



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İNCE ALIN LEVHALI BİRLEŞİMLERİN  
SİSMİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Fatih YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2024  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ KABUL VE ONAYI

Fatih YILMAZ tarafından hazırlanan “İNCE ALIN LEVHALI BİRLEŞİMLERİN SİSMİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 26/04/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Ceyhun AKSOYLU

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Yasin Onuralp ÖZKILIÇ

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ....../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU  
FBE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Fatih YILMAZ

Tarih: 23.05.2024



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## İNCE ALIN LEVHALI BİRLEŞİMLERİN SİSMİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

**Fatih YILMAZ**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç.Dr. Yasin Onuralp ÖZKILIÇ**

**2024, 96 Sayfa**

**Jüri**

**Doç.Dr. Yasin Onuralp ÖZKILIÇ  
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ  
Doç. Dr. Ceyhun AKSOYLU**

Çelik yapılar sismik yüklerde sünekliliği ve dayanımı oldukça yüksek olduğu düşünülmektedir. Northbridge depreminden sonra incelenen yapılarda gevrek göçmeler gözlenmiştir. Kaynaklı birleşimlere alternatif olarak alın levhali birleşimler önerilmiştir. Bu birleşim basit imalata ve kolay montaja sahiptir. Bu çalışmada dört cıvatalı uzatılmış alın levhali birleşimleri çevrimsel yükler etkisinde deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. 6 adet rijitlik levhali, 6 adet rijitlik levhasız olmak üzere 12 adet deney numunesi seçilmiştir. Parametreler olarak cıvataların hem başlığa hem de gövdeye olan mesafesine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca literatürde yapılan deneysel, numerik ve analitik çalışmalar irdelenmiştir. Bunun yanı sıra (Özkılıç 2023a,2023b) de önerilen denklemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları değerlendirildiğinde  $p_f$  değerinin azalmasıyla maksimum yük ve plastik taşıma kapasiteleri artmıştır.  $g$  mesafesinin azalmasıyla plastik kapasite artmıştır. Rijitlik levhası kapasiteyi ciddi şekilde arttırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Alın levhali birleşimler, rijitlik levhali, rijitlik levhasız, Uzatılmış alın levhali birleşimler

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**INVESTIGATION OF SEISMIC BEHAVIOR OF THIN END-PLATE JOINTS**

**Fatih YILMAZ**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc.Prof.Dr. Yasin Onuralp ÖZKILIÇ**

**2024, 96 Pages**

**Jury**

**Asst.Prof.Dr. Yasin Onuralp ÖZKILIÇ**

**Asst. Prof. Ali Serdar ECEMİŞ**

**Asst.Prof.Dr. Ceyhun AKSOYLU**

Steel structures were thought to have very high ductility and strength under seismic loads. Brittle failures were observed in the structures examined after the Northridge earthquake. End-plate connections have been proposed as an alternative to welded connections. This combination has simple manufacturing and easy assembly. In this study, it is aimed to experimentally examine four-bolt extended end-plate connections under the influence of cyclic loads. 12 test samples were selected, 6 with unstiffened and 6 stiffened. Parameters were evaluated according to the distance of the bolts from both the head and the body. Additionally, experimental, numerical and analytical studies in the literature were examined. In addition, the results obtained with the proposed equations in (Özkılıç 2023a, 2023b) were compared. When the test results were evaluated, the maximum load and plastic carrying capacities increased with the decrease of the  $p_f$  value. As the  $g$  distance decreased, the plastic capacity increased. The rigidity plate has significantly increased the capacity.

**Keywords:** End-plate connection, stiffened, unstiffened, extended end-plate connection

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında desteğini ve tecrübelerini aktaran değerli danışman hocam Doç. Dr. Yasin Onuralp ÖZKILIÇ'a ve yüksek lisans eğitim sürecinde bilgilerini ve tecrübelerini paylaşan değerli hocalarıma saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Kamil YILMAZ, annem Arzu YILMAZ, kardeşim Begüm YILMAZ, ablam Saliha GÖNEN ve eşi İbrahim GÖNEN'e teşekkür ederim.

