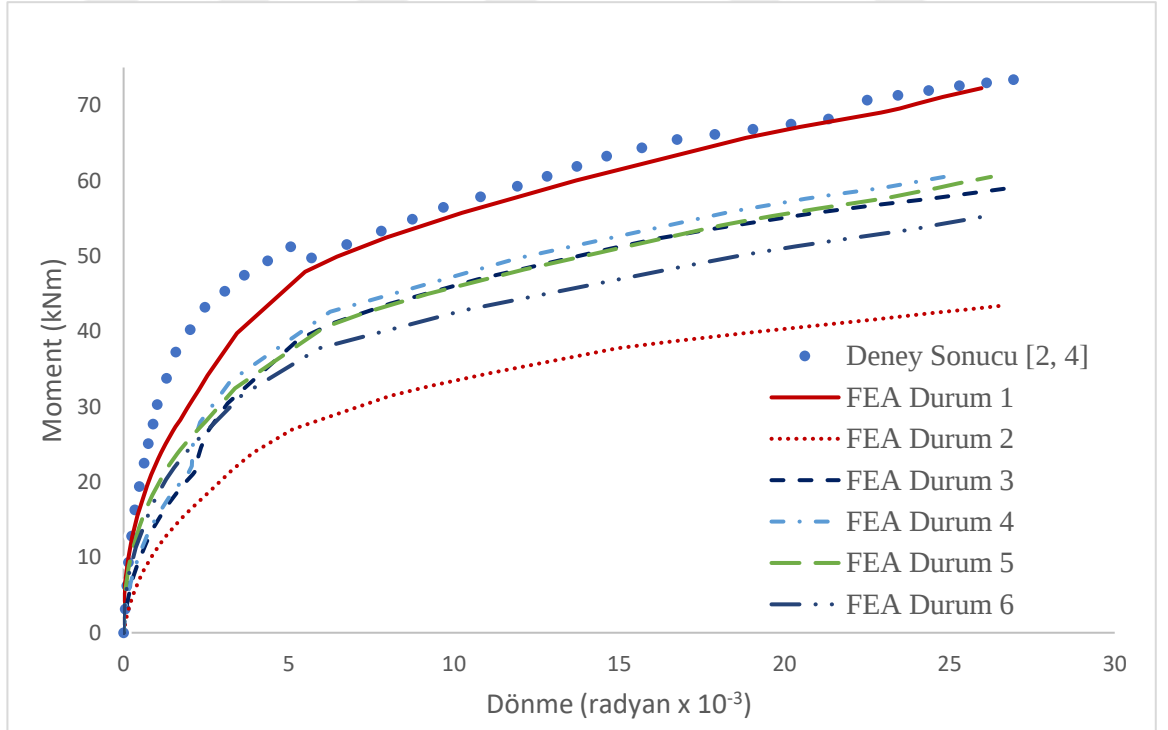
Şekil 4.7: 8S7 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki



Şekil 4.8: 8S8 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki



Şekil 4.9: 8S9 için Azizinamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki



Şekil 4.10: 8S10 için Azizinamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bir bulon eksik olması durumları için moment ile dönme arasındaki ilişki

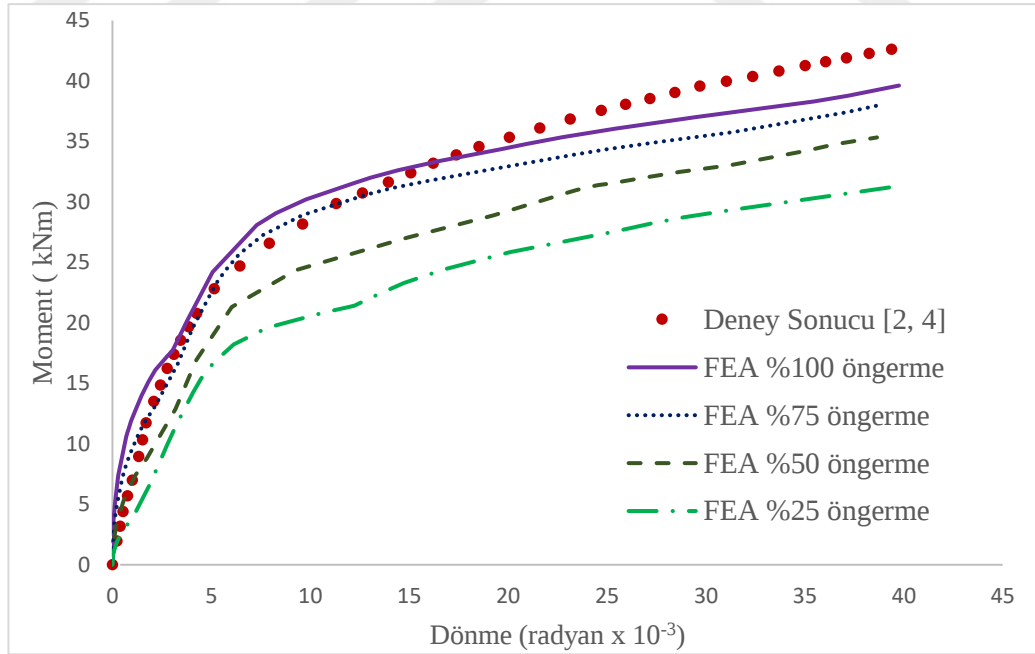
Azizinamini'nin deney sonuçları [2, 4] ve Tablo 4.1'de incelenen durumlar dikkate alınarak birleşimlerdeki nihai moment değerleri ve deney sonuçlarına göre oluşan farklar Tablo 4.2 ile gösterilmiştir.

Tablo 4.2: 8Sx birleşimlerinde incelenen durumlar ve nihai momenti değerleri

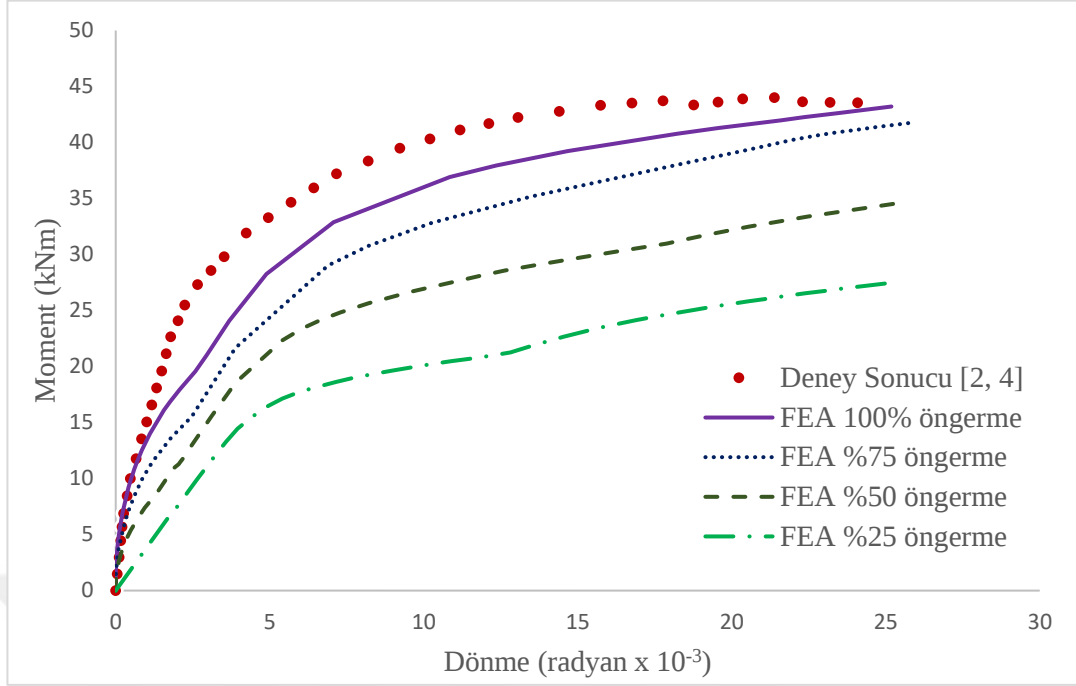
8Sx Birleşimleri		Deney [2,4]	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
8S1	Nihai Moment (kNm)	42,63	39,49	31,10	38,41	34,75	37,75	33,25
	Fark (%)	-	-7,36	-27	-9,89	-18,4	-11,5	22,0
8S2	Nihai Moment (kNm)	43,91	49,57	35,14	41,10	42,12	40,80	35,82
	Fark (%)	-	12,89	-19,97	-6,4	-4,07	-7,08	-18,42
8S3	Nihai Moment (kNm)	53,18	56,30	39,26	53,50	54,74	54,65	48,65
	Fark (%)	-	5,85	-26,6	1,02	2,31	2,15	-9,06
8S5	Nihai Moment (kNm)	42,06	40,01	26,81	28,49	33,83	32,41	28,49
	Fark (%)	-	-4,88	-36,3	-32,3	-19,6	-22,9	-32,3
8S6	Nihai Moment (kNm)	32,08	34,34	21,42	25,87	26,27	25,13	23,17
	Fark (%)	-	7,04	-33,2	-19,4	-18,1	-21,7	-27,8
8S7	Nihai Moment (kNm)	46,50	45,70	31,64	37,96	38,70	37,49	33,89
	Fark (%)	-	-1,73	-32,0	-18,4	-16,8	-19,4	-27,1
8S8	Nihai Moment (kNm)	48,72	43,26	32,04	38,26	39,58	41,26	31,44
	Fark (%)	-	-11,19	-34,2	-21,5	-18,8	-15,3	-35,5
8S9	Nihai Moment (kNm)	52,89	52,02	33,43	43,15	43,96	42,80	39,70
	Fark (%)	-	-1,64	-36,8	-18,4	-16,9	-19,1	-24,9
8S10	Nihai Moment (kNm)	73,37	73,30	43,40	59,04	60,66	60,49	55,49
	Fark (%)	-	-0,09	-40,8	-19,5	-17,3	-17,6	-24,4

4.3 Kiriş ile Kolon Birleşiminde Bulon Öngerme Değerlerinin Hesaplanandan Farklı Uygulanması Durumunun İncelenmesi

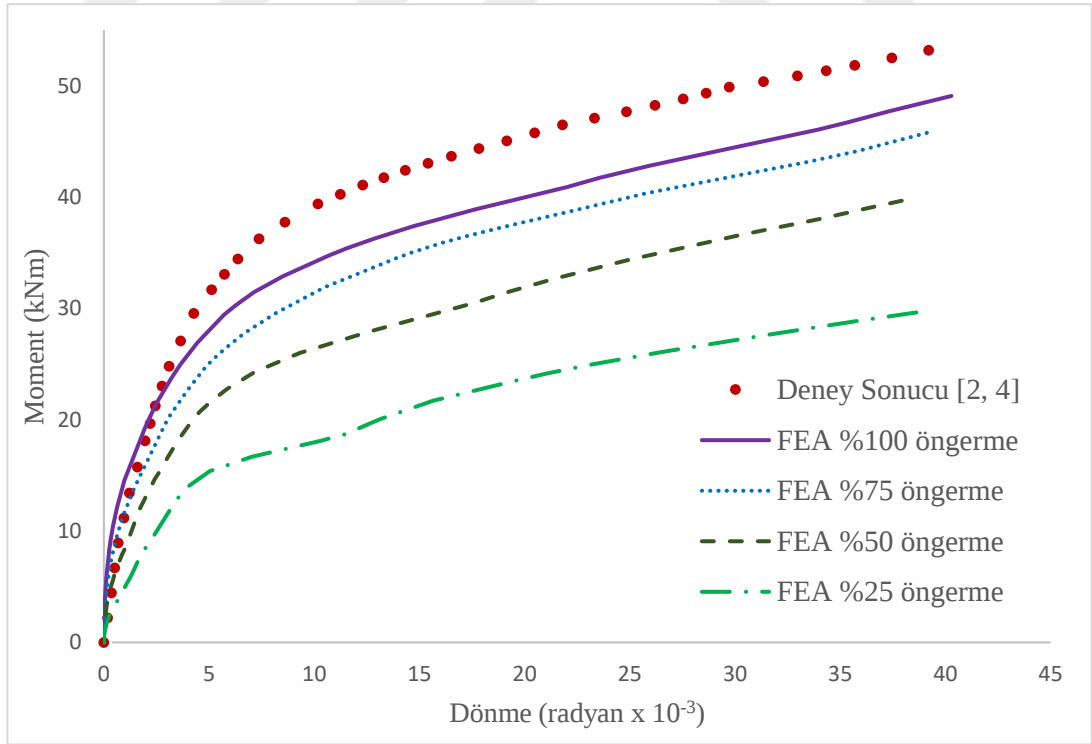
İmalat hatalarından biri de bulonlara uygulanan öngermelerin hesap değerinden farklı olması durumudur. Bu durumu inceleyebilmek ve kiriş ile kolon birleşim davranışı üzerine etkilerini görebilmek amacıyla Aziznami'nin [2,4] deney elemanlarından 8Sx serisi dikkate alınmış ve farklı öngerme değerleri uygulanarak sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Bulon öngerme kuvvetleri için dört farklı; %100 (133kN), %75 (100kN), %50 (66.5kN) ve %25 (33.25kN) esas alınmış ve bu öngerme değerleri sonlu elemanlar yazımı ile birleşimlere tanımlanmıştır. Bulon öngerme değerlerinin değişimi ile ilgili sonuçları görmek amacıyla sonlu elemanlar analiz sonuçları ile Aziznami'nin [2,4]'nin 8Sx deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Aziznami'nin [2,4]'nin 8Sx serisi için sonuçlar sırasıyla Şekil 4.11 - Şekil 4.19'da verilmiştir.



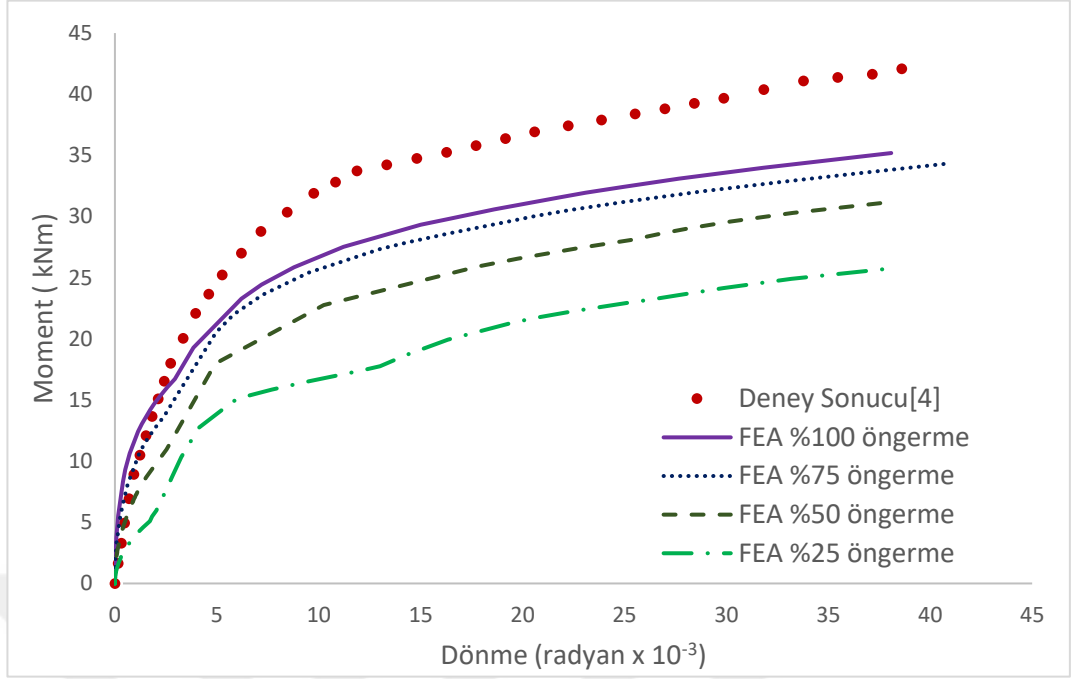
Şekil 4.11: 8S1 için Aziznami'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki



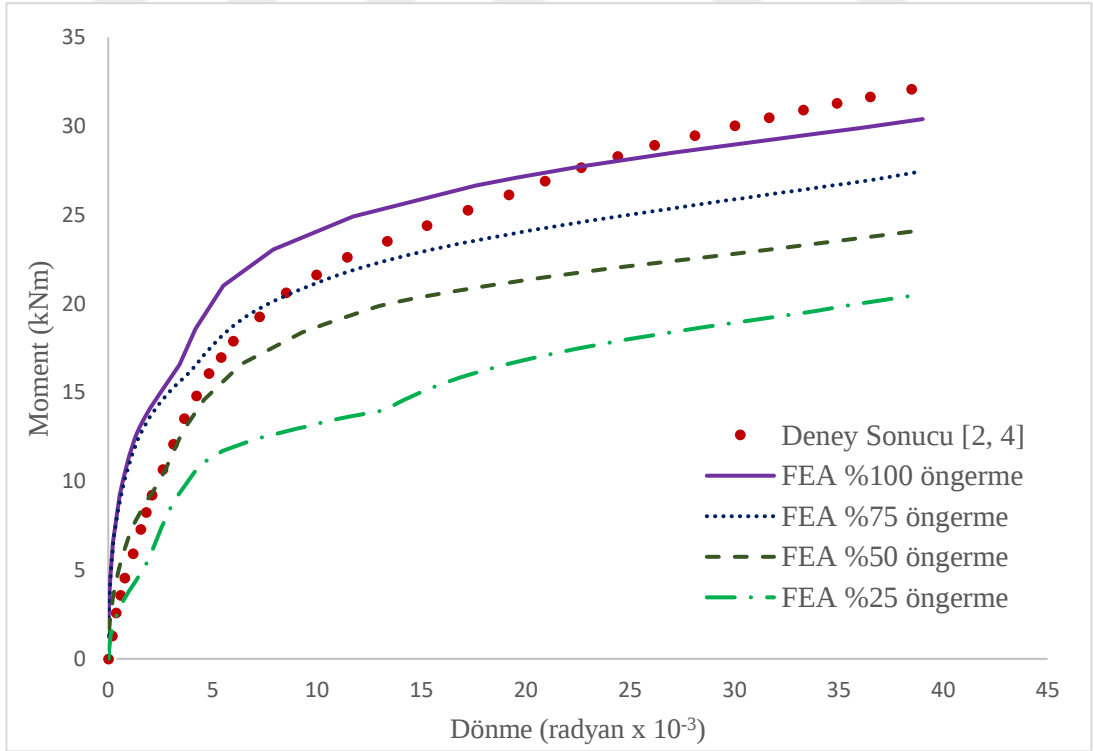
Şekil 4.12: 8S2 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki



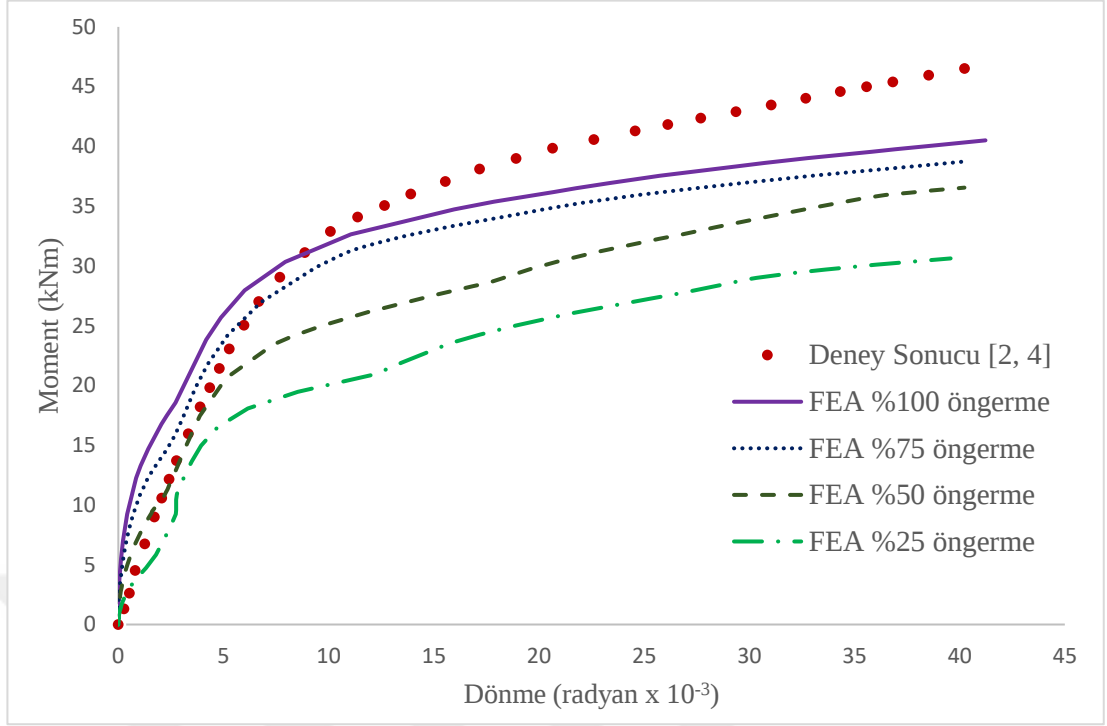
Şekil 4.13: 8S3 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki



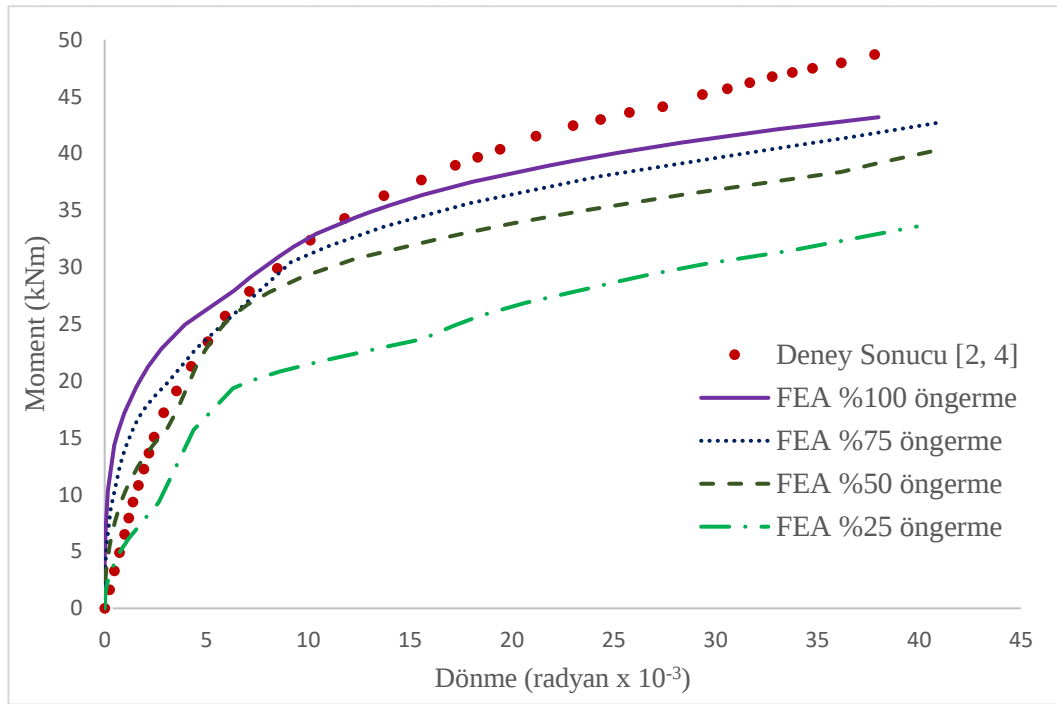
Şekil 4.14: 8S5 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki



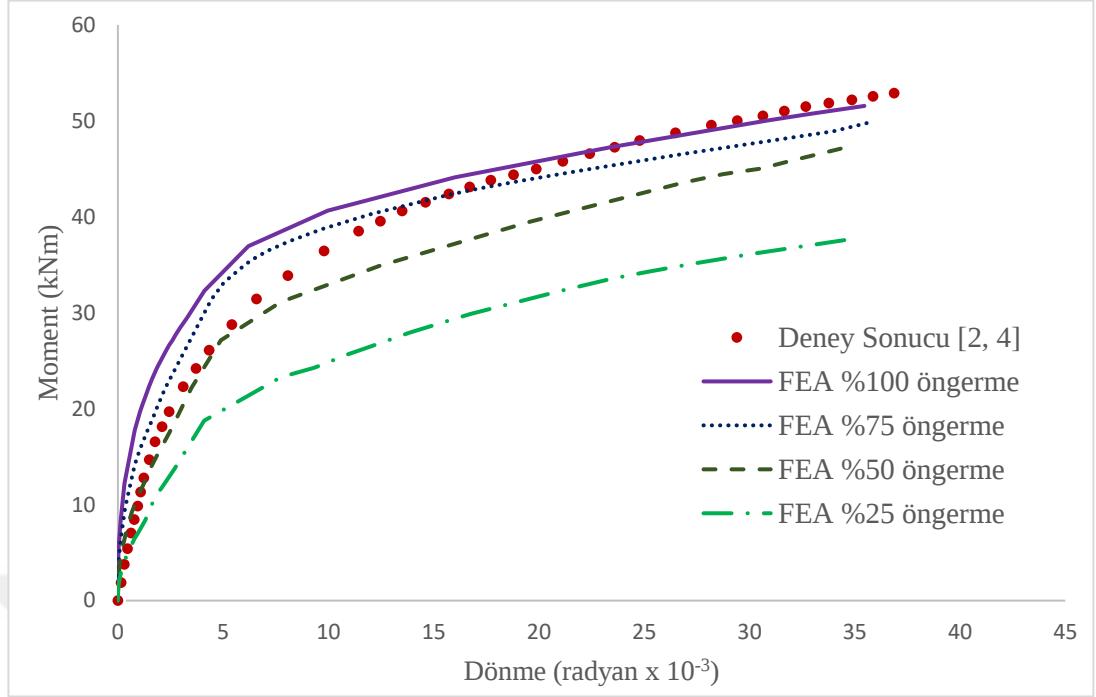
Şekil 4.15: 8S6 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki



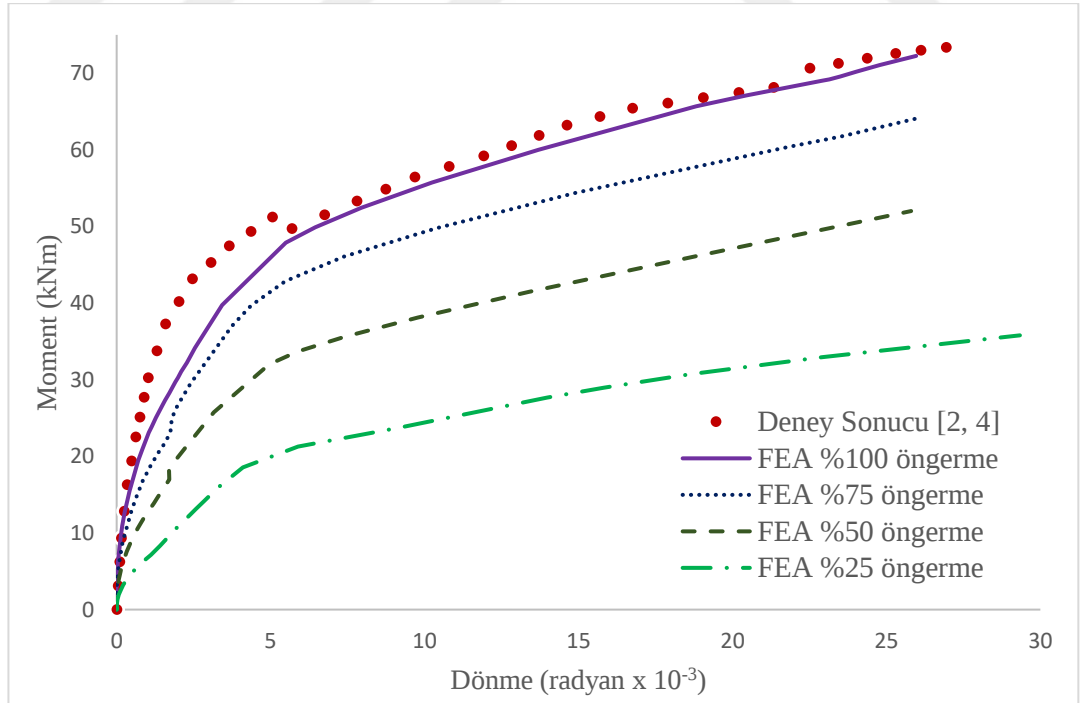
Şekil 4.16: 8S7 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki



Şekil 4.17: 8S8 için Aziznamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki



Şekil 4.18: 8S9 için Azizinamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki



Şekil 4.19: 8S10 için Azizinamini'nin deney sonucu [2, 4] ve bulon öngerme oranları için için moment ile dönme arasındaki ilişki

Azizinami'nin 8Sx için deneyleri [2, 4] ve farklı öngerme oranları dikkate alınarak yapılan sonlu elemanlar analizleri sonuçları birleşimler için elde edilen nihai moment değerleri ve deney sonuçlarına göre oluşan farklar Tablo 4.3 ile gösterilmiştir.

Tablo 4.3: 8Sx birleşimlerinin bulon öngerme oranları ve nihai moment değerleri

Numune Numarası	Azizinami Deney Sonucu (kNm) [2,4]	Tam Öngerme Durumu							
		Tam Öngerme Durumu		Tam Öngerme Durumu					
		%100 Öngerme (kNm)	Fark (%)	%75 Öngerme (kNm)	Fark (%)	%50 Öngerme (kNm)	Fark (%)	%25 Öngerme (kNm)	Fark (%)
8S1	42,6	39,49	-7,3	38,0	-10,8	35,3	-17,1	31,3	-26,4
8S2	43,9	49,57	12,8	41,7	-4,9	34,6	-19,9	27,5	-27,5
8S3	53,1	56,30	5,8	45,8	-13,7	39,7	-25	29,8	-43,7
8S5	42,0	40,01	-4,8	34,3	-11,0	31,1	-19,3	25,8	-33,1
8S6	32,0	34,34	7,0	27,4	-14,2	24,1	-24,5	20,5	-35,9
8S7	46,5	45,70	-1,7	38,7	-16,6	36,5	-21,3	30,6	-34,1
8S8	48,7	43,26	-11	42,7	-12,2	40,3	-17,2	33,5	-31,0
8S9	52,8	52,02	-1,6	49,9	-5,4	47,1	-10,7	37,6	-28,7
8S10	73,4	73,3	0,1	64,2	-12,3	52	-29	35,7	-51,2

4.4 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bir bulon olmaması durumu için analiz sonuçları incelendiğinde, Durum 2 ile ifade edilen kolona bağlanan bir bulonun olmaması durumu moment-dönme ilişkisini büyük oranda etkilemektedir. Gövde korniyerdeki bulonlardan ise kirişe bağlı olan korniyerden bir bulon olmaması 8S8 modelinde %35,5 düşüş oranla ikinci riski durum olarak görülmektedir halbuki kolona bağlı olan gövde korniyerden bir bulon çıkardığımızda daha az etki göstermiştir. Bunun nedenini, kirişteki gövde korniyerler tek bulonla, kolondaki ise ayrı bulonlarla bağlı olduğundan dolayı diyebiliriz. Bulon öngerme davranışlarına gelince, öngerme değerin %25 olarak tanımlandığında 8S10 modelinde %51,2 oranında azalma olduğu görülmektedir.

Bölüm 5

Kiriş ile Kolon Birleşimlerinin Yarı-Rijit Modellendiği Çelik Çerçeveler

5.1 Giriş

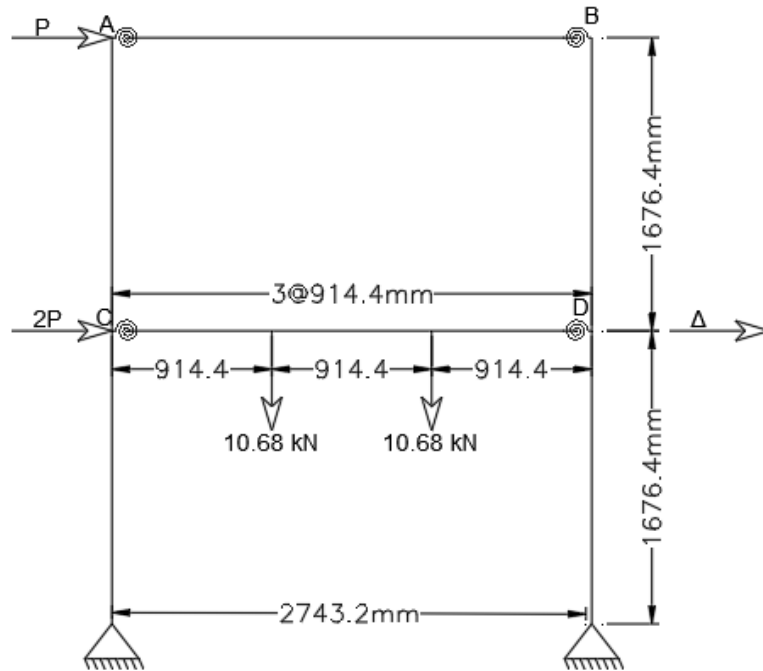
Bu bölümde, giriş ile kolon birleşimlerinin yarı-rijit modellendiği çelik çerçevelerin sayısal uygulamaları yapılmıştır. Sayısal uygulamalar için literatürde yer alan farklı özelliklere sahip çelik çerçeveler seçilmiştir. Literatürde yer alan çalışmaların büyük çoğunluğunda birleşimle ilgili tüm detaylar açık şekilde verilmemiş, ancak giriş ile kolon birleşimlerinin moment-dönme ilişkileri verilmiştir. Bu nedenle, literatürde yer alan çerçevelerin moment-dönme ilişkileri dikkate alınarak sonlu elemanlar yöntemi ile çerçeveler modellenmiştir. Çalışmada, B-31 çubuk elemanı kullanılmış, malzeme özellikleri ise doğrusal olmayan malzeme değerleri olarak tanımlanmıştır. Yarı-rijit davranışını tanımlamak için çerçevelerin düğüm noktalarında konektör kullanılarak düğüm noktalarına ait birleşimlerin moment-dönme davranışları tanımlanmıştır.

5.2 Sayısal Uygulamalar

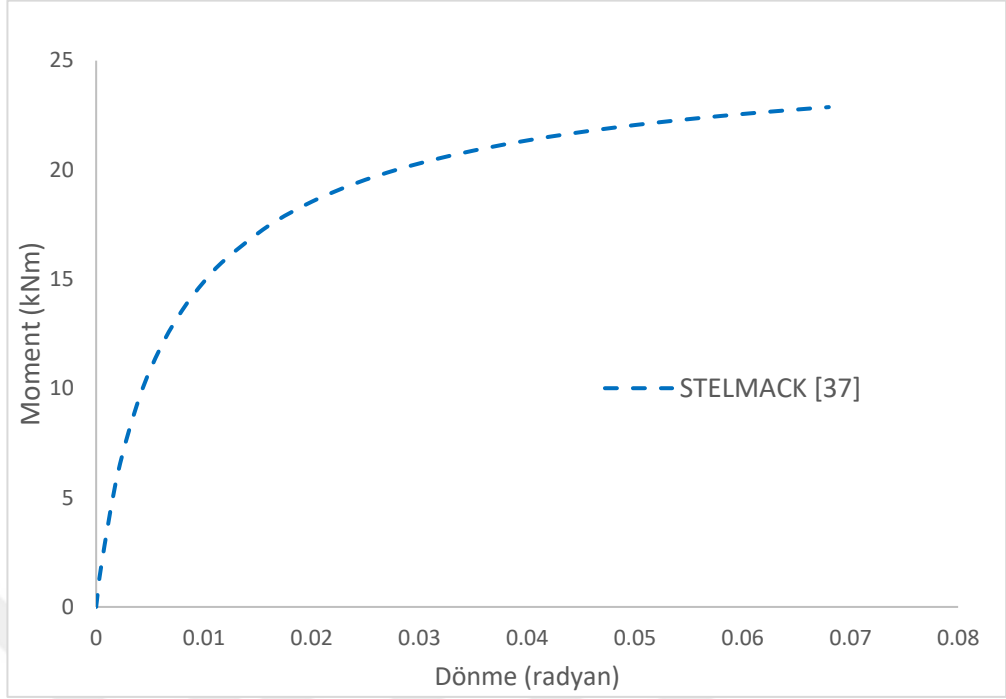
Literatürde yer alan çelik çerçeveler bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Sayısal uygulamalar için; Stelmack'ın tek açıklıklı iki katlı ve iki açıklıklı tek katlı yarı rijit birleşimli çerçevesi [37], Vogel'in tek katlı tek açıklıklı çerçevesi [38], Chen'in iki katlı çerçevesi [42], Lui ve Chen'in iki katlı ve üç katlı çerçeveleri [43] dikkate alınmış ve sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir.

5.2.1 Stelmack'ın Çelik Çerçevelerinin İncelenmesi

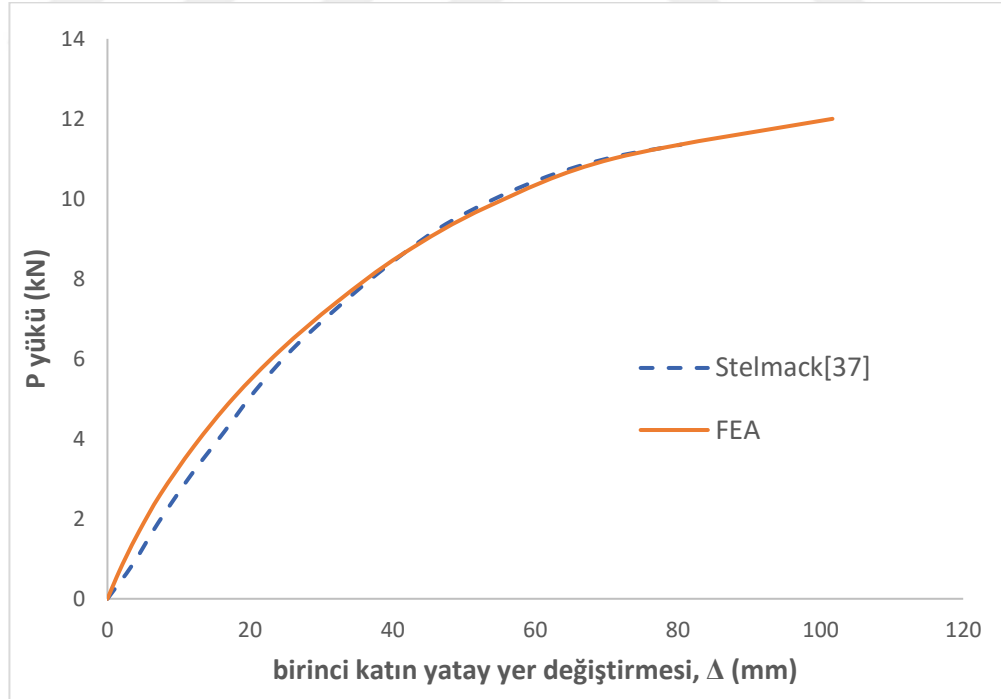
Şekil 5.1'de gösterilen iki katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçeve Stelmack tarafından test edilmiştir [37]. Tüm çerçeve elemanları için A36 çeliği ve W5x16 çelik profil kullanılmıştır. Çerçevenin birleşim elemanları; A36 sınıf çelik malzemeli L4x4x1/2 korniyerler ve A325 sınıf çelik malzemeli ¾ inç (19 mm) çaplı bulonlar ile oluşturulmuştur. Birleşim için alt ve üst korniyerli birleşim tipi seçilmiş ve birleşimin moment-dönme davranışı Şekil 5.2'de sunulmuştur [37]. Stelmack tarafından yapılan deneyler ile çelik kiriş ile kolon birleşim için moment-dönme ilişkisi elde edilmiş ve Kishi ve Chen'in Üç Parametrelili Power Modeli ile deney sonuçlarına matematiksel bir fonksiyon uygulanmıştır. Burada ilgili model parameteleri için; $R_{ki} = 4,463 \text{ kNm/rad}$, $M_u = 26 \text{ kNm}$, $n = 0,87$ olarak belirlenmiştir. Düşey yükler birinci kat kirişine uygulanmış ve yatay yükler Şekil 5.1'deki gibi çerçevenin üzerindeki düğüm noktalara uygulanmıştır. Analiz sonuçları ile Stelmack [37, 46] deney sonuçları Şekil 5.3'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.1: Stelmack'ın [37] iki katlı ve tek açıklıklı çerçevesi

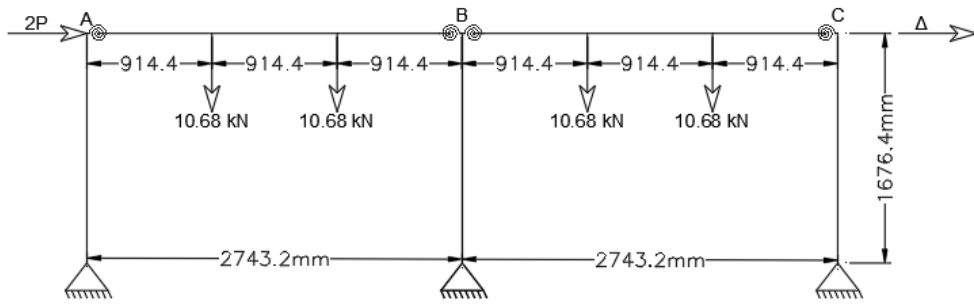


Şekil 5.2: Stelmack'ın [37] çerçevesindeki birleşimlerin moment - dönme ilişkisi

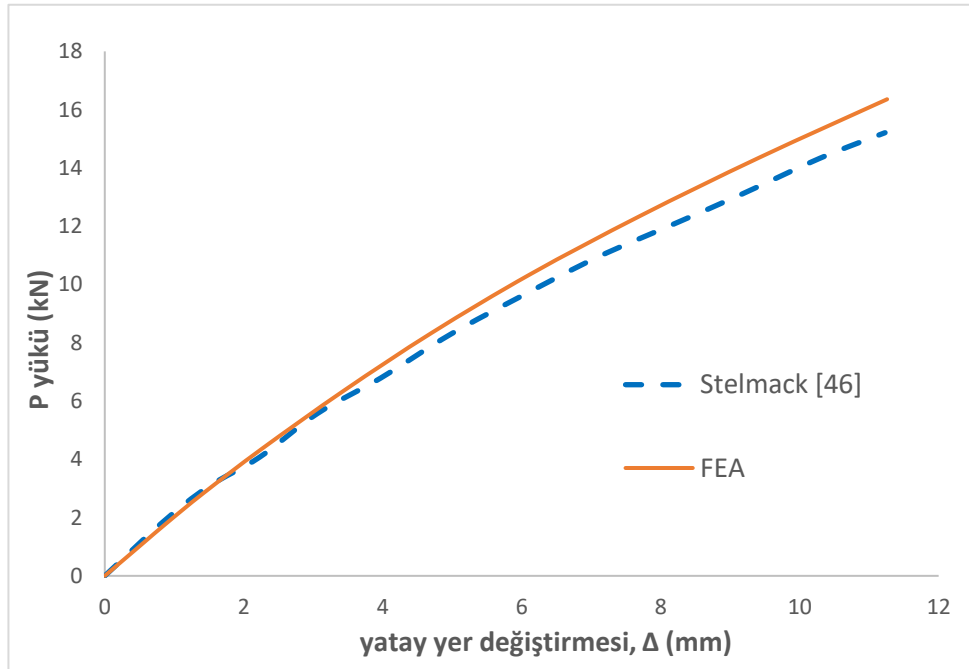


Şekil 5.3: İki katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçevenin yatay yük ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

Şekil 5.4’de gösterilen iki açıklıklı ve tek katlı yarı-rijit birleşimli çelik çerçeve Stelmack tarafından test edilmiştir [37, 46]. Bu çerçeve için kullanılan birleşimin özellikleri iki katlı ve tek açıklıklı yarı rijit birleşimli çerçeve ile aynıdır. Bu nedenle, kiriş ile kolon birleşiminin moment-dönme ilişkisi Şekil 5.2’de verildiği şekildedir. Yükleme detayları Şekil 5.4’den görülebileceği şekilde olup, düşey yükler sabit tutularak çerçeve sistemin yatay yüklemesindeki değişime karşılık kat yatay yer değiştirmesindeki değişim araştırılmıştır. Analiz sonuçları ile Stelmack [37, 46] deney sonuçları Şekil 5.5’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir



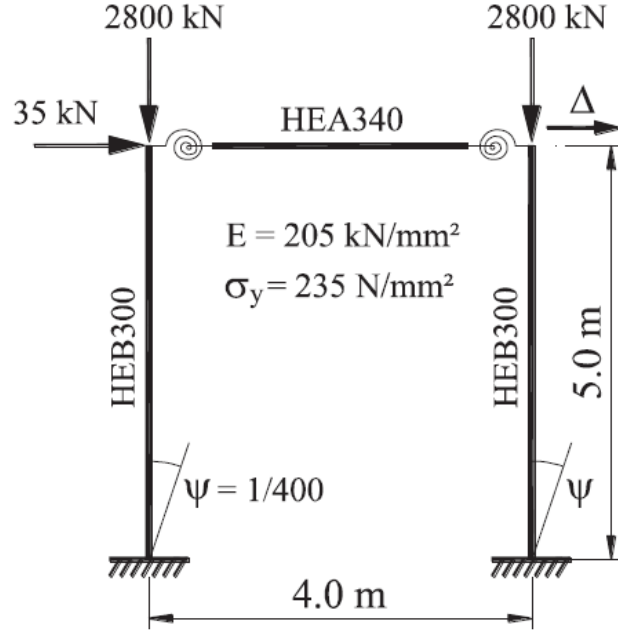
Şekil 5.4: Stelmack'ın [37] iki açıklıklı ve tek katlı çerçevesi



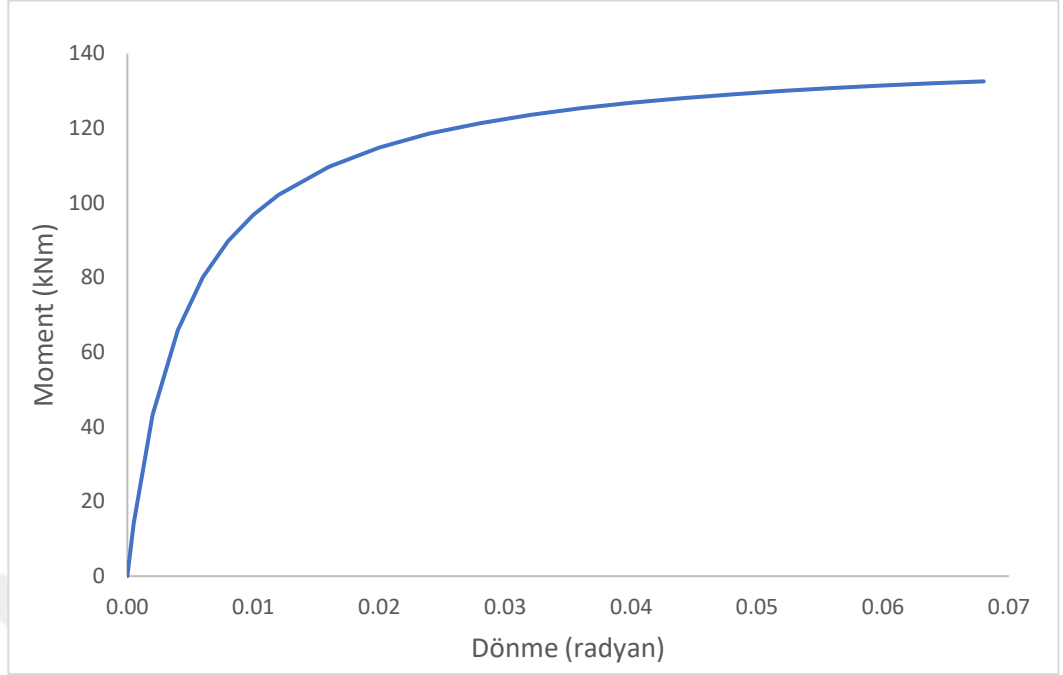
Şekil 5.5: Tek katlı ve iki açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçevenin yatay yük ile kolon tepe noktası yatay yer değiştirmesi ilişkisi