Fatih YILMAZ  
KONYA-2024

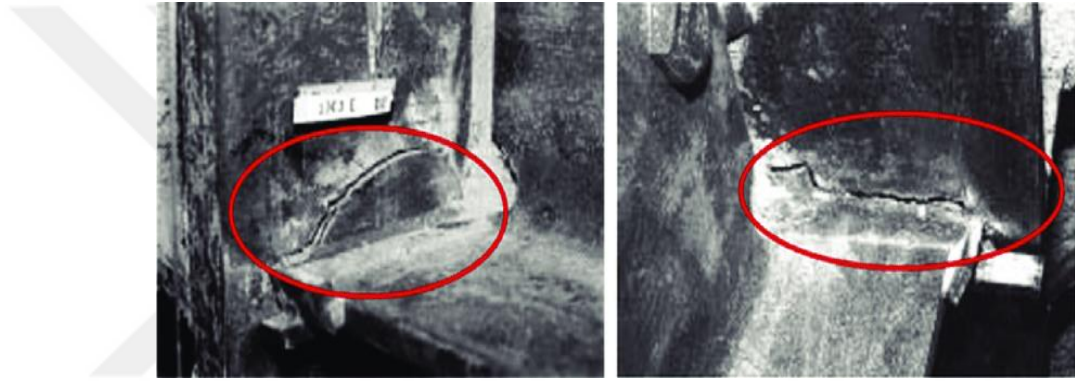
# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı ve Önemi .....	3
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Deneysel Çalışmalar .....	3
2.2. Numerik Çalışmalar .....	28
2.3. Analitik Çalışmalar .....	42
<b>3. ALIN LEVHALI BİRLEŞİMLER.....</b>	<b>44</b>
3.1. Alın Levha Çeşitleri .....	45
3.1.1. Düz Alın Levhalı Birleşim.....	45
3.1.2. Uzatılmış Alın Levhalı Birleşim.....	46
3.2. Akma Çizgisi Modeli .....	46
3.3. Prying Etkisi .....	47
3.4. AISC .....	49
3.4.1. Rijitlik Levhasız Alın Levhalarında Akma Çizgileri.....	49
3.4.2. Rijitlik Levhalı Alın Levhalarında Akma Çizgileri.....	52
3.4.3. Rijitlik Levhasız Alın Levhalarında Prying Etkiler.....	54
3.4.4. Rijitlik Levhalı Alın Levhalarında Prying Etkiler .....	55
3.5. Eurocode .....	58
3.6. Önerilen Denklemler.....	61
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>63</b>
<b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>66</b>
5.1. <i>pf</i> Mesafesinin Etkileri .....	71
5.2. <i>g</i> Mesafesinin etkileri .....	75
5.3. Rijitlik levhasının etkileri .....	77
5.4. Kapasite hesaplarının değerlendirilmesi .....	79
5.5. Göçme Modları .....	85
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>88</b>



## 1. GİRİŞ

Çelik yapıların sismik yükler altında iyi bir dayanım ve sünek bir davranış gösterdiği bilmektedir. 1994'te gerçekleşen Northridge depreminden sonra moment taşıyan çelik çerçevesel hasarlı yapılar incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda çelik yapıların bilinen aksine kiriş kolon bağlantılarının gevrek bir şekilde kırılmaları gözlenmiştir. Moment taşıyan çelik çerçevesel yapılarda kolon-kiriş birleşim yerleri üzerinde araştırmalar yapılmış ve yönetmeliklerde yerini almıştır (Bayülke Nejat, 2003). Northridge depreminde meydana gelen özellikle kaynak yerlerine yakın bir şekilde gevrek kırılmalar Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.