5.2.2 Vogel'in Tek Katlı ve Tek Açıklıklı Çelik Çerçevesinin İncelenmesi

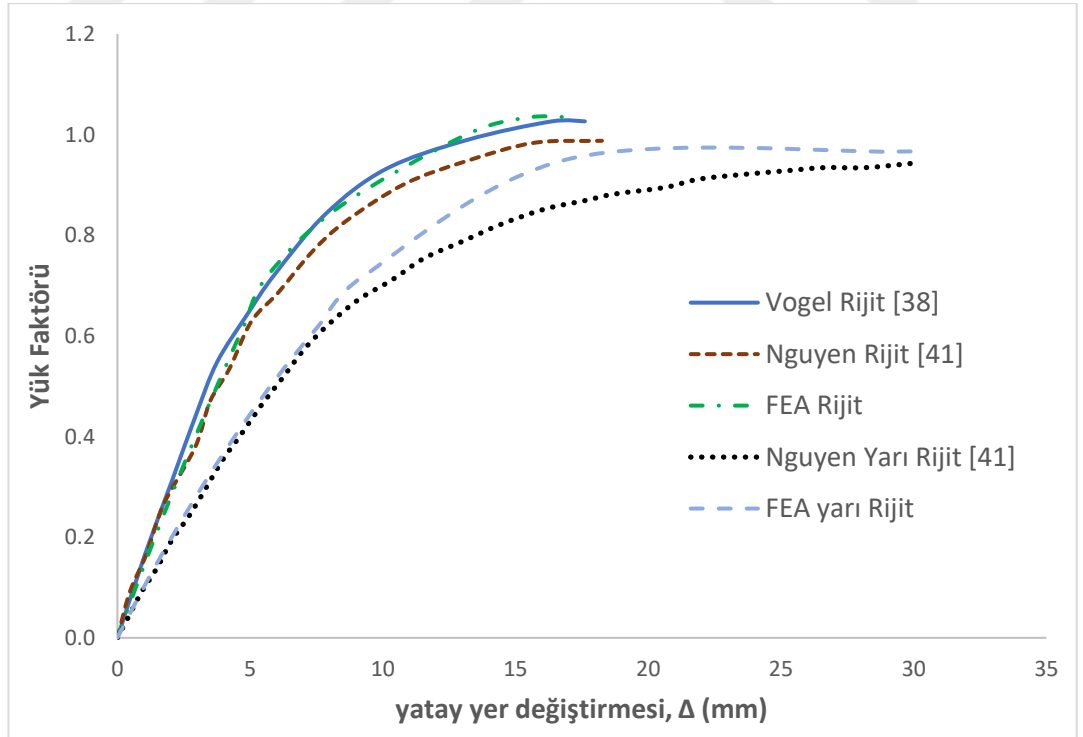
Tek katlı ve tek açıklıklı bir çelik çerçeve Vogel [38] tarafından bir kalibrasyon çerçevesi olarak incelenmiştir. Tek katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çerçeve Şekil 5.6 ile sunulmuştur [41]. Bu çerçevedenin kiriş ile kolon birleşimlerinin moment-dönme ilişkisinin modellenmesinde Kishi-Chen power modeli kullanılmış olup, model parametreleri $R_{ki} = 31,635 \text{ kNm/rad}$, $M_u = 142 \text{ kNm}$ ve $n = 0,98$ 'dir. Çerçevenin imalat kusurunu ifade eden $1/400$ 'lük dönme eşdeğer yatay statik yük verilerek modele dahil edilmiştir. Tek katlı ve tek açıklıklı rijit ve yarı-rijit birleşimli çerçeve modelleri sonlu elemanlar yöntemi ile ayrı ayrı analiz edilmiş ve Nguyen [41]'in sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Rijit durum için yük parametresi sonlu elemanlar analizinde 1,03, Vogel'in [38] çalışmasında 1,022, Nguyen'ın [41] çalışmasında ise 1,009'dir. Yarı-rijit birleşim modeli dikkate alınması durumunda ise yük parametresi sonlu elemanlar analizinde 0,952, Nguyen'ın [41] çalışmasında 0,924'dür.



Şekil 5.6: Vogel'in tek katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçevesi [41]



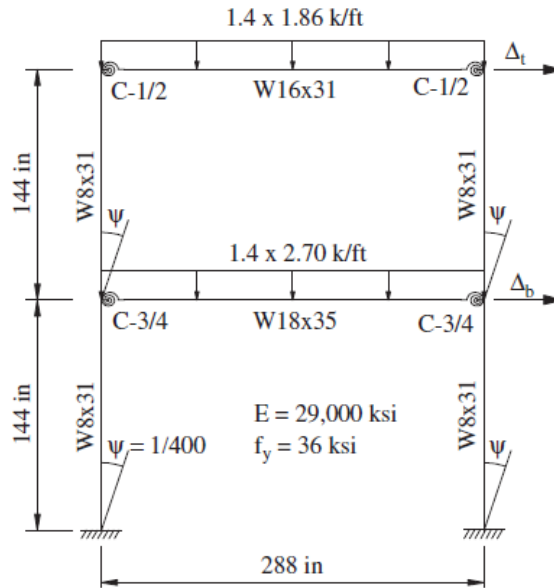
Şekil 5.7: Tek katlı ve tek açıklıklı çerçevenin kiriş ile kolon birleşimlerinin Power Modeli ile hesaplanan moment-dönme ilişkisi



Şekil 5.8: Tek katlı ve tek açıklıklı rijit ve yarı-rijit çerçevelerin yük faktörü ile çerçeve tepe noktası yatay yer değiştirmesi ilişkisi

5.2.3 Chen'in İki Katlı ve Tek Açıklıklı Çelik Çerçevesinin İncelenmesi

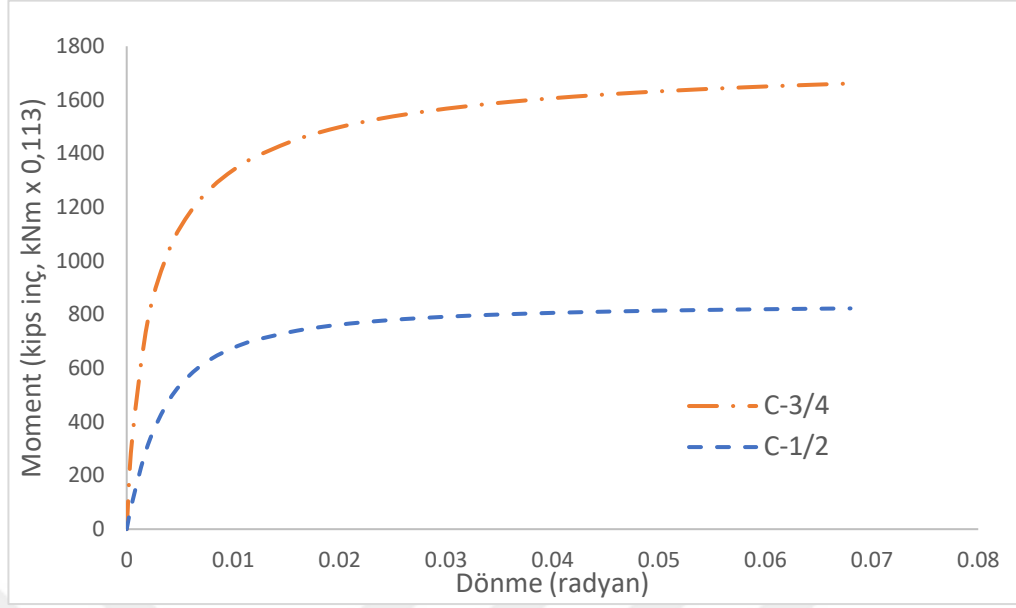
Şekil 5.9'da gösterilen iki katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçeve Chen vd. [42] tarafından geliştirilmiş bir yazılım ile tasarlanmıştır. Çelik çerçevenin kolonları W8x31, kirişleri ise birinci katta W16x35, ikinci katta ise W18x31'dir olup, çelik çerçeve Şekil 5.9 ile sunulmuştur. İkinci kattaki kiriş ile kolon birleşimi C-1/2, birinci kattaki kiriş ile kolon birleşimi ise C-3/4 ile ifade edilmiştir. Bu kiriş ile kolon birleşimleri için moment-dönme ilişkileri Chen vd. [42] tarafından birleşimlerin malzeme ve geometrik özellikleri dikkate alınarak Kishi-Chen Power Modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Chen vd. [42] tarafından C-1/2 ve C-3/4 birleşimleri için dikkate alınan model parametreleri Tablo 5.1 ile verilmiş olup, birleşimler için moment-dönme ilişkileri Şekil 5.10 ile sunulmuştur.



Şekil 5.9: Chen'in iki katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçevesi [40]

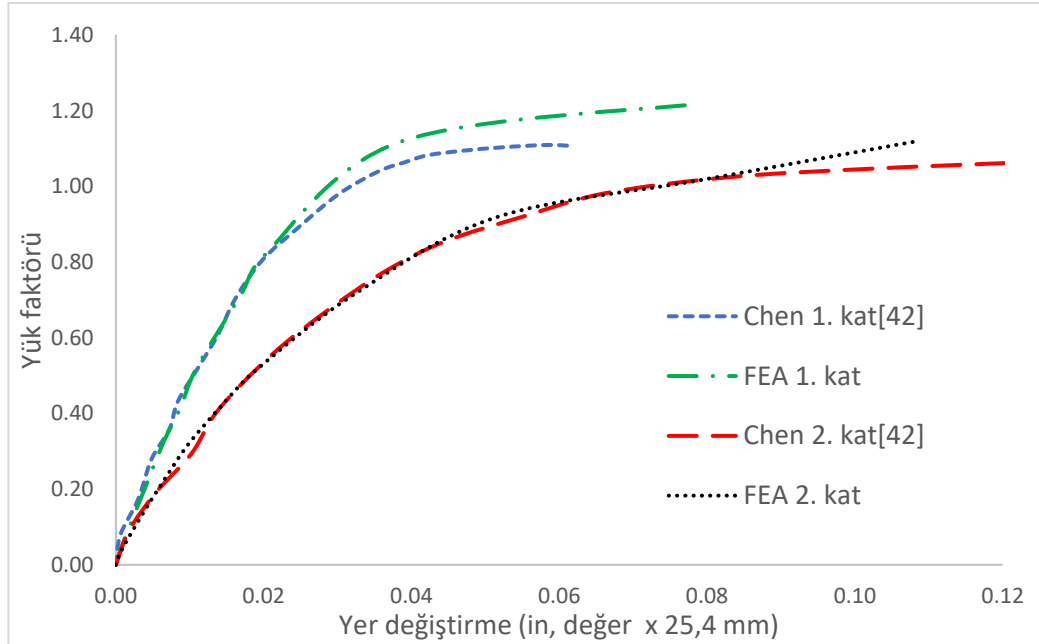
Tablo 5.1: Kiriş ile kolon birleşimleri için model parametreleri [40]

Birleşim türü	M_u (kips in.)	R_{ki} (kips in./rad)	n
C-1/2	841	205,924	1,27
C-3/4	1.773	954,014	0,81



Şekil 5.10: Kiriş ile kolon birleşimleri için moment dönme ilişkileri [40]

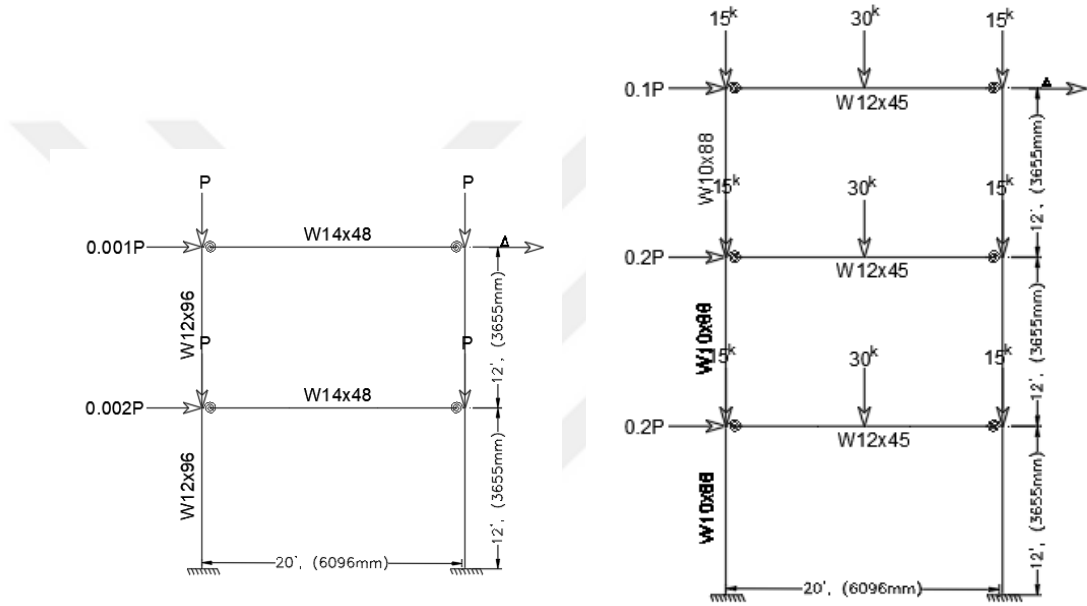
İki katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çerçevenin analiz sonuçları ile Chen vd. [42] tarafından verilen sonuçlar Şekil 5.11 ile verilmiştir.



Şekil 5.11: İki katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçevenin yük ile birinci ve ikinci katlar için yatay yer değiştirme ilişkileri

5.2.4 Lui ve Chen'in Çelik Çerçevelerinin İncelenmesi

Lui ve Chen [43] tarafından yarı-rijit birleşimli iki farklı çelik çerçeve incelenmiştir. İlk incelenen çerçeve, iki katlı ve tek açıklıklı olup Şekil 5.12 ile verilmiş, ikinci incelenen çerçeve ise üç katlı ve tek açıklıklı olup Şekil 5.13 ile gösterilmiştir. İki katlı çerçevenin kirişleri W14x48, kolonları W12x96 kesitler ile oluşturulmuş, üç katlı çerçevenin kirişleri W12x45, kolonları W10x88 kesitler ile tasarlanmıştır [43].



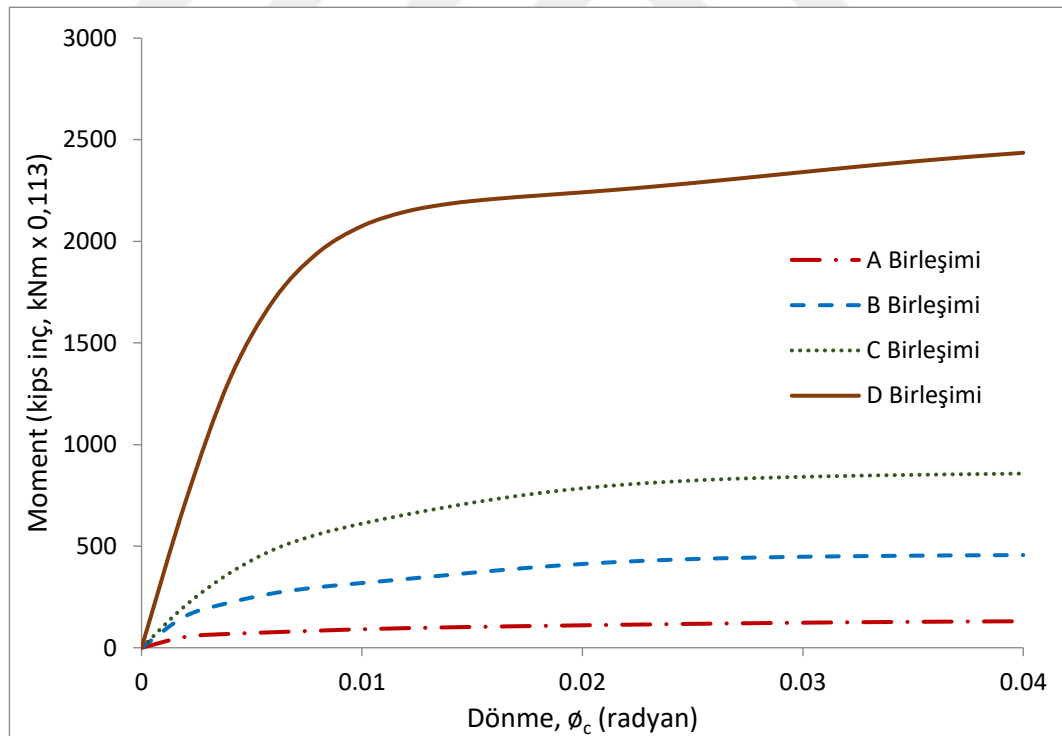
Şekil 5.12: Lui ve Chen'in iki ve üç katlı çerçeveleri

Lui ve Chen [43] çalışmalarında rijit birleşimin yanı sıra dört adet farklı kiriş ile kolon birleşimi kullanmıştır. Bu birleşimler Lui ve Chen [43] tarafından A, B, C, D etiketleri ile ifade edilmiş olup Exponential model kullanılarak moment-dönme ilişkileri verilmiştir. Burada; A tipi birleşim Richard vd. tarafından 1982 yılında test edilen tek korniyerli gövde birleşimi, B tipi birleşim Azizinamini vd. tarafından test edilen üst ve alt başlıklı gövde birleşimini temsil etmektedir. Benzer şekilde, C tipi birleşim Ostrander tarafından 1970 yılında test edilen uç levhalı birleşimi ve D tipi birleşimi ise Johnson ve Walpole tarafından 1981 yılında test edilen bir uzatılmış uç levhalı birleşimi temsil etmektedir. Birleşimler için Exponential modelinin parametreleri

Tablo 5.2’de listelenmiştir [42]. Exponential model ve Tablo 5.2’deki parametreler kullanılarak dört tip birleşim için moment – dönme ilişkileri elde edilmiş ve Şekil 5.13 ile gösterilmiştir.

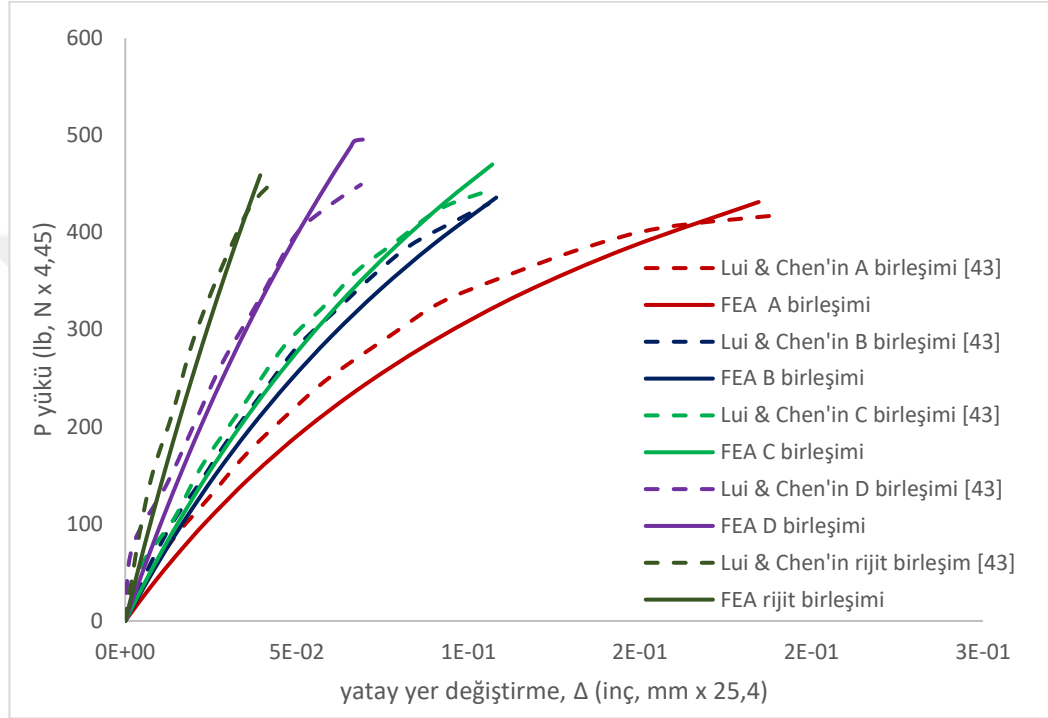
Tablo 5.2: Exponential modelinin birleşim parametreleri [43]

	Birleşim Türleri			
	A	B	C	D
M_0 (kip-in)	0	0	0	0
R_{kf} (kip/rad)	$0,47104 \times 10^2$	$0,43169 \times 10^3$	$0,96415 \times 10^3$	$0,41193 \times 10^3$
α	$0,51167 \times 10^{-3}$	$0,31425 \times 10^{-3}$	$0,31783 \times 10^{-3}$	$0,67083 \times 10^{-3}$
C_1	$-0,43300 \times 10^2$	$-0,34515 \times 10^3$	$-0,25038 \times 10^3$	$-0,67824 \times 10^3$
C_2	$0,12139 \times 10^4$	$0,52345 \times 10^4$	$0,50736 \times 10^4$	$0,27084 \times 10^4$
C_3	$-0,58583 \times 10^4$	$-0,26762 \times 10^5$	$-0,30396 \times 10^5$	$-0,21389 \times 10^5$
C_4	$0,12971 \times 10^5$	$0,61920 \times 10^5$	$0,75338 \times 10^5$	$0,78563 \times 10^5$
C_5	$-0,13374 \times 10^5$	$-0,65114 \times 10^5$	$-0,82873 \times 10^5$	$-0,99740 \times 10^5$
C_6	$0,52224 \times 10^4$	$0,25506 \times 10^5$	$0,33927 \times 10^5$	$0,43042 \times 10^5$
R_{ki} (kip/rad)	$0,4800 \times 10^5$	$0,95219 \times 10^5$	$0,1 \text{ I}000 \times 10^6$	$0,30800 \times 10^6$



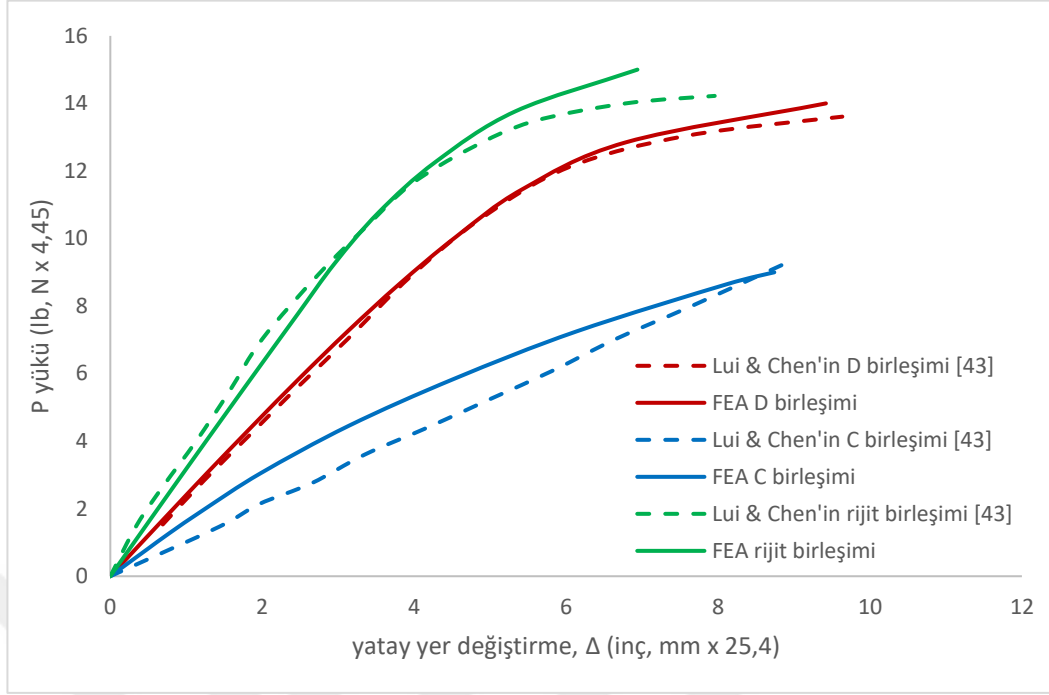
Şekil 5.13: Dört farklı birleşim tipi için moment-dönme ilişkisi

İki katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçeve için yük artımı ile çerçeve tepe noktası yatay yer değiştirme ilişkisi Şekil 5.14’de verilmiştir. Burada, dört farklı kiriş ile kolon birleşimi ve rijit birleşim durumları dikkate alınmış, analiz sonuçları ile Lui ve Chen [43] bulguları birlikte sunulmuştur.



Şekil 5.14: İki katlı ve tek açıklıklı rijit ve yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin yük değerleri ile çerçeve tepe noktası yatay yer değiştirme ilişkileri

Benzer şekilde, üç katlı ve tek açıklıklı yarı-rijit birleşimli çelik çerçeve için yatay yük artımı ile çerçeve tepe noktası yatay yer değiştirme ilişkisi Şekil 5.15’de verilmiştir. Burada, iki farklı kiriş ile kolon birleşimi ve rijit birleşim durumları dikkate alınmış, analiz sonuçları ile Lui ve Chen [43] bulguları birlikte sunulmuştur.



Şekil 5.15: Üç katlı ve tek açıklıklı rijit ve yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin yatay yük ile çerçeve tepe noktası yatay yer değiştirme ilişkileri

5.3 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kiriş ile kolon birleşimlerinin yarı-rijit modellendiği çelik çerçevelerin sayısal uygulamaları literatürde yer alan farklı özelliklere sahip çelik çerçeveler dikkate alınarak yapılmıştır. Çalışmada, Stelmack'ın tek açıklıklı iki katlı ve iki açıklıklı tek katlı yarı rijit birleşimli çerçevesi [37], Vogel'in tek katlı tek açıklıklı çerçevesi [38], Chen'in iki katlı çerçevesi [42], Lui ve Chen'in iki katlı ve üç katlı çerçeveleri [43] incelenmiştir. İncelenen çerçeveler için sonlu elemanlar yöntemi ile moment-dönme ilişkileri pratik bir biçimde dikkate alınabilmiş ve yük parametresi ile yer değiştirme eğrileri elde edilebilmiştir.

Bölüm 6

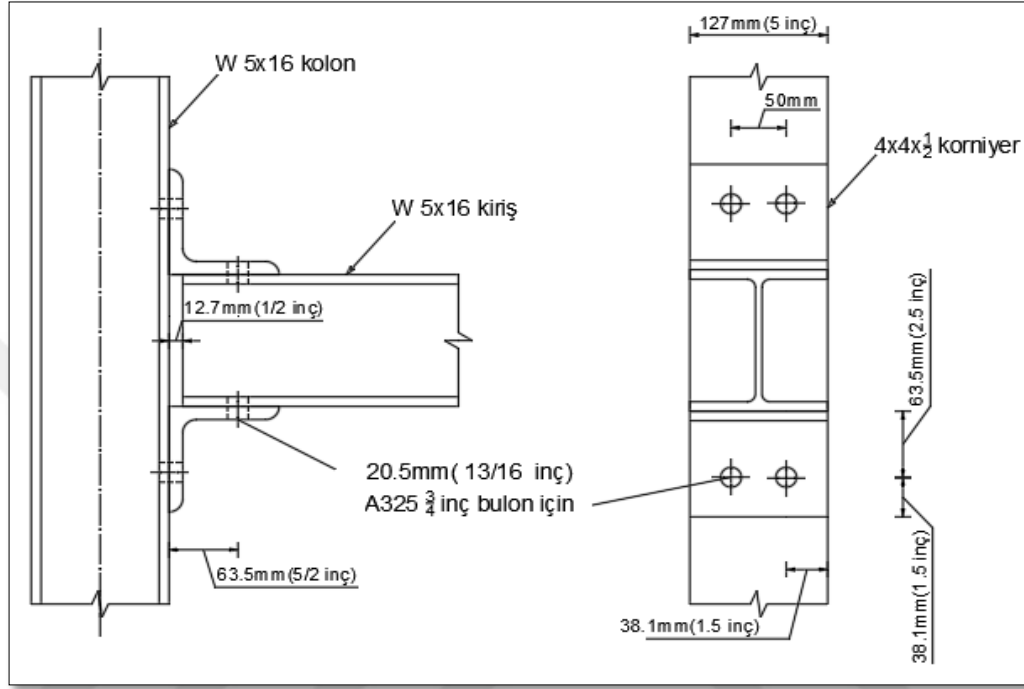
Kiriş ile Kolon Birleşimlerini Oluşturan Bileşenlerin Çelik Çerçeve Davranışına Etkileri

Bu bölümde giriş ile kolon birleşimleri oluşturan bileşenlerin çelik çerçeve davranışı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda, bulonlu birleşimlerde meydana gelen imalat ve montaj hatalarının çelik çerçeve davranışına etkisi de pratik şekilde araştırılmıştır. Eksik bulon kullanılması veya levhalardaki bulon deliğinin yanlış hizalanması gibi imalat hatalarını temsil etmek amacıyla bulonlu birleşimlerde birer adet bulonun birleşimde yer almaması, hesap öngerme değerlerinin tam değer olarak uygulanamaması ve birleşimi oluşturan bileşenlerin kalınlıklarının farklı alınması gibi uygulamada karşılaşılabilecek çeşitli durumlar göz önüne alınmış ve giriş ile kolon birleşimlerinde meydana gelebilecek bu tür imalat hatalarının çerçeve sistemler üzerine olan etkileri ayrı ayrı dikkate alınarak sayısal örnekler üzerinde incelenmiştir.

6.1 Sayısal Uygulama ile İlgili Bilgiler

Kiriş ile kolon birleşimlerinin bileşenlerinin çerçeve davranışı üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla Stelmack'ın [37] tek açıklıklı ve iki katlı, tek katlı iki açıklıklı çerçeveleri seçilmiştir. Her iki çerçeve için giriş ile kolon birleşimlerinde alt ve üst korniyerli birleşim Stelmack'ın [37] tarafından tasarlanmıştır. Stelmack'ın [37] çerçevelerinin özellikleri Bölüm 5.2.1'de detaylı şekilde sunulmuş olup, bu bölümde giriş ile kolon birleşiminin çerçeve davranışı üzerine olan etkileri çeşitli durumlar

dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmada dikkate alınan ve Stelmack [37] tarafından verilen kiriş ile kolon birleşim detayı Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Stelmack’ın [37] alt ve üst korniyerli birleşim detayı

Çalışmada kiriş ile kolon birleşimleri ilgili çeşitli durumlar incelemek için dokuz farklı durum her iki çerçeve sistemi için ayrı ayrı modellenmiştir. Burada; kolona bağlı üst korniyerde bir bulon olmaması, kirişe bağlı üst korniyerde bir bulon olmaması, bulonların öngerme yük değerlerinin hesap değerinin %75’i olarak uygulanmış olması, bulonların öngerme yük değerlerinin hesap değerinin %50’si olarak uygulanmış olması, korniyerlerin kalınlıklarının 1/4 inç daha kalın olması, korniyerlerin kalınlıklarının 1/4 inç daha ince olması, kolona bağlı üst korniyerin delik çapı normalinden 4,78 mm daha geniş olması ve kirişe bağlı üst korniyerin delik çapları normalinden 4,78 mm daha geniş olması durumları incelenmiştir.

6.2 İki Katlı ve Tek Açıklıklı Çelik Çerçeve

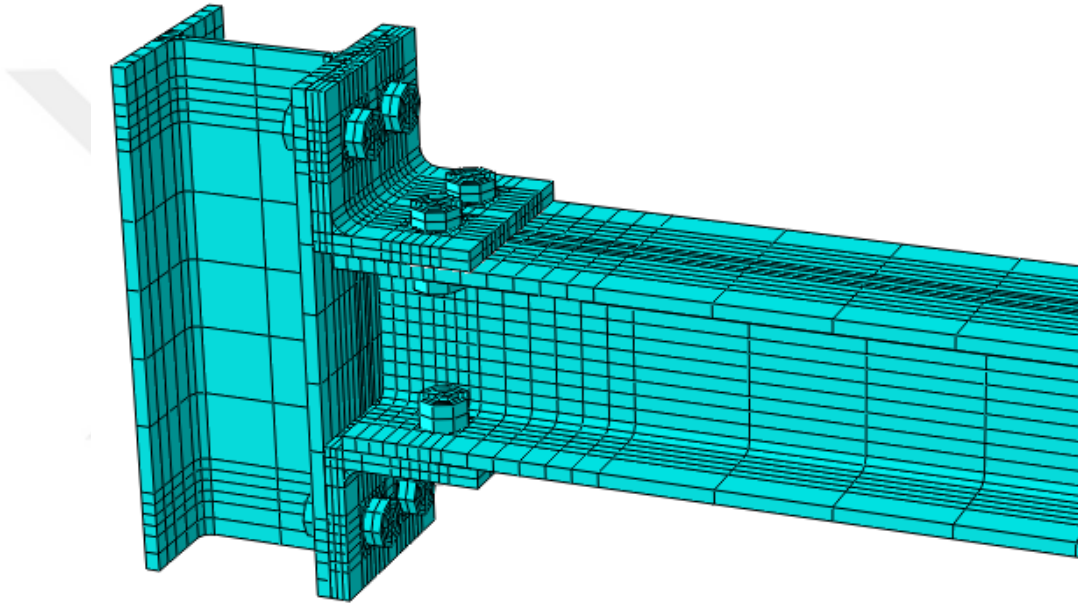
Stelmack'ın [37] tarafından tasarlanmış iki katlı ve tek açıklıklı çelik çerçeve Şekil 5.1'de gösterilmiş olup bu bölümde dokuz farklı durum için incelenmiştir. Tablo 6.1'de çalışmada dikkate alınan durumlar özetlenmiş olup Şekil 5.1'deki çerçeve üzerinde gösterilen A, B, C ve D noktaları kiriş ile kolon birleşim noktalarını ifade etmektedir.

Tablo 6.1: İki katlı ve tek açıklıklı çelik çerçeve üzerinde incelenen durumlar

Durumlar	Açıklama
Durum 1	Çerçevenin referans model hali
Durum 2	Çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A,B,C ile D noktalarındaki kolona bağlı üst korniyerinde bir bulon eksikliği durumu
Durum 3	Çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A,B,C ile D noktalarındaki kirişe bağlı üst korniyerinde bir eksikliği durumu
Durum 4	Çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A,B,C ile D noktalarında, bulon öngerme değerinin referans değerinin %75'i olması durumu
Durum 5	Çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A,B,C ile D noktalarında, bulon öngerme değerinin referans değerinin %50'si olması durumu
Durum 6	Çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A,B,C ile D noktalarındaki korniyerlerin kalınlığının $\frac{3}{4}$ inç (19,1 mm) tanımlanması durumu
Durum 7	Çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A,B,C ile D noktalarındaki korniyerlerin kalınlığının $\frac{1}{4}$ inç (6,35 mm) tanımlanması durumu
Durum 8	Çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A,B,C ile D noktalarındaki kolona bağlı üst korniyerinde delik çapının büyük 1 inç (25,4 mm) olarak tanımlanması durumu
Durum 9	Çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A,B,C ile D noktalarındaki kirişe bağlı üst korniyerinde delik çapının büyük 1 inç (25,4 mm) olarak tanımlanması durumu

6.2.1 Durum 1

Durum 1, Stelmack [37] tarafından yapılan deneyde verilen çerçeve özellikleri ile aynı özelliklerdeki çerçeveyi temsil etmektedir. Şekil 6.2’de birleşimin sonlu elemanlar modeli sunulmuş olup bu durum için Stelmack [37]’in deney sonuçları ile sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analiz sonuçları önceki bölümde Şekil 5.3 ile sunulmuştur.

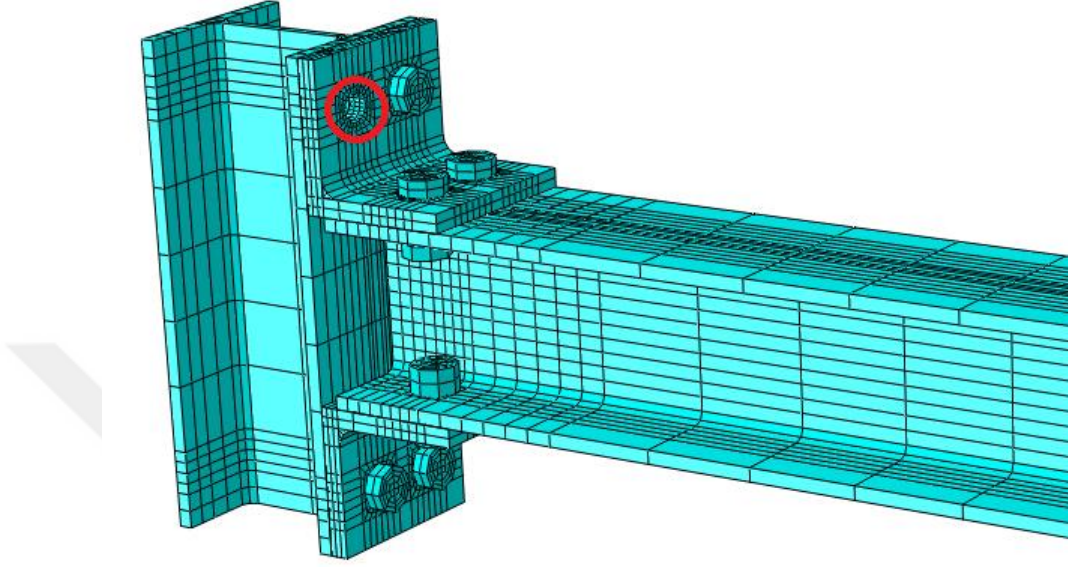


Şekil 6.2: Durum 1 için sonlu eleman modeli

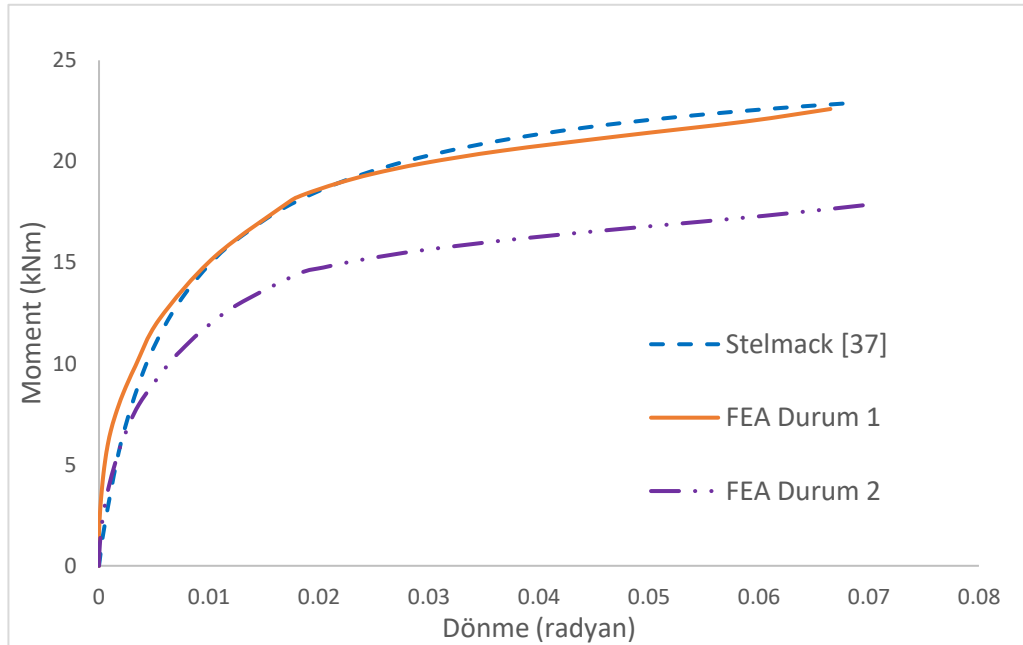
6.2.2 Durum 2

Durum 2, kolona bağlı olan üst korniyerden bir bulonun eksik olması durumunu ifade etmektedir. Bu durumu inceleyebilmek amacıyla Şekil 6.3’de gösterildiği gibi kolona bağlı olan üst korniyerdeki bir bulon kaldırılmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.4 ile elde edilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A, B, C ve D birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay

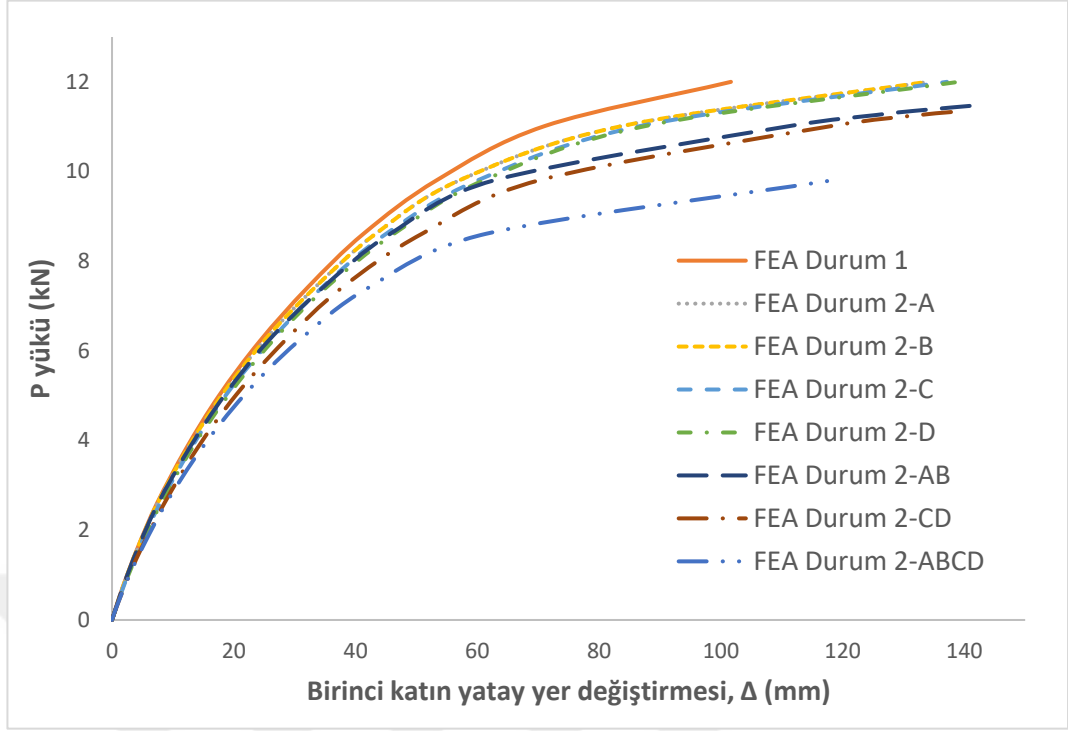
P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 2 dikkate alınarak şekil 6.5’de gösterilmiştir.



şekil 6.3: Durum 2 için sonlu eleman modeli



şekil 6.4: Durum 1 ve Durum 2 için moment-dönme ilişkisi



Şekil 6.5: Durum 1 ve Durum 2 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

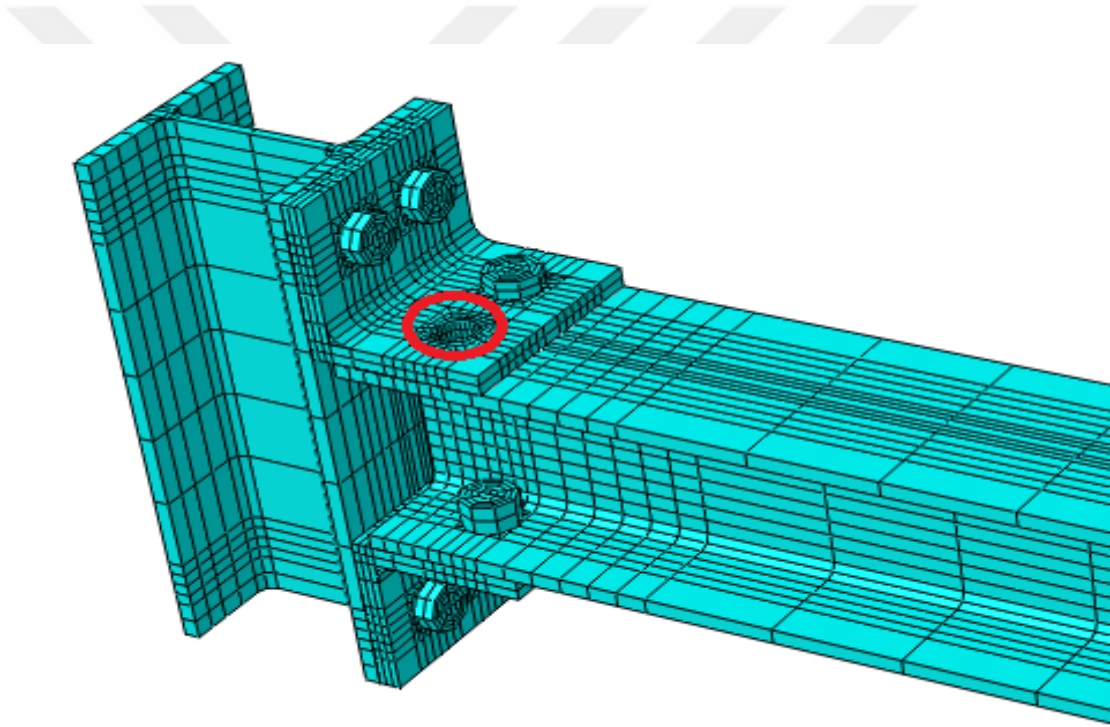
Tablo 6.2’de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 2 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.2: Durum 1 ve Durum 2 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri

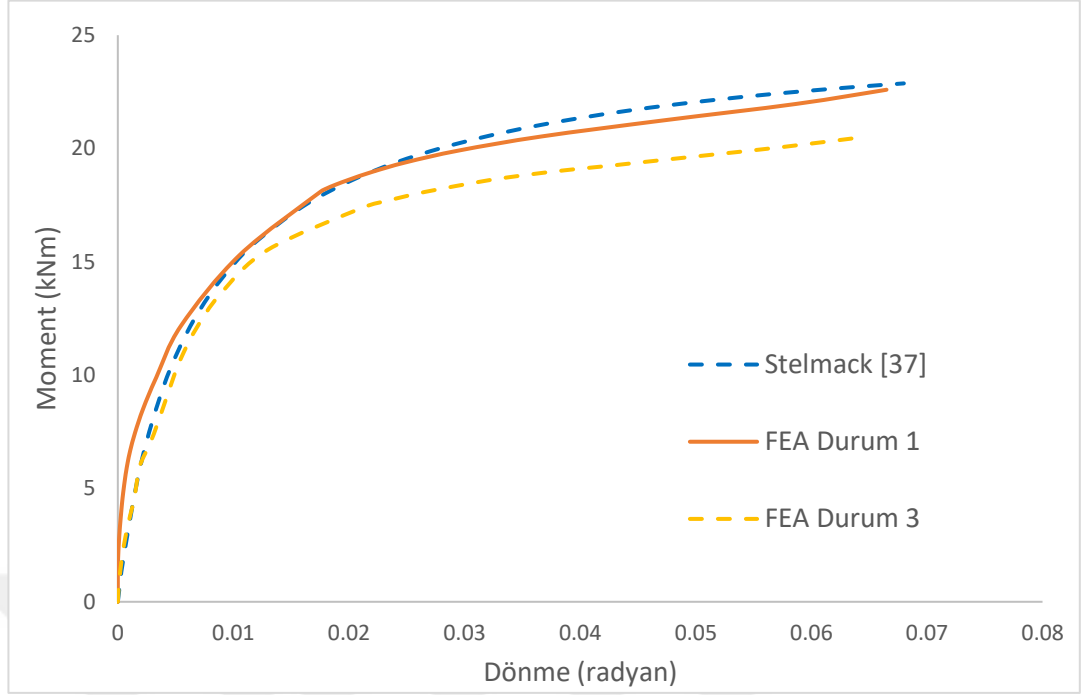
Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	12,00	-
Durum 2-A	11,33	-5,57
Durum 2-B	11,33	-5,57
Durum 2-C	11,27	-6,05
Durum 2-D	11,25	-6,24
Durum 2-AB	10,97	-8,56
Durum 2-CD	10,85	-9,50
Durum 2-ABCD	9,42	-37,20