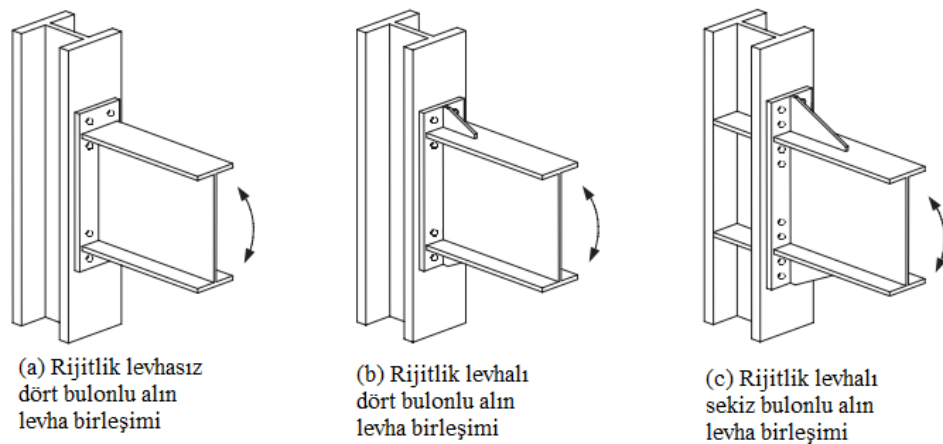


Şekil 1.1 1994 Northridge depreminde kaynaklı kiriş-kolon bağlantılarının gevrek kırılma örnekleri (Muto ve Krishnan, 2011)

Moment aktaran birleşimlerden biri de alın levhalı birleşimlerdir. Alın levhalı birleşimler, Amerika Birleşik Devletleri'nde öncelikle ön mühendisliği yapılmış endüstriyel binalarda kullanılmaktadır (Murray, 1988). Uzatılmış alın levhalı birleşimler, moment aktaran çerçevelerin kiriş-kolon bağlantıları ve dış merkezi çaprazlı çelik çerçevelerdeki değiştirilebilir bağ kirişlerinin bağlantıları dahil olmak üzere bir dizi uygulamada kullanılır (Özkılıç ve Topkaya, 2021a).

Alın levhalı moment aktaran birleşimi, kirişin ucuna alın levhası kaynaklanarak diğer yapı elamanına yüksek mukavemete sahip cıvatalarla birleşmesinden oluşur. Alın levhalı moment aktaran birleşim kiriş-kolon ya da kiriş-kiriş birleşimleri de olabilir. Alın levhalı moment aktaran birleşimler uzatılmış ve düz alın levhalı olmak üzere iki kısma ayrılır. Düz alın levhalı birleşimler de alın levhasının boyu kiriş yüksekliğine eşittir. Uzatılmış alın levhalı birleşimde ise, alın levhasının uzunluğu kirişin yüksekliğini aşarak

uzatılmasını ifade eder. Bu birleşimlerin gerekliliğine göre alın levhası ile kirişin başlığı arasına rijitlik levhası (Şekil 1.2b,1.2c) ve kiriş başlıklarının hizasına kolon başlıklarının arasına süreklilik levhası (Şekil 1.2c) eklenerek kullanılabilir. Şekil 1.2.a'da 4 bulonlu rijitlik levhasız uzatılmış alın levhalı birleşim, Şekil 1.2.b'de 4 bulonlu rijitlik levhalı uzatılmış alın levhalı birleşim, Şekil 1.2.c'de ise 8 bulonlu rijitlik levhalı ve süreklilik levhalı uzatılmış alın levhalı birleşim görülmektedir. Alın levhalı moment birleşimleri kullanımı birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Sahada kurulum sırasında kaynak işçiliğini ortadan kaldırmakta ve her türlü iklim koşulunda saha montajını kolaylaştırmaktadır. Alın levhalı birleşimlerin kullanıldığı