6.2.3 Durum 3

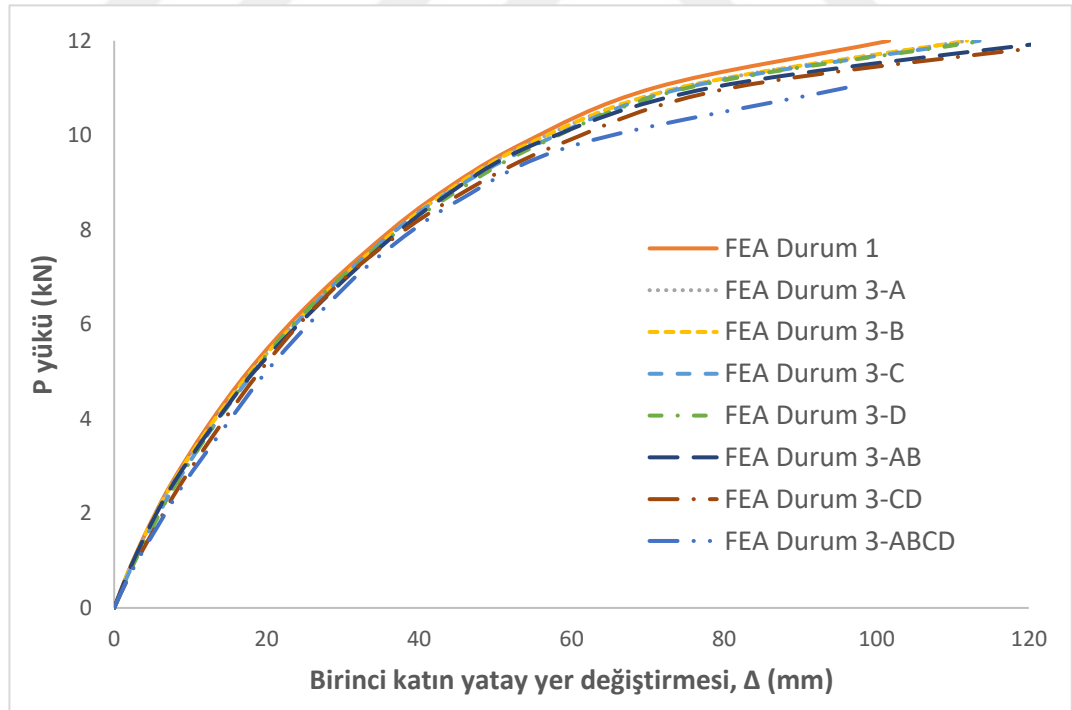
Durum 3, kirişle bağlı olan üst korniyerden bir bulonun eksik olması durumunu ifade etmektedir. Bu durumu inceleyebilmek amacıyla Şekil 6.6’da gösterildiği gibi kirişle bağlı olan üst korniyerdeki bir bulon kaldırılmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.7 ile elde edilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A, B, C ve D birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 3 dikkate alınarak Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.6: Durum 3 için sonlu eleman modeli



Şekil 6.7: Durum 1 ve Durum 3 için moment-dönme ilişkisi



Şekil 6.8: Durum 1 ve Durum 3 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

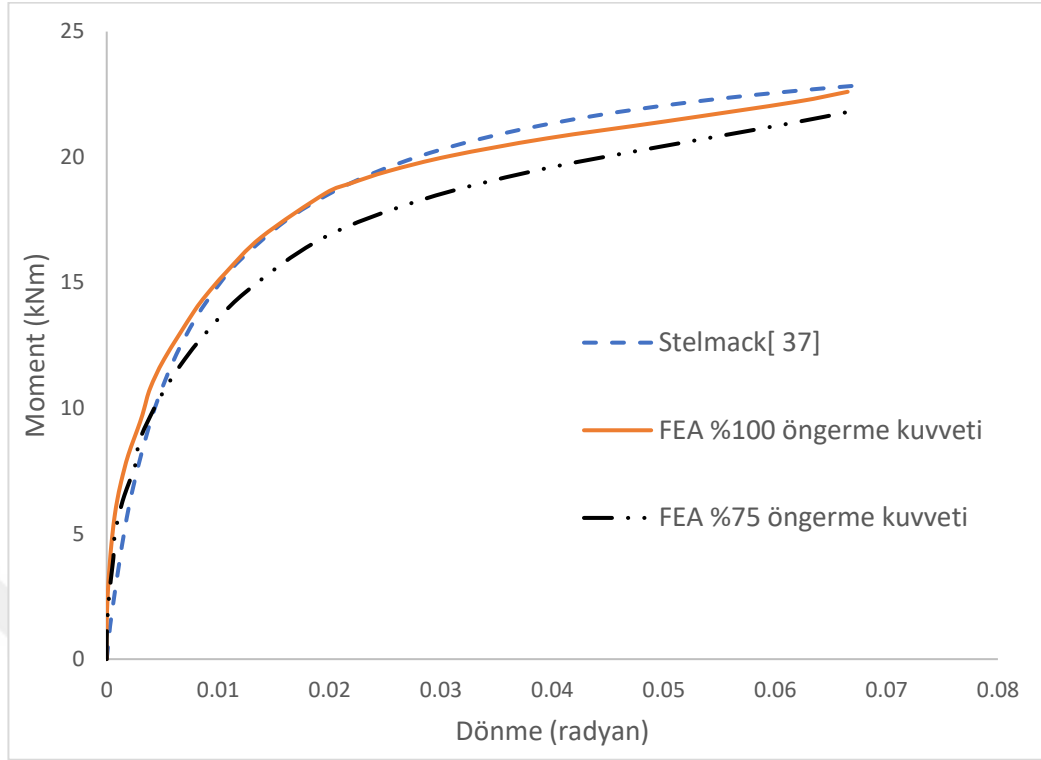
Tablo 6.3’de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 3 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.3: Durum 1 ve Durum 3 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.

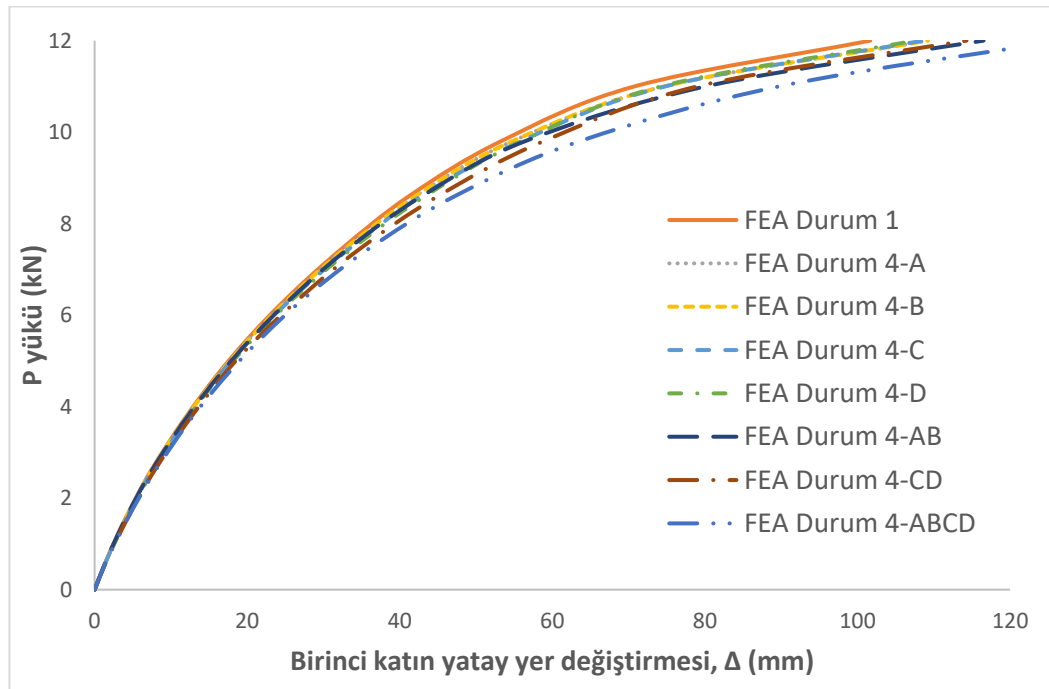
Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	12	-
Durum 3-A	11,68	-2,60
Durum 3-B	11,68	-2,60
Durum 3-C	11,65	-2,89
Durum 3-D	11,64	-2,99
Durum 3-AB	11,47	-4,36
Durum 3-CD	11,39	-5,00
Durum 3-ABCD	11,14	-7,16

6.2.4 Durum 4

Durum 4, birleşimde yer alan bulonların öngerme kuvvetlerinin hesap öngerme kuvvetinin %75’i olarak uygulandığı durumu ifade etmektedir. Bu durumu inceleyebilmek amacıyla bulonların öngerme kuvveti 134 kN yerine 100 kN olarak uygulanmış ve moment-dönme ilişkisi şekil 6.9 ile elde edilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A, B, C ve D birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 4 dikkate alınarak şekil 6.10’da gösterilmiştir.



Şekil 6.9: Durum 1 ve Durum 4 için moment-dönme ilişkisi



Şekil 6.10: Durum 1 ve Durum 4 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

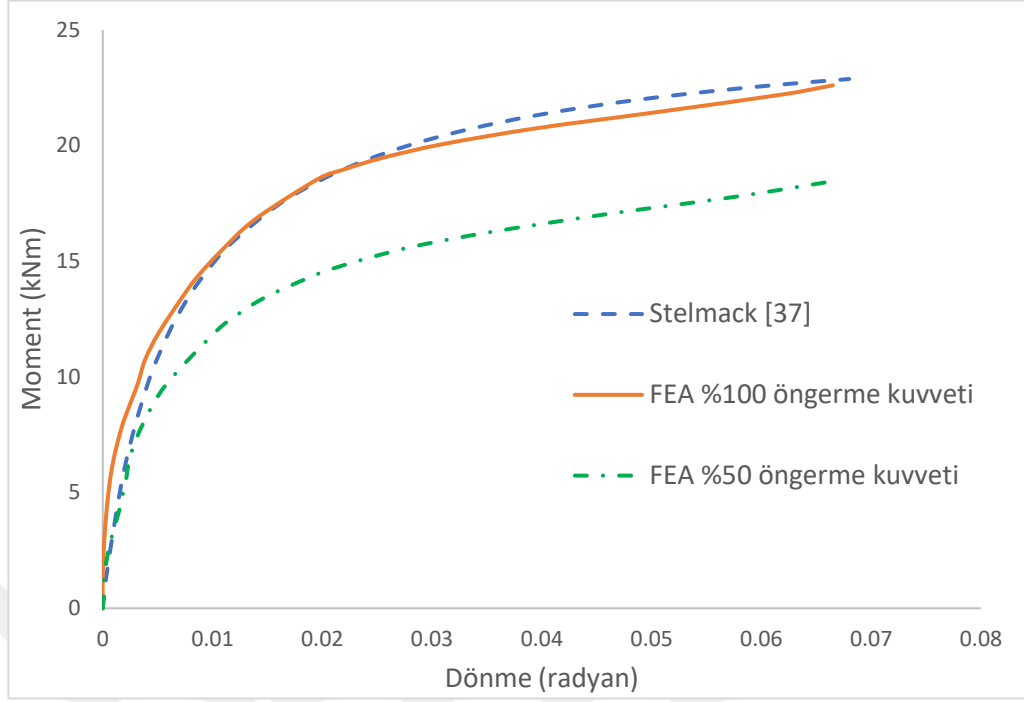
Tablo 6.4’de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 4 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.4: Durum 1 ve Durum 4 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.

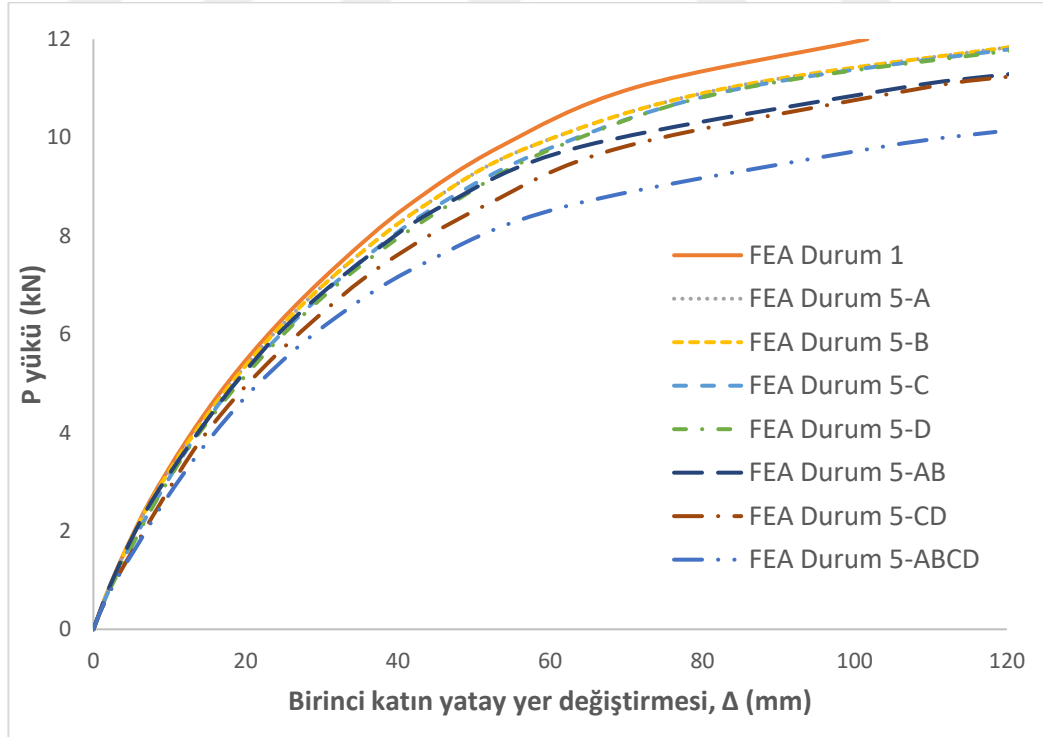
Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	12	-
Durum 4-A	11.73	-2.22
Durum 4-B	11.73	-2.22
Durum 4-C	11.74	-2.11
Durum 4-D	11.77	-1.89
Durum 4-AB	11.54	-3.76
Durum 4-CD	11.59	-3.36
Durum 4-ABCD	11.27	-6.01

6.2.5 Durum 5

Durum 5, birleşimde yer alan bulonların öngerme kuvvetlerinin hesap öngerme kuvvetinin %50’si olarak uygulandığı durumu ifade etmektedir. Bu durumu inceleyebilmek amacıyla bulonların öngerme kuvveti 134 kN yerine 67 kN olarak uygulanmış ve moment-dönme ilişkisi şekil 6.11 ile elde edilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A, B, C ve D birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 5 dikkate alınarak şekil 6.12’de gösterilmiştir.



Şekil 6.11: Durum 1 ve Durum 5 için moment-dönme ilişkisi



Şekil 6.12: Durum 1 ve Durum 5 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

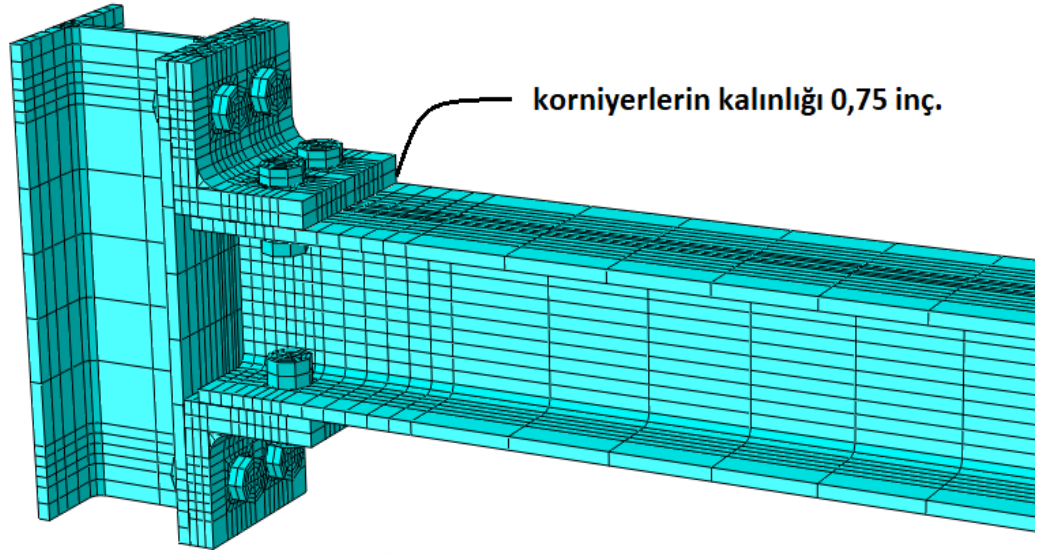
Tablo 6.5’de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 4 için karşılaştırılmal olarak sunulmuştur.

Tablo 6.5: Durum 1 ve Durum 5 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.

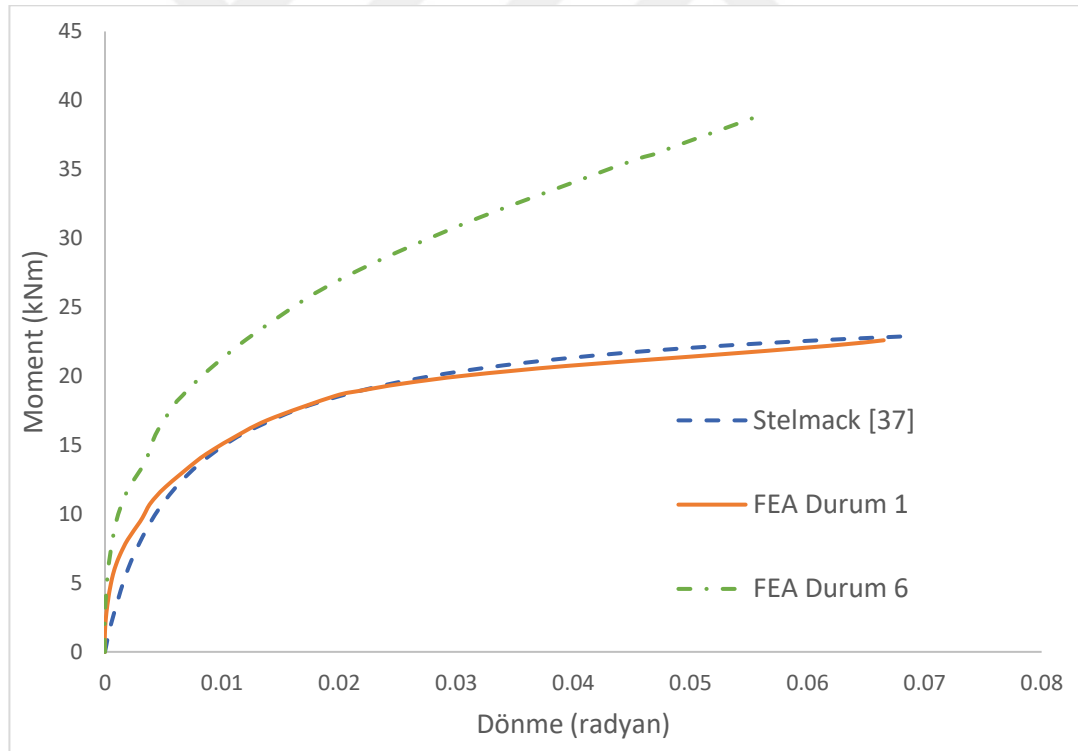
Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	12	-
Durum 5-A	11,38	-5,17
Durum 5-B	11,38	-5,17
Durum 5-C	11,33	-5,55
Durum 5-D	11,31	-5,69
Durum 5-AB	11,27	-6,06
Durum 5-CD	11,13	-7,18
Durum 5-ABCD	9,74	-18,84

6.2.6 Durum 6

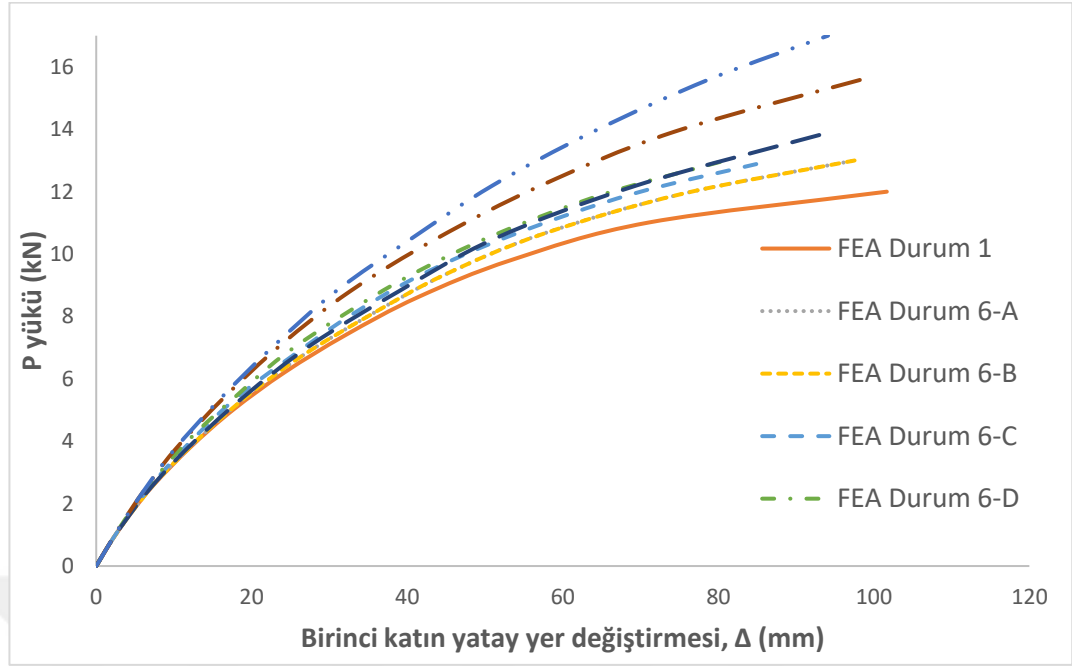
Durum 6, birleşimdeki korniyerlerin kalınlığının referans birleşimdeki korniyer kalınlığından daha kalın alındığı durumu temsil etmektedir. Burada, referans malzemeye benzer bir malzeme kullanılması durumunda ereve sistemin ne şekilde etkileneceği araştırılmıştır. Çalışmada, referans birleşimdeki korniyerden 6,35 mm daha kalın bir korniyer kullanıldığı varsayılmıştır. Bu durumu inceleyebilmek amacıyla şekil 6.13’te gösterildiği gibi korniyerlerin kalınlığı 12,7 mm yerine 19 mm olarak dikkate alınmış ve moment-dönme ilişkisi şekil 6.14 ile elde edilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A, B, C ve D birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 6 dikkate alınarak şekil 6.15’de gösterilmiştir.



Şekil 6.13: Durum 6 için sonlu eleman modeli



Şekil 6.14: Durum 1 ve Durum 6 için moment-dönme ilişkisi



Şekil 6.15: Durum 1 ve Durum 6 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

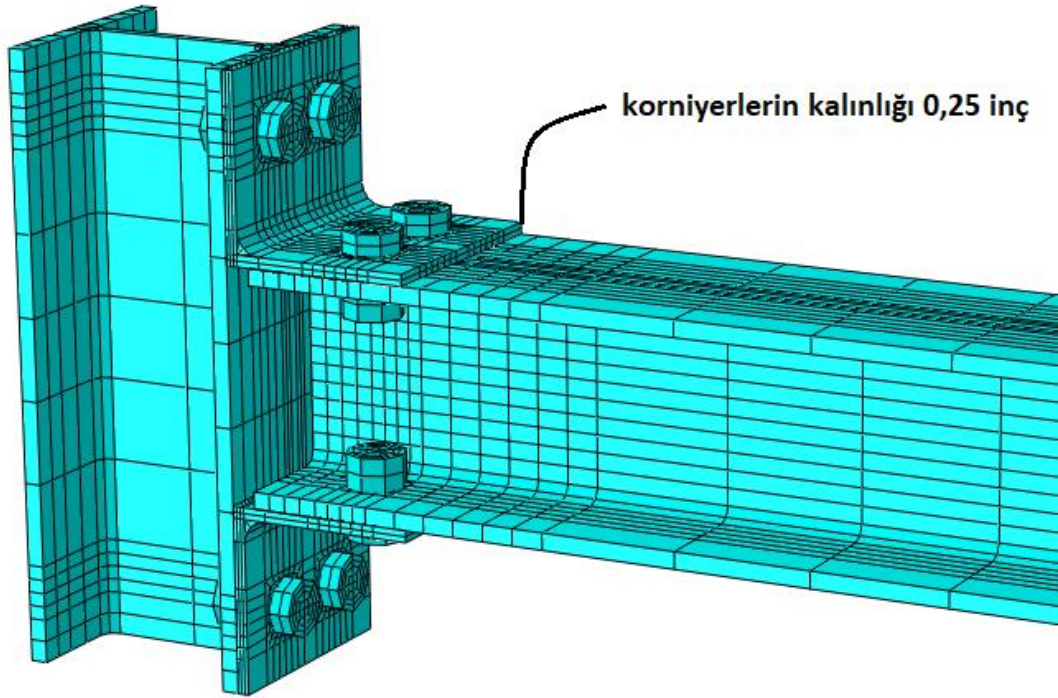
Tablo 6.6’da birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 6 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.6: Durum 1 ve Durum 6 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri

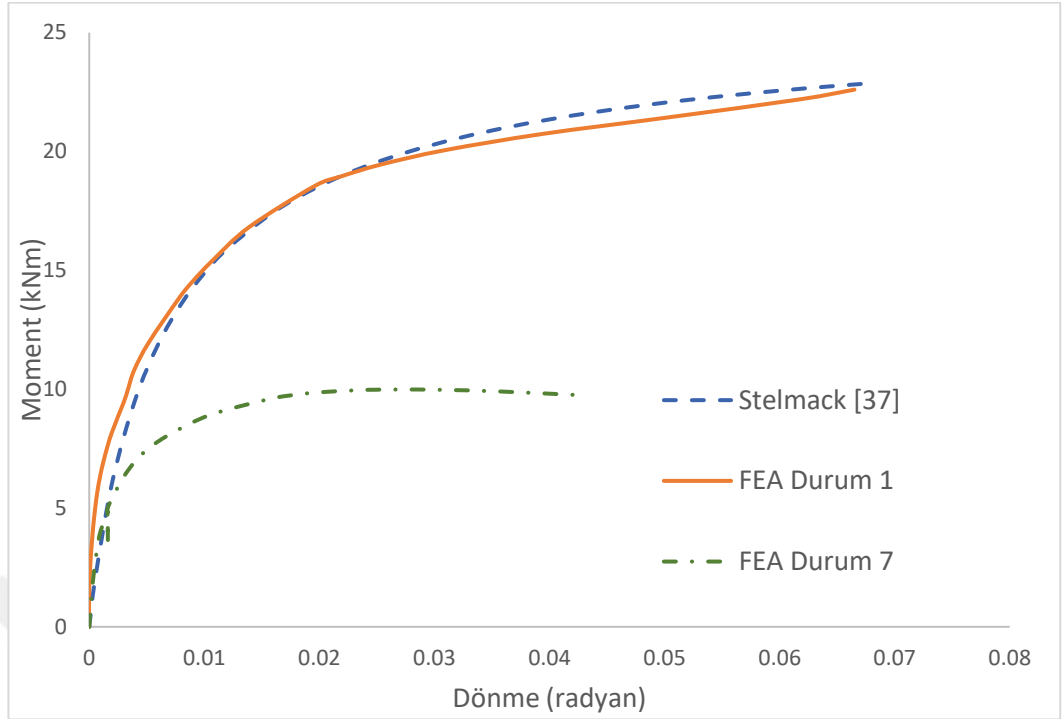
Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	12	-
Durum 6-A	13,11	9,32
Durum 6-B	13,11	9,32
Durum 6-C	13,78	14,89
Durum 6-D	14,31	19,30
Durum 6-AB	14,29	19,11
Durum 6-CD	15,70	30,87
Durum 6-ABCD	17,54	46,16

6.2.7 Durum 7

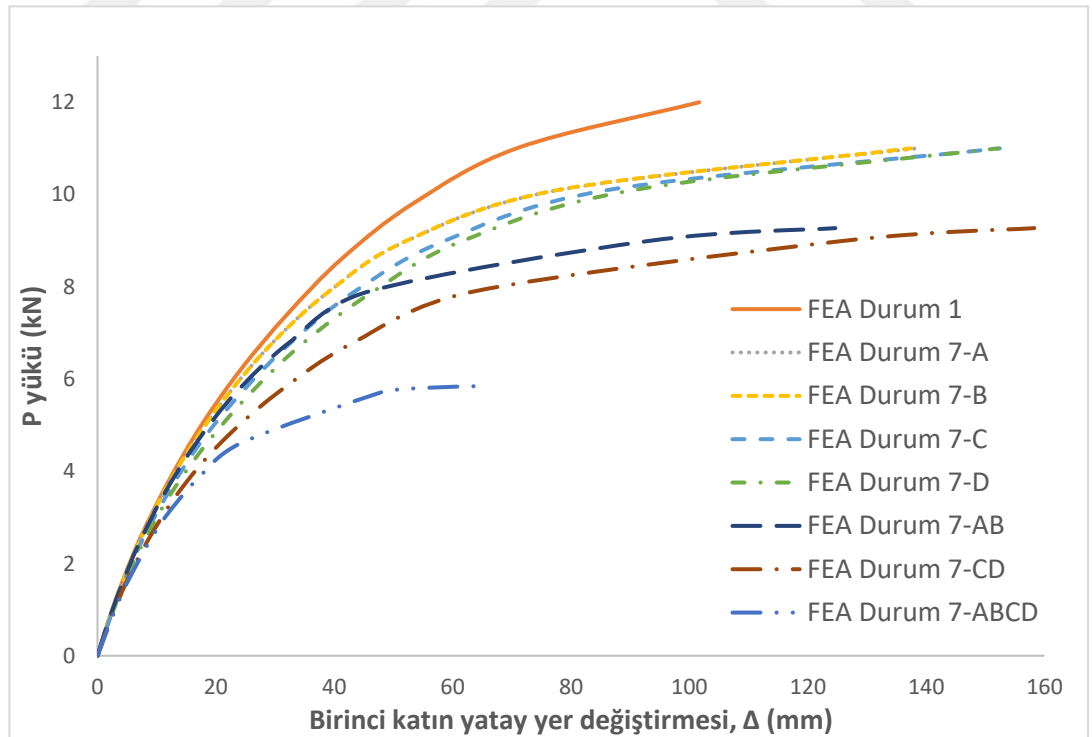
Durum 7, birleşimdeki korniyerlerin kalınlığının referans birleşimdeki korniyer kalınlığından daha ince alındığı durumu temsil etmektedir. Burada, referans malzemeye benzer bir malzeme kullanılması durumunda çerçeve sistemin ne şekilde etkileneceği araştırılmıştır. Çalışmada, referans birleşimdeki korniyerden 6,35 mm daha ince bir korniyer kullanıldığı varsayılmıştır. Bu durumu inceleyebilmek amacıyla Şekil 6.16'da gösterildiği gibi korniyerlerin kalınlığı 12,7 mm yerine 6,35 mm olarak dikkate alınmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.17 ile elde edilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A, B, C ve D birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 7 dikkate alınarak Şekil 6.18'de gösterilmiştir.



Şekil 6.16: Durum 7 için sonlu eleman modeli



Şekil 6.17: Durum 1 ve Durum 7 için moment-dönme ilişkisi



Şekil 6.18: Durum 1 ve Durum 7 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

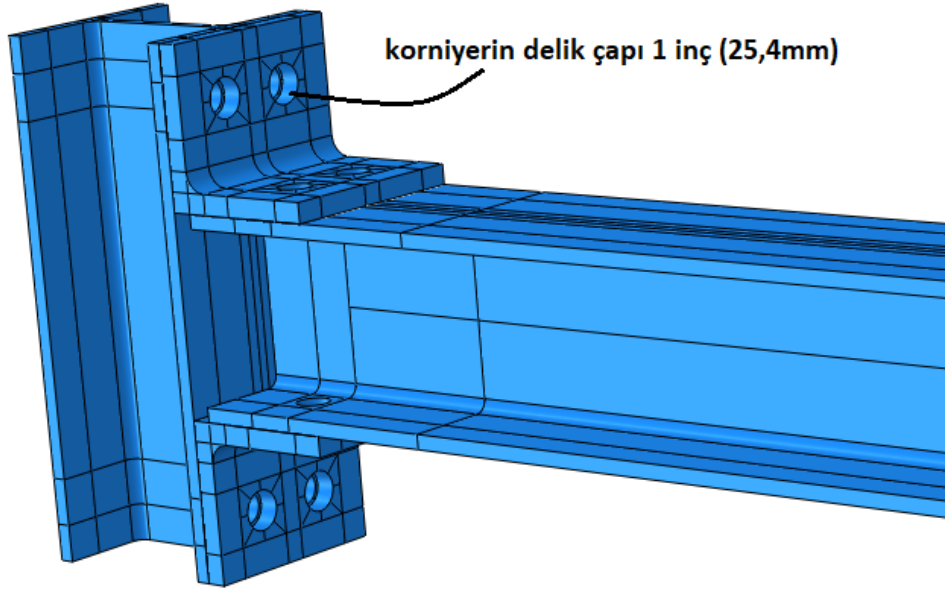
Tablo 6.7’de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P y¼k¼ değerleri Durum 1 ve Durum 7 i¼in karřılařtırılmal¼ olarak sunulmuştur.

Tablo 6.7: Durum 1 ve Durum 7 i¼in birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm i¼in yatay y¼k değerleri.

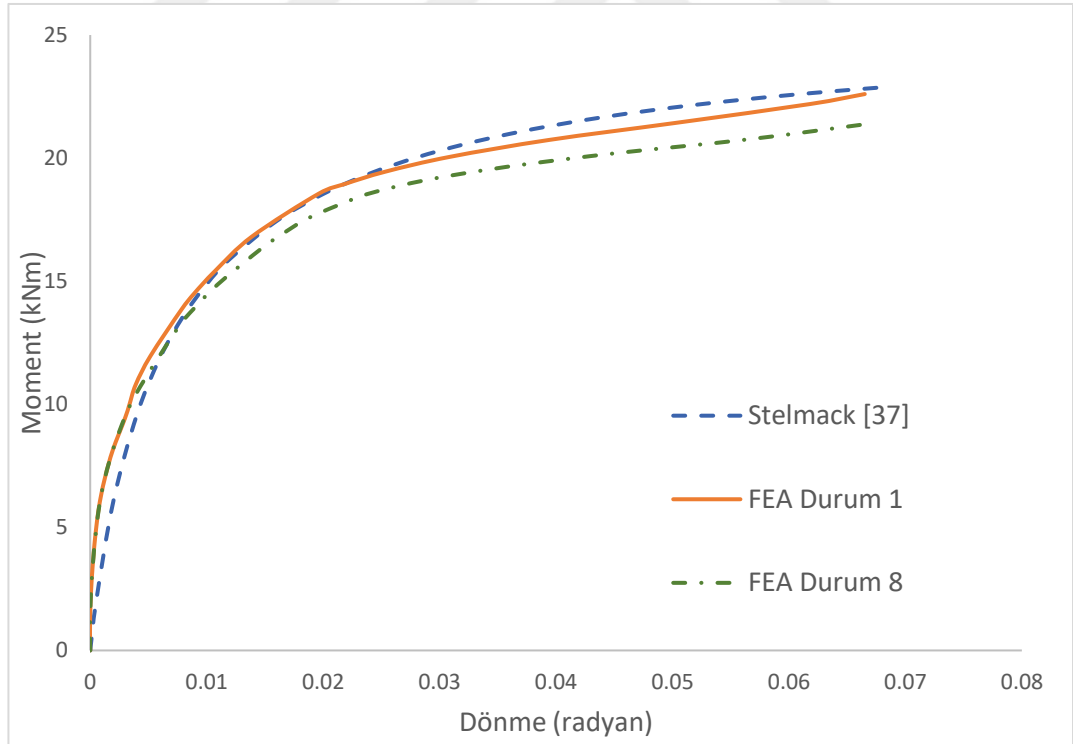
Durumlar	P y¼k¼ (kN)	Fark (%)
Durum1	12	-
Durum 7-A	10,42	-13,10
Durum 7-B	10,43	-14,29
Durum 7-C	10,28	-14,29
Durum 7-D	10,23	-14,71
Durum 7-AB	9,05	-24,54
Durum 7-CD	8,77	-26,89
Durum 7-ABCD	5,85	-51,17

6.2.8 Durum 8

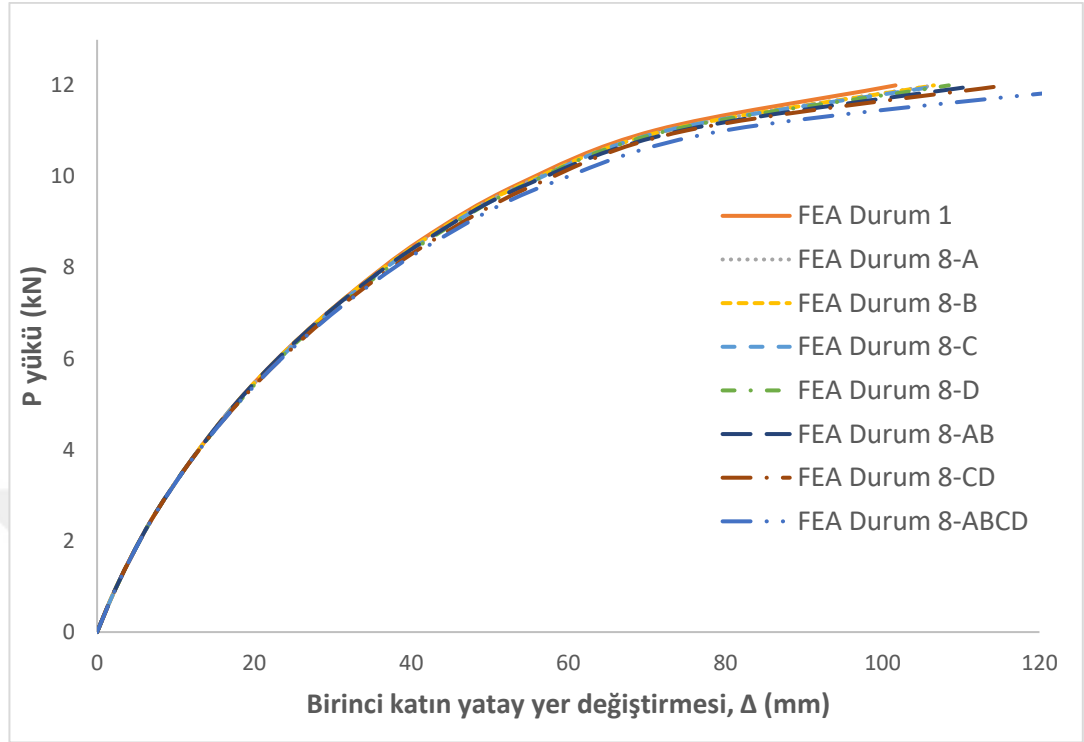
Durum 8, kolona bağlanan bulonlar i¼in bulon delik ¼aplarının referans modele g¼re 5 mm daha b¼y¼k a¼ıldıęı durumu temsil etmektedir. Bu durumu i¼in şekil 6.19’da g¼sterildięi gibi korniyerlerin kolona bağlı olan delik ¼apları 20,62 mm yerine 25,4 mm olarak a¼ılmıř ve moment-d¼nme ilişkisi şekil 6.20 ile elde edilmiştir. Delik ¼apının b¼y¼k a¼ılması durumunda bulonların merkezlerinin değişmediği, sadece delik ¼apının arttırıldığı durum dikkate alınmış ve analizlere yansıtılmış olup, elde edilen sonu¼lar bu varsayıma dayanmaktadır. Moment-d¼nme ilişkisi ¼er¼evenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A, B, C ve D birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P y¼k¼ ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 8 dikkate alınarak şekil 6.21’de g¼sterilmiřtir.



Şekil 6.19: Durum 8 için sonlu eleman modeli



Şekil 6.20: Durum 1 ve Durum 8 için moment-dönme ilişkisi



Şekil 6.21: Durum 1 ve Durum 8 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

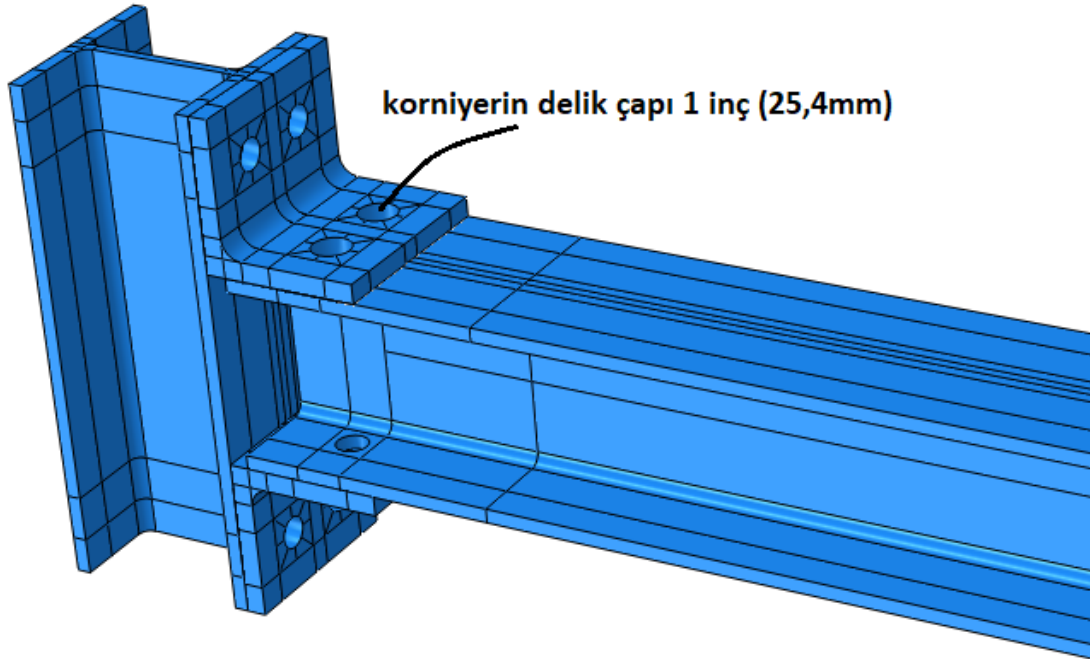
Tablo 6.8’de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 8 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.8: Durum 1 ve Durum 8 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.

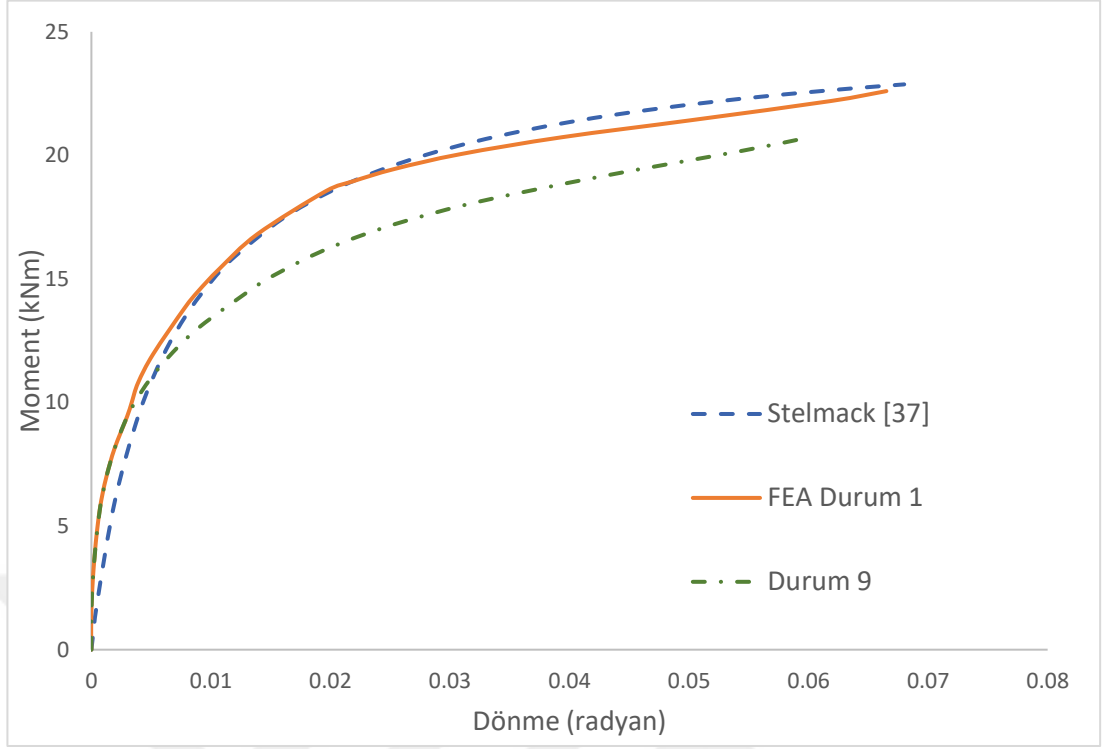
Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	12	-
Durum 8-A	11,80	-1,58
Durum 8-B	11,80	-1,58
Durum 8-C	11,78	-1,77
Durum 8-D	11,76	-1,95
Durum 8-AB	11,67	-2,67
Durum 8-CD	11,61	-3,18
Durum 8-ABCD	11,40	-4,96

6.2.9 Durum 9

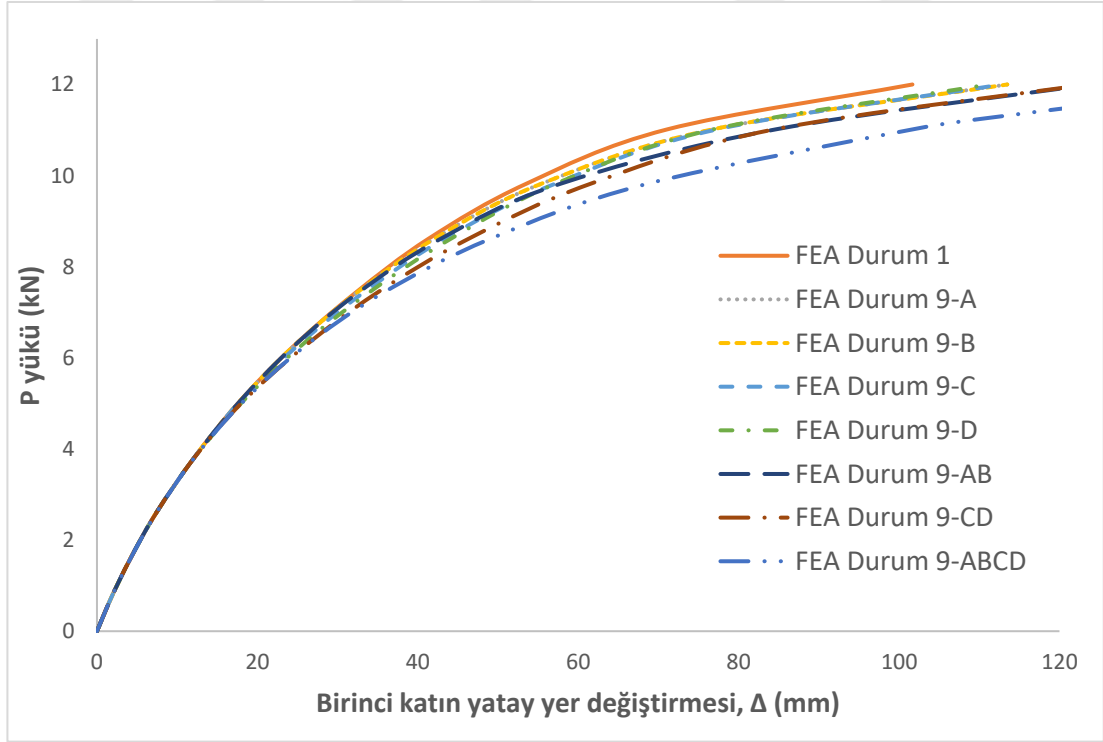
Durum 9, kiriş bağlanan bulonlar için bulon delik çaplarının referans modele göre 5 mm daha büyük açıldığı durumu temsil etmektedir. Bu durumu için Şekil 6.22’de gösterildiği gibi korniyerlerin kiriş bağli olan delik çapları 20,62 mm yerine 25,4 mm olarak açılmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.23 ile elde edilmiştir. Delik çapının büyük açılması durumunda bulonların merkezlerinin değişmediği, sadece delik çapının arttırıldığı durum dikkate alınmış ve analizlere yansıtılmış olup, elde edilen sonuçlar bu varsayıma dayanmaktadır. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, C, D, A ile B, C ile D ve A, B, C ve D birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 9 dikkate alınarak Şekil 6.24’de gösterilmiştir.



Şekil 6.22: Durum 9 için sonlu eleman modeli



Şekil 6.23: Durum 1 ve Durum 9 için moment-dönme ilişkisi



Şekil 6.24: Durum 1 ve Durum 9 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

Tablo 6.9’da birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P y¼k¼ değerleri Durum 1 ve Durum 9 i¼in karřılařtírmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.9: Durum 1 ve Durum 9 i¼in birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm i¼in yatay y¼k değerleri

Durumlar	P y¼k¼ (kN)	Fark (%)
Durum1	12	-
Durum 9-A	11,637	-3,02
Durum 9-B	11,638	-3,01
Durum 9-C	11,64	-2,96
Durum 9-D	11,67	-2,67
Durum 9-AB	11,39	-5,00
Durum 9-CD	11,40	-4,94
Durum 9-ABCD	10,91	-9,04

6.3 Tek Katlı ve İki Açıklıklı Çelik Çerçeve

Stelmack’ın [37] tarafından tasarlanmış tek katlı ve iki açıklıklı çelik çerçeve Şekil 5.4’de gösterilmiş olup bu bölümde dokuz farklı durum i¼in incelenmiştir. Tablo 6.10’da çalışmada dikkate alınan durumlar özetlenmiş olup, Şekil 5.4’de verilen çerçeve üzerinde gösterilen A, B ve C noktaları kiriş ile kolon birleşim noktalarını ifade etmektedir.

Stelmack’ın [37, 46] tarafından tasarlanmış tek katlı ve iki açıklıklı çelik çerçevenin birleşimleri ile Bölüm 6.2’de incelenen çerçevenin birleşimleri aynı olduğundan bu bölümde tekrar verilmeyecek, daha çok çerçeve analiz sonuçlarına yoğunlaşılacaktır.

Tablo 6.10: Tek katlı ve iki açıklıklı çelik çerçeve üzerinde incelenen durumlar.

Durumlar	Açıklama
Durum 1	Çerçevenin referans model hali
Durum 2	Çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C noktalarındaki kolona bağlı üst korniyerinde bir bulon eksikliği durumu
Durum 3	Çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C noktalarındaki kirişe bağlı üst korniyerinde bir eksikliği durumu
Durum 4	Çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C noktalarında, bulon öngerme değerinin referans değerinin %75'i olması durumu
Durum 5	Çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C noktalarında bulon öngerme değerinin referans değerinin %50'si olması durumu
Durum 6	Çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C noktalarındaki korniyerlerin kalınlığının $\frac{3}{4}$ inç (19,1 mm) tanımlanması durumu
Durum 7	Çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C noktalarındaki korniyerlerin kalınlığının $\frac{1}{4}$ inç (6,35 mm) tanımlanması durumu
Durum 8	Çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C noktalarındaki kolona bağlı üst korniyerinde delik çapının büyük 1 inç (25,4 mm) olarak tanımlanması durumu
Durum 9	Çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C noktalarındaki kirişe bağlı üst korniyerinde delik çapının büyük 1 inç (25,4 mm) olarak tanımlanması durumu

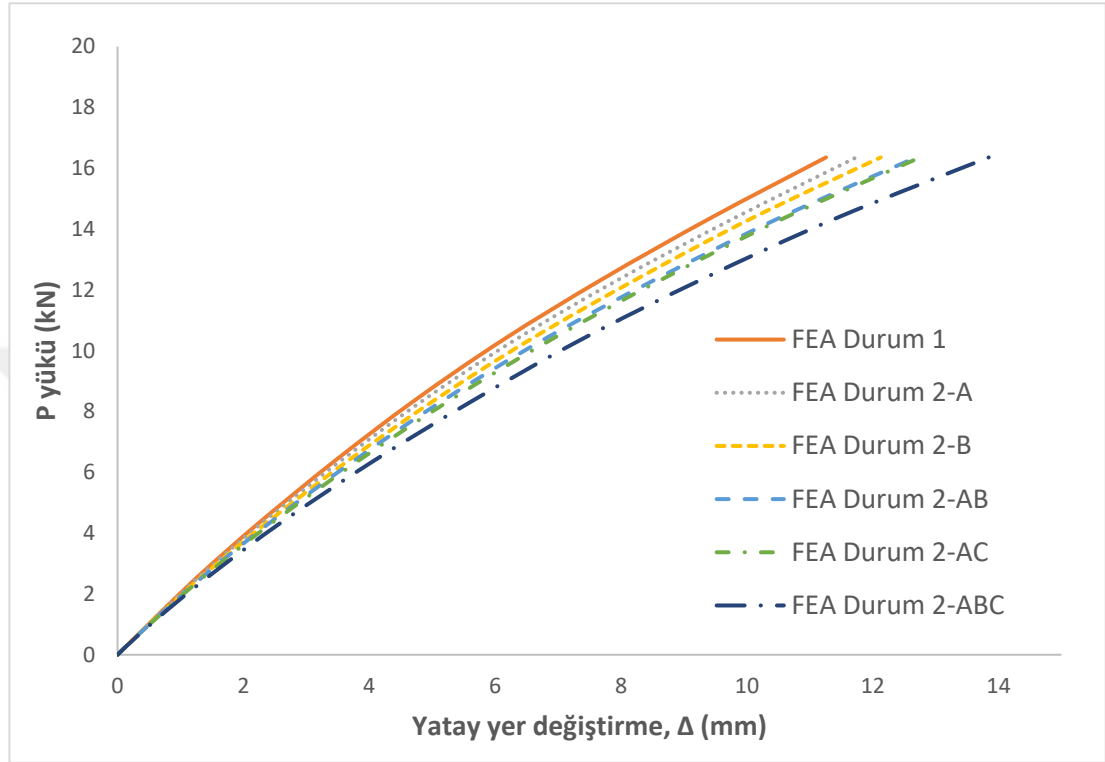
6.3.1 Durum 1

Durum 1, Stelmack [37, 46] tarafından yapılan deneyde verilen çerçeve özellikleri ile aynı özelliklerdeki çerçeveyi temsil etmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analiz sonuçları ile Stelmack [37, 46]'ın deney sonuçları önceki bölümde Şekil 5.5 ile sunulmuştur.

6.3.2 Durum 2

Durum 2, kolona bağlı olan üst korniyerden bir bulonun eksik olması durumunu ifade etmektedir. Bu durumu inceleyebilmek amacıyla kolona bağlı olan üst korniyerdeki bir bulon kaldırılmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.4 ile verilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer

değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 2 dikkate alınarak şekil 6.25’de gösterilmiştir.



şekil 6.25: Durum 1 ve Durum 2 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

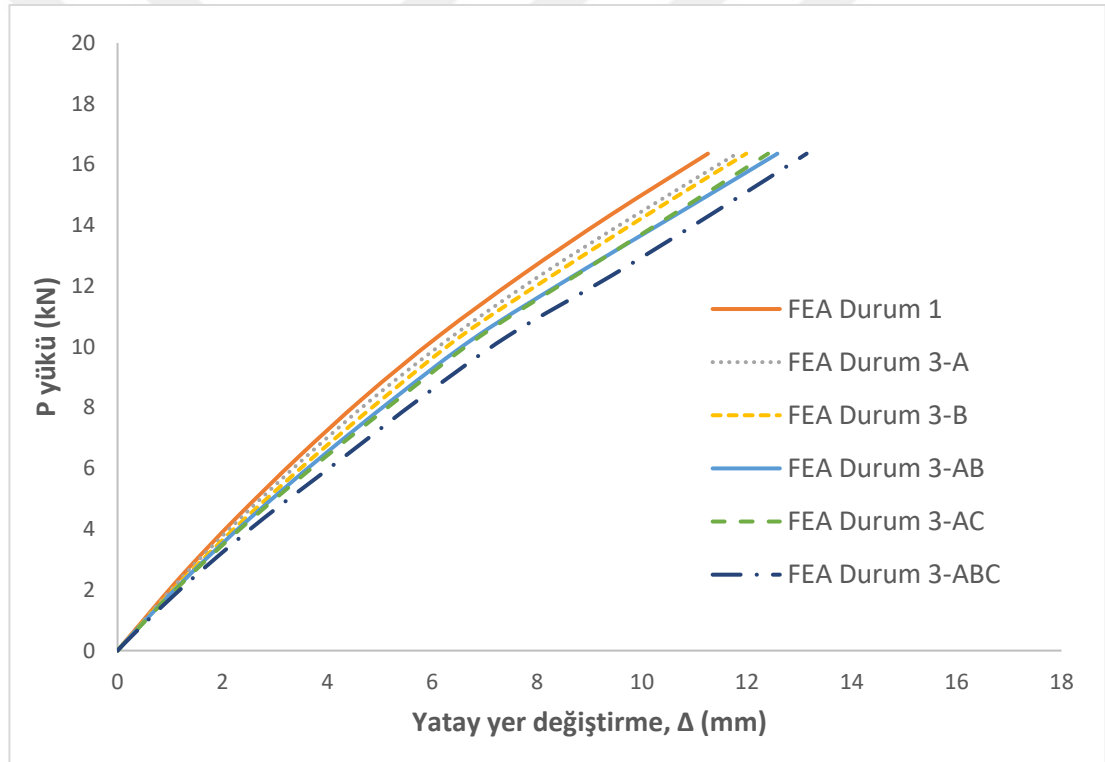
Tablo 6.11’da birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 2 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.11: Durum 1 ve Durum 2 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.

Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	14,96	-
Durum 2-A	14,52	-2,88
Durum 2-B	14,19	-5,09
Durum 2-AB	13,78	-7,83
Durum 2-AC	13,70	-8,39
Durum 2-ABC	13,02	-12,95

6.3.3 Durum 3

Durum 3, kirişe bağlı olan üst korniyerden bir bulonun eksik olması durumunu ifade etmektedir. Bu durumu inceleyebilmek amacıyla kirişe bağlı olan üst korniyerdeki bir bulon kaldırılmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.7 ile verilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 3 dikkate alınarak Şekil 6.26'da gösterilmiştir.



Şekil 6.26: Durum 1 ve Durum 3 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

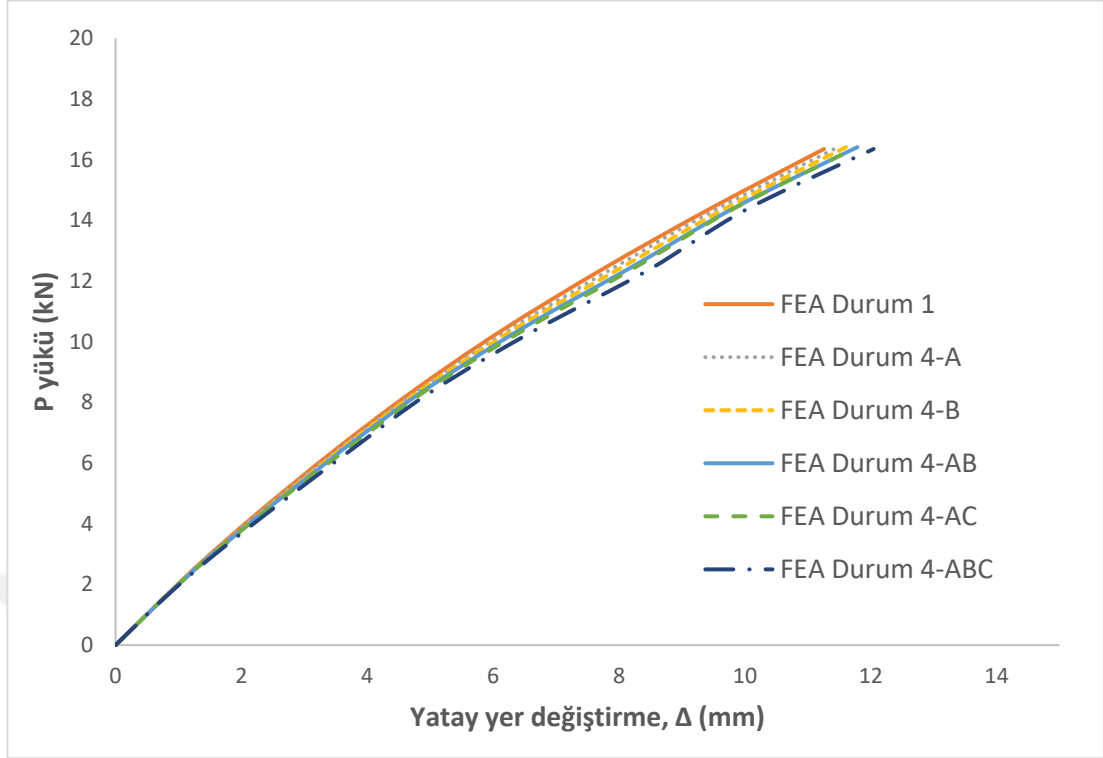
Tablo 6.12'de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 3 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.12: Durum 1 ve Durum 3 için birinci kat yatay yer değıştirme değeri 100 mm için yatay yük değeri.

Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	14,96	-
Durum 3-A	14,43	-3,50
Durum 3-B	14,21	-5,00
Durum 3-AB	13,68	-8,55
Durum 3-AC	13,71	-8,28
Durum 3-ABC	12,95	-13,40

6.3.4 Durum 4

Durum 4, birleşimde yer alan bulonların öngerme kuvvetlerinin hesap öngerme kuvvetinin %75'i olarak uygulandığı durumu ifade etmektedir. Bu durumu inceleyebilmek amacıyla bulonların öngerme kuvveti 134 kN yerine 100 kN olarak uygulanmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.9 ile elde edilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değıştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 4 dikkate alınarak Şekil 6.27'de gösterilmiştir.



Şekil 6.27: Durum 1 ve Durum 4 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

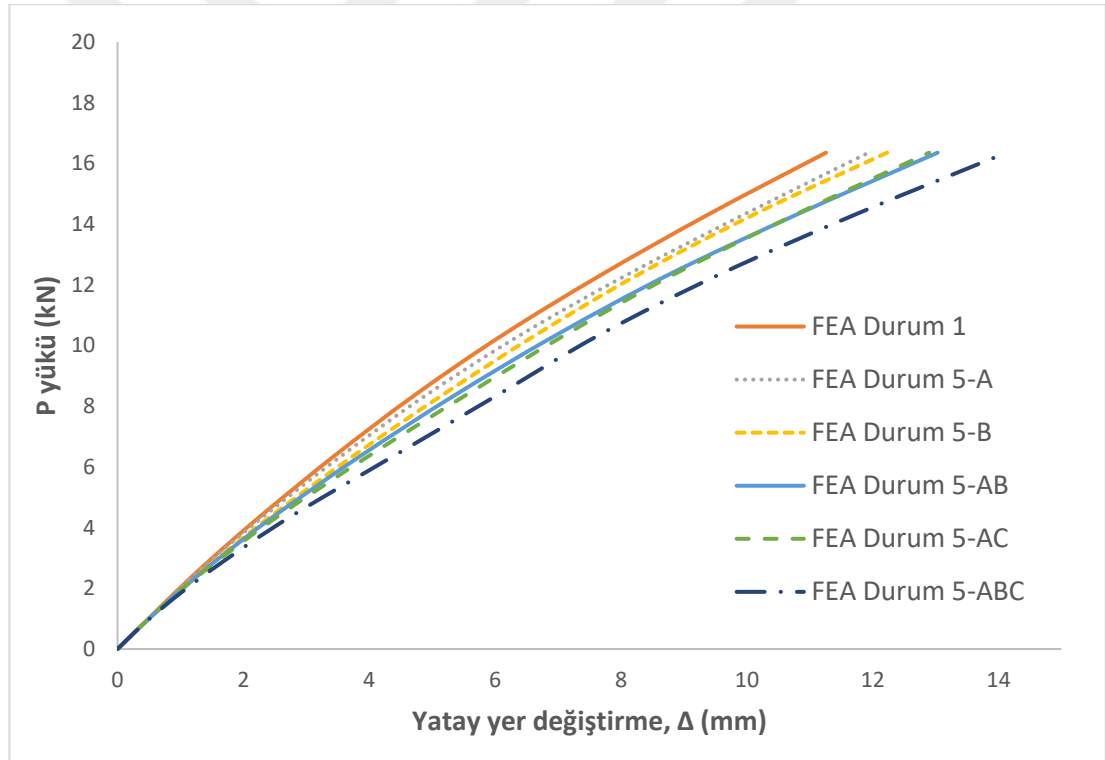
Tablo 6.13’de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 4 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.13: Durum 1 ve Durum 4 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.

Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	14,96	-
Durum 4-A	14,83	-0,84
Durum 4-B	14,66	-1,97
Durum 4-AB	14,49	-3,10
Durum 4-AC	14,47	-3,27
Durum 4-ABC	14,16	-5,33

6.3.5 Durum 5

Durum 5, birleşimde yer alan bulonların öngerme kuvvetlerinin hesap öngerme kuvvetinin %50'si olarak uygulandığı durumu ifade etmektedir. Bu durumu inceleyebilmek amacıyla bulonların öngerme kuvveti 134 kN yerine 67 kN olarak uygulanmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.11 ile elde edilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 5 dikkate alınarak Şekil 6.28'de gösterilmiştir.



Şekil 6.28: Durum 1 ve Durum 5 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

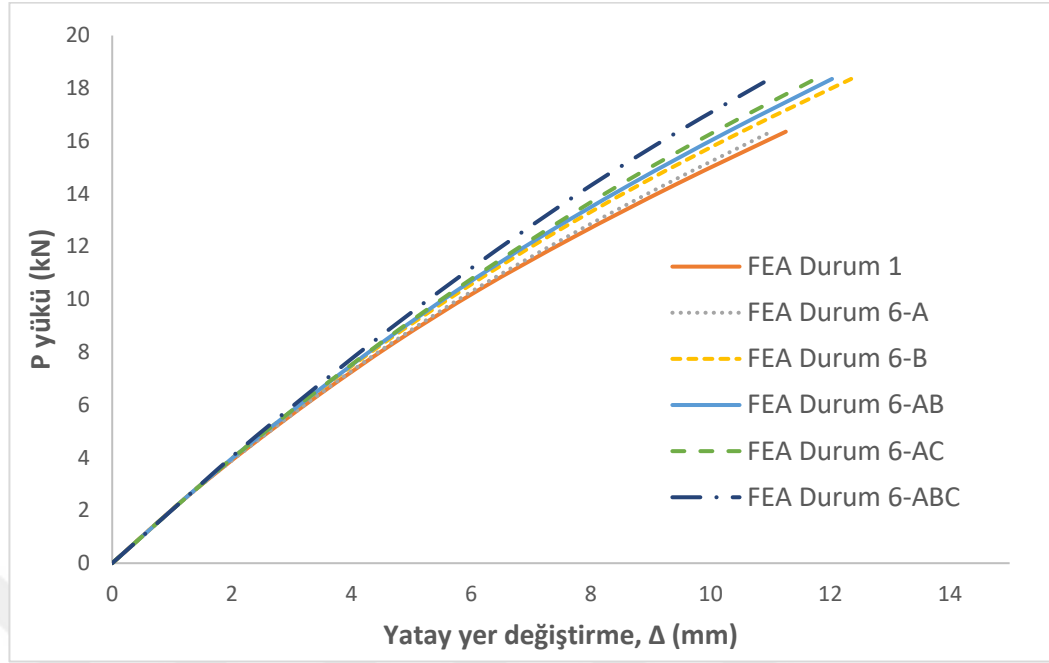
Tablo 6.14'de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 5 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.14: Durum 1 ve Durum 5 için birinci kat yatay yer değıştirme değeri 100 mm için yatay yük değeri.

Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	14,96	-
Durum 5-A	14,34	-4,14
Durum 5-B	14,13	-5,54
Durum 5-AB	13,52	-9,57
Durum 5-AC	13,51	-9,67
Durum 5-ABC	12,75	-14,75

6.3.6 Durum 6

Durum 6, birleşimdeki korniyerlerin kalınlığının referans birleşimdeki korniyer kalınlığından daha kalın alındığı durumu temsil etmektedir. Çalışmada, referans birleşimdeki korniyerden 6,35 mm daha kalın bir korniyer kullanıldığı varsayılmıştır. Bu durumda, korniyerlerin kalınlığı 12,7 mm yerine 19 mm olarak dikkate alınmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.14 ile verilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değıştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 6 dikkate alınarak Şekil 6.29’da gösterilmiştir.



Şekil 6.29: Durum 1 ve Durum 6 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

Tablo 6.15’de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 6 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

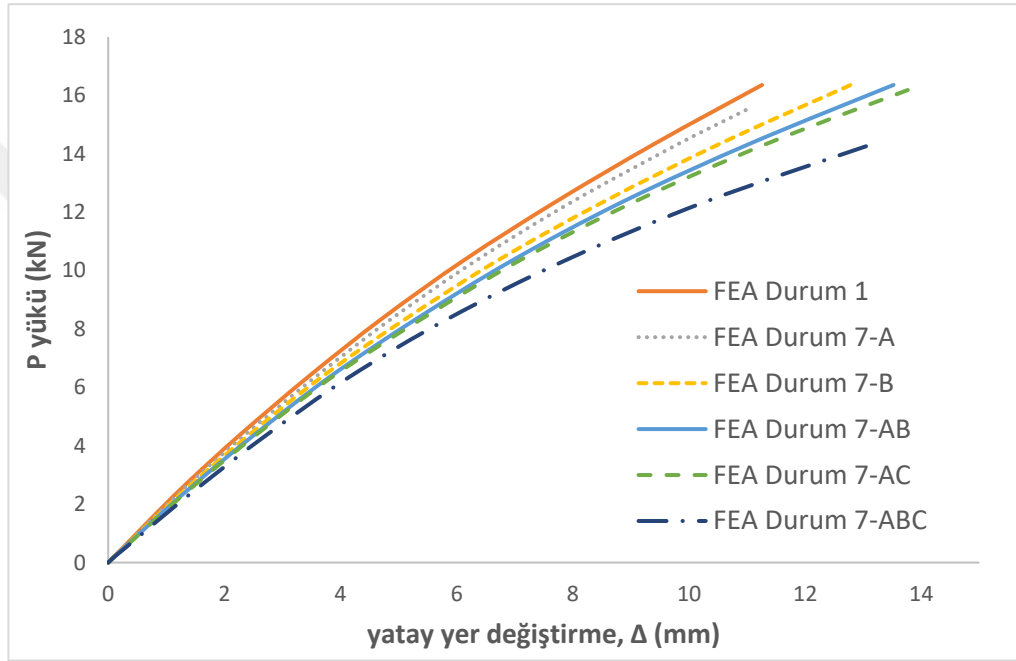
Tablo 6.15: Durum 1 ve Durum 6 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.

Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	14,96	-
Durum 6-A	15,19	1,56
Durum 6-B	15,71	5,05
Durum 6-AB	15,96	6,74
Durum 6-AC	16,22	8,46
Durum 6-ABC	17,04	13,91

6.3.7 Durum 7

Durum 7, birleşimdeki korniyerlerin kalınlığının referans birleşimdeki korniyer kalınlığından daha ince alındığı durumu temsil etmektedir. Çalışmada, referans birleşimdeki korniyerden 6,35 mm daha ince bir korniyer kullanıldığı varsayılmıştır.

Bu durumda, korniyerlerin kalınlığı 12,7 mm yerine 6,35 mm olarak dikkate alınmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.17 ile verilmiştir. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 7 dikkate alınarak Şekil 6.30'da gösterilmiştir.



Şekil 6.30: Durum 1 ve Durum 7 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

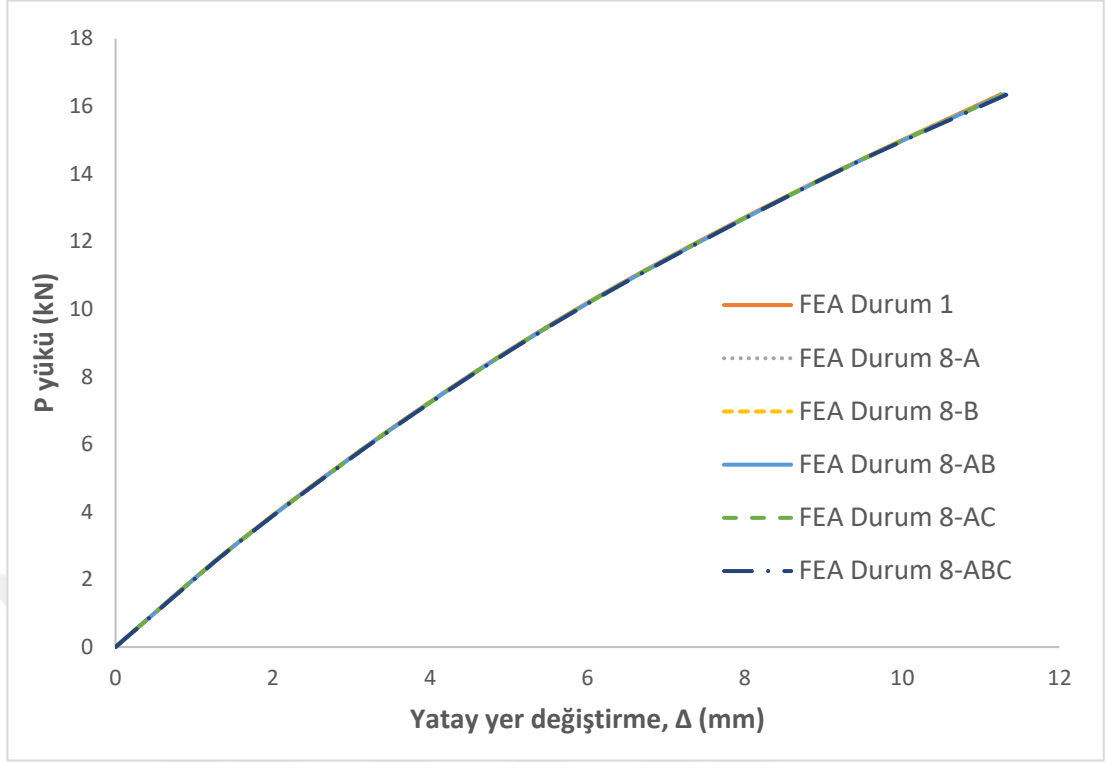
Tablo 6.16'de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 7 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.16: Durum 1 ve Durum 7 için birinci kat yatay yer değıştirme değeri 100 mm için yatay yük değeri.

Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	14,96	-
Durum 7-A	14,52	-2,93
Durum 7-B	13,77	-7,93
Durum 7-AB	13,37	-10,60
Durum 7-AC	13,16	-11,99
Durum 7-ABC	12,01	-19,67

6.3.8 Durum 8

Durum 8, kolona bağlanan bulonlar için bulon delik çaplarının referans modele göre 5 mm daha büyük açıldığı durumu temsil etmektedir. Bu durumu için korniyerlerin kolona bağlı olan delik çapları 20,62 mm yerine 25,4 mm olarak açılmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.20 ile elde edilmiştir. Delik çapının büyük açılması durumunda bulonların merkezlerinin değışmediğı, sadece delik çapının arttırıldığı durum dikkate alınmış ve analizlere yansıtılmış olup, elde edilen sonuçlar bu varsayıma dayanmaktadır. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değıştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 8 dikkate alınarak Şekil 6.31’de gösterilmiştir.



Şekil 6.31: Durum 1 ve Durum 8 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

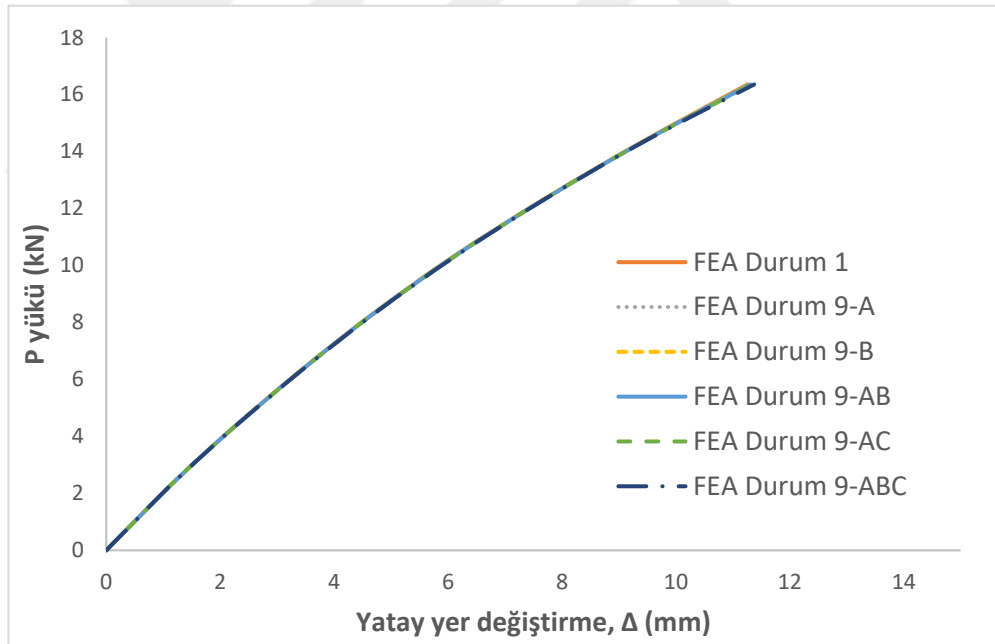
Tablo 6.17’de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 8 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.17: Durum 1 ve Durum 8 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.

Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	14,96	-
Durum 8-A	14,95	-0,05
Durum 8-B	14,94	-0,11
Durum 8-AB	14,93	-0,20
Durum 8-AC	14,92	-0,22
Durum 8-ABC	14,90	-0,37

6.3.9 Durum 9

Durum 9, kirişle bağlanan bulonlar için bulon delik çaplarının referans modele göre 5 mm daha büyük açıldığı durumu temsil etmektedir. Bu durumu için korniyerlerin kirişle bağlı olan delik çapları 20,62 mm yerine 25,4 mm olarak açılmış ve moment-dönme ilişkisi Şekil 6.23 ile elde edilmiştir. Delik çapının büyük açılması durumunda bulonların merkezlerinin değişmediği, sadece delik çapının artırıldığı durum dikkate alınmış ve analizlere yansıtılmış olup, elde edilen sonuçlar bu varsayıma dayanmaktadır. Moment-dönme ilişkisi çerçevenin A, B, A ile B, B ile C ve A, B ile C birleşim noktalarına ayrı ayrı tanımlanmış ve analizler yapılmıştır. Yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişki Durum 1 ve Durum 9 dikkate alınarak Şekil 6.32’de gösterilmiştir.



Şekil 6.32: Durum 1 ve Durum 9 için yatay P yükü ile birinci kat yatay yer değiştirmesi ilişkisi

Tablo 6.18’de birinci katın 100 mm yatay yer değiştirmesine karşılık gelen yatay P yükü değerleri Durum 1 ve Durum 9 için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.18: Durum 1 ve Durum 9 için birinci kat yatay yer değiştirme değeri 100 mm için yatay yük değerleri.

Durumlar	P yükü (kN)	Fark (%)
Durum1	14,96	-
Durum 9-A	14,95	-0,04
Durum 9-B	14,93	-0,15
Durum 9-AB	14,92	-0,22
Durum 9-AC	14,91	-0,28
Durum 9-ABC	14,88	-0,48

6.4 Sayısal Uygulama Sonuçları

Stelmack'ın [37, 46] tarafından tasarlanmış iki katlı ve tek açıklıklı çerçeve ile tek katlı ve iki açıklıklı çerçeve çeşitli durumlar dikkate alınarak incelenmiştir. İncelenen sayısal örnekler değerlendirildiğinde; analizlerde dikkate alınan farklı durumların iki katlı ve tek açıklıklı çerçeveyi tek katlı ve iki açıklıklı çerçeveye göre daha çok etkilediği görölmüştür. Her iki çerçeve sistemi için de çekme bölgesindeki kiriş ile kolon birleşimindeki bir bulonun eksik olması durumu değerlendirildiğinde, kolona bağlı olan bulonun eksik olması kirişe bağlanan bulonun eksik olmasından daha kritiktir. Bulonların öngerme değerlerinin olması gerektiğinden düşük tanımlandığı durumlarda çerçeve davranışı etkilenmektedir. Bu nedenle öngerme değerlerinin hassas şekilde uygulanması önemlidir. Kiriş ile kolon birleşimlerini oluşturan korniyer elemanların kalınlıklarının kalın olduğu çerçevelerde çerçevelerin yük taşıma kapasitelerinde belirgin bir artış olduğu görölmüştür. Benzer şekilde, korniyer elemanların kalınlıklarının referans sisteme göre daha ince olduğu sistemlerde yük parametresi açısından en düşük değerin elde edildiği ve bu durumun kritik olduğu görölmüştür. Korniyerlerin delik çaplarını bir miktar geniş seçildiği durumlar değerlendirildiğinde, bu durumların diğer durumlara göre etkisi oldukça sınırlıdır.

Bölüm 7

Sonuçlar

Bu çalışmada çelik yapılarda kullanılan kiriş ile kolon birleşimlerinin davranışları incelenmiş, birleşimlerin moment-dönme ilişkileri araştırılmış ve çerçeve sistemler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada imalat hatalarını temsil etmek amacıyla bulonlu birleşimlerde birer adet bulonun birleşimde yer almaması, hesap ön germe değerlerinin tam değer olarak uygulanamaması gibi çeşitli imalat hatası durumları incelenmiştir. Çalışmada incelenen kiriş ile kolon birleşimlerin yarı-rijit davranışları sonucu elde edilen bulgular aşağıda özetlenerek sunulmuştur.

- Kiriş ile kolon birleşimlerin moment-dönme ilişkilerinin incelenebilmesi için Azizinami'nin [4] 8Sx ve 14Sx deney numuneleri dikkate alınmıştır. 8Sx birleşimleri için elde edilen nihai momentler bakımından incelendiğinde; Azizinami'nin [4] deney sonuçları ile bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri arasındaki en büyük farkın %13 olduğu görülmüştür. Power Model ve Polinom Model için ise bu fark sırasıyla %23 ve %20 şeklindedir. Çıtıptıoğlu vd. çalışmasında ise en büyük fark %19 civarındadır. Benzer şekilde, 14Sx birleşimleri için nihai momentler bakımından incelendiğinde; Azizinami'nin [4] deney sonuçları ile bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri arasındaki en büyük farkın yaklaşık %12 olduğu görülmüştür. Power Model ve Polinom Model için ise bu fark sırasıyla %12 ve %25 şeklindedir. Çıtıptıoğlu vd. çalışmasında ise en büyük fark %23 civarındadır.
- Çalışmada kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlar nihai moment açısından kendi içerisinde değerlendirildiğinde; 8S7, 8S9 ve 8S10 ile

14S2, 14S3, 14S6 ve 14S8 birleşimleri için elde edilen sonuçlarının Azizinami'nin [4] deney sonuçlarına oldukça yakın olduğu görülmüştür.

- Bulonlu birleşimlerdeki imalat hatalarının yapı davranışına etkilerini incelemek amacıyla Azizinamini'nin 8Sx [4] modelleri dikkate alınmış ve birleşimlerde birer bulonun eksik olması durumu incelenmiştir. Çalışmada 8Sx kapsamında yer alan dokuz adet farklı birleşim için yedi farklı durumda sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Çekme bölgesindeki kolona bağlı olan korniyerde bir bulon olmaması durumu birleşimlerin moment-dönme ilişkisi üzerinde en büyük etkiyi göstermiştir. Benzer şekilde, çekme bölgesindeki kirişe bağlı olan korniyerin de bir bulonun olmaması durumunun da etkili olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, gövde korniyerinden bir bulon eksik olması durumu incelenen diğer durumlara göre moment-dönme ilişkisi üzerinde daha sınırlı bir değişime neden olduğu tespit edilmiştir.
- Bulonlu birleşimlerdeki imalat hatalarının etkilerini incelemek amacıyla Azizinamini'nin 8Sx [4] modellerinde ön germenin tam değer olarak uygulanmaması durumu incelenmiştir. Çalışmada, öngerme değerleri tam değer %75, %50 ve %25 oranlarında düşük alındığı durumlar incelenmiş ve nihai moment değerlerinde sırasıyla %11, %28 ve %50 azalma olduğu görülmüştür. Bulonlu birleşimlerde ön germe değerlerinin hesap değerlerine göre birleşimlere yansıtılmasının önemi sayısal olarak görülmüştür.
- Kiriş ile kolon birleşimlerinin çerçeve sistem davranışı üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla pratik bir yaklaşım yapılmış ve sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen moment-dönme ilişkileri çubuk elemanlar ile modellenmiş çerçeve sistemlere uygulanarak yapı davranışı incelenmiştir. Literatürden seçilen çerçeve örnekler dikkate alınarak analizler yapılmış ve pratik modellemenin incelenen örnekler için literatür sonuçları ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

- Çalışmada kiriş ile kolon birleşimleri oluşturan bileşenlerin çelik çerçeve davranışı üzerine olan etkileri Stelmack [37]'in çelik çerçeveleri dikkate alınarak incelenmiştir. Aynı zamanda, birleşimlerde meydana gelmesi muhtemel çeşitli imalat ve montaj hatalarının çelik çerçeve davranışına etkisi pratik şekilde araştırılmıştır. Birleşimde bir adet eksik bulon kullanılması, hesap öngerme değerlerinin tam değer olarak uygulanamaması ve birleşimi oluşturan bileşenlerin kalınlıklarının farklı seçilmesi gibi uygulamada karşılaşılabilecek çeşitli durumlar göz önüne alınmış ve kiriş ile kolon birleşimlerde meydana gelebilecek bu tür imalat hatalarının çerçeve sistemler üzerine olan etkileri ayrı ayrı dikkate alınarak sayısal örnekler üzerinde incelenmiştir. İncelenen sayısal örnekler değerlendirildiğinde; analizlerde dikkate alınan farklı durumların iki katlı ve tek açıklıklı çerçeveyi tek katlı ve iki açıklıklı çerçeveye göre daha çok etkilediği görülmüştür.
- Stelmack [37]'in çelik çerçeveleri için çekme bölgesindeki kiriş ile kolon birleşimindeki bir bulonun eksik olması durumu kendi içerisinde değerlendirildiğinde, kolona bağlı olan bulonun eksik olması durumunun kirişe bağlanan bulonun eksik olması durumuna göre çerçevelerin davranışını daha büyük oranda etkilediği görülmüştür.
- Stelmack [37]'in çelik çerçeveleri dikkate alınarak bulonların ön germe değerlerinin olması gerektiğinden düşük tanımlanması durumu incelendiğinde; çerçeve davranışlarının bu durumdan önemli şekilde etkilendiği yük parametresi ile deplasman ilişkilerinden görülmüştür.
- Stelmack [37]'in çelik çerçeveleri dikkate alınarak kiriş ile kolon birleşimlerini oluşturan korniyer elemanların kalınlıklarının değişimi açısından da analizler yapılmıştır. Korniyerlerin referans modele göre kalın olduğu çerçevelerde, çerçevelerin yük taşıma kapasitelerinde belirgin bir artış olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, korniyer elemanların kalınlıklarının referans sisteme göre daha ince olduğu sistemlerde yük parametresi açısından en düşük değerin elde edildiği ve bu durumun kritik olduğu görülmüştür.

- Stelmack [37]'in elik çerçeveleri dikkate alınarak kiriş ile kolon birleşimlerini oluşturan korniyerlerin delik çaplarının sınırlı bir miktarda geniş açılması durumu da ayrıca değeriendirilmiştir. Delik çaplarının sınırlı bir miktarda büyük açıldığı durumlar değeriendirildiğinde, bu durumların diğeri durumlara göre etkisi oldukça sınırlı olduğu görülmüştür.



Kaynaklar

- [1] Faella C, Piluso V, Rizzano G. Structural Steel Semi Rigid Connections Theory Design and Software, CRC Press LLC, New York; 2000.
- [2] Chen WF, Kishi N, Komuro M. Semi-Rigid Connections Handbook, J. Ross Publishing, Inc; 2011.
- [3] Rathbun J. Elastic properties of riveted connections. Transactions of the American Society of Civil Engineers 1936; 101: 524-563.
- [4] Azizinamini, A. Cyclic characteristics of bolted semi-rigid steel beam to column connections (doktora tezi). Columbia: University of South Carolina; 1985.
- [5] Calado L, De Matteis G, Landolfo R. Experimental response of top and seat angle semi-rigid steel frame connections. Materials and Structures 2000; 33(8): 499-510.
- [6] Komuro M, Kishi N, Hasan R. Quasi-static loading tests on moment-rotation behavior of top-and seat-angle connections. STESSA 2003 Conference 2008; 329-334.
- [7] Kishi N, Chen WF. Moment-rotation relations of semirigid connections with angles. Journal of Structural Engineering 1990; 116(7): 1813-1834.
- [8] Krishnamurthy N, Graddy DE. Correlation between 2-and 3-dimensional finite element analysis of steel bolted end-plate connections. Computers & Structures 1976; 6(4): 381-389.
- [9] Krishnamurthy N. Modelling and prediction of steel bolted connection behavior. Computers & Structures 1980; 11(1): 75-82.

- [10] Kılıç, R. Çelik çerçevelerin boyutlandırılmasında kiriş – kolon bağlantı türlerinin etkisi (yüksek lisans tezi). Ankara: Gazi üniversitesi; 2012. <https://tez.yok.gov.tr/>
- [11] Yang JG, Murray T, Plaut R. Three-dimensional finite element analysis of double angle connections under tension and shear. *Journal of Constructional Steel Research* 2000; 54(2): 227-244.
- [12] Kishi N, Ahmed A, Yabuki N, Chen WF. Nonlinear finite element analyses of top and seat-angle with double web-angle connections. *International Journal of Structural Engineering and Mechanics* 2001; 12: 201–214.
- [13] Citipitioglu AM, Haj-Ali RM, White DW. Refined 3D finite element modeling of partially restrained connections including slip. *Journal of Constructional Steel Research* 2002; 8: 995–1013.
- [14] Danesh F, Pirmoz A, Daryan A. Effect of shear force on initial stiffness of top and seat angle connections with double web angles. *Journal of Constructional Steel Research* 2007; 63(9): 1208–18.
- [15] Pirmoz A, Daryan A, Mazaheri A, Darbandi HE. Behavior of bolted angle connections subjected to combined shear force and moment. *Journal of Constructional Steel Research* 2008; 64: 436–446.
- [16] Uslu, CH. 3-D Finite Element Analysis of Semi rigid Steel Connections (yüksek lisans tezi). Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2009. <https://tez.yok.gov.tr/>
- [17] Uslu CH, Saritas A. Mathematical models for semi-rigid connections top and seat angles with double web angle connection. ACE2010: Proceedings of the 9th International Congress on Advances in Civil Engineering; 27-30 September 2010; Trabzon, Turkey.
- [18] Daryan AS, Ziaei MS, Sadrnejad A. The behavior of top and seat bolted angle connections under blast loading. *Journal of Constructional Steel Research* 2011; 67: 1463–1474.

- [19] Azap, NM. Modeling of nonlinear behavior of steel beam to column semi-rigid connections with 3-d solid finite elements (yüksek lisans tezi). Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2013. <https://tez.yok.gov.tr/>
- [20] Abdalla KM, Drosopoulos A, Stavroulakis E. Failure behavior of a top and seat angle bolted steel connection with double web angles. *Journal of Structural Engineering* 2014; 141(7). doi.org:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001132
- [21] Doğan, E. Optimum design of rigid and semi-rigid steel sway frames including soil-structure interaction (doktora tezi), Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2010. <https://tez.yok.gov.tr/>
- [22] Chan SL, Chui PT. Non-linear Static and Cyclic Analysis of Steel Frames with Semi-rigid Connections, 1st ed. Elsevier; 2000.
- [23] Chen WF, Goto Y, Liew JY. Stability Design of Semi-Rigid Frames, 1st ed. Wiley-Interscience Publication; 1996.
- [24] Frye MJ, Morris GA. Analysis of flexibly connected steel frames. *Canadian Journal of Civil Engineering* 1975; 2: 280-291.
- [25] Cox MG. The numerical evaluation of B-splines. *Journal of Applied Mathematics* 1972; 10(2): 134-149.
- [26] Batho C, Lash SD. Further investigations on beam and stanchion connections encased in concrete. *Department of Scientific and Industrial Research* 1936; 276-363.
- [27] Kishi N, Chen WF. Moment-Rotation of Semi-Rigid Connections. *Structural Engineering Report*, No. CE-STR-87-29, School of Civil Engineering, Purdue University, Indiana; 1987.
- [28] Ramberg W, Osgood WR. Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters, *National Advisory Committee for Aeronautics*, Washington DC; 1943.

- [29] Ang KM, Morris GA. Analysis of three-dimensional frames with flexible beam-column connections. Canadian Journal of Civil Engineering 1984; 11: 245-254. doi.org:10.1139/l84-037
- [30] Kishi N, Chen WF. Steel Connection Data Bank Program, Stuctural Engineering Report, No. CE-STR-86-11, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette; 1986.
- [31] Kishi N, Chen WF. Data Base of Steel Beam-To-Column Connections, vols. I and II, Stuctural Engineering Report, No. CE-STR-86-26, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette; 1986.
- [32] Richard RM, Abbott BJ. Versatile elastic-plastic stress-strain formula, Journal of Engineering Mechanins 1975; 101(4): 511-515.
- [33] Hibbit, Karlsson, Sorenson. ABAQUS Analysis User's Guide, Inc, Pawtucket, RI; 2011.
- [34] Kutay, K. Kiriş ucu plastik mafsalsal bölgesindeki tam dayanımlı bulonlu kiriş ekinin kiriş - kolon birleşim davranışına etkisinin araştırılması (yüksek lisans tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi; 2017. <https://tez.yok.gov.tr/>
- [35] Alhendi H, Mahmoud M, Celikag M. Numerical investigation of top and seat with double web angle connection with high strength steel. Journal of Construction Steel Research 2020; 174: 106-297.
- [36] AISC. Manual of steel construction—load and resistance factor design. Chicago (IL): American Institute of Steel Construction; 1995.
- [37] Stelmack TW. Analytical and experimental response of flexibly-connected steel frames (yüksek lisans tezi). United State: University of Colorado; 1982.
- [38] Vogel U. Calibrating frames. Stahlbau 1985; 54(10): 295–301.
- [39] Chen WF, Kim SE. LRFD steel design using advanced analysis. CRC Press; 1997.

- [40] Huu CN, Nguyen PC, Kim SE. Second-order plastic-hinge analysis of space semi-rigid steel frames. *Thin-Walled Structures* 2012; 60: 98–104.
- [41] Nguyen PC. Nonlinear analysis of planar semi-rigid steel frames subjected to earthquake excitation by plastic-zone method (yüksek lisans tezi). Vietnam: Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology; 2010.
- [42] Chen WF, Goto Y, Liew JY. *Stability Design of Semi-Rigid Frames*. 1st ed. John Wiley and Sons; 1996.
- [43] Lui EM, Chen WF. Behaviour of braced and unbraced semi rigid frames. *Int. J. Solids Structures* 1988; 24(9): 893-913.
- [44] Ostrander JR. *An Experimental Investigation of End-Plate Connections* (yüksek lisans tezi). Saskatchewan: University of Saskatchewan; 1970.
- [45] Ehsan, H, Seçer M. Numerical Analysis of Flush End-Plate Beam-to-Column Connection using Mathematical Model and Finite Element Analysis, 5. Uluslararası Öğrenciler Fen Bilimleri Kongresi Bildiriler Kitabı, Mayıs 2018, İzmir – Türkiye.
- [46] Youssef W, Aktan AM, Olowokere OD. Seismic response of low-rise steel frames. *J. Struct. Eng.* 1989; 115: 594-607.

Özgeçmiş

Adı Soyadı: Mohammad Haroon EHSAN

Eğitim:

2012–2016 Jawzjan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Jawzjan,
Afganistan

2017–2018 İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Türkçe Öğretimi Uygulama ve
Araştırma Merkezi.

Yayınlar:

Ehsan, H. ve Seçer, M. Numerical Analysis of Flush End-Plate Beam-to-Column Connection using Mathematical Model and Finite Element Analysis, 5. Uluslararası Öğrenciler Fen Bilimleri Kongresi Bildiriler Kitabı, Mayıs 2018, İzmir – Türkiye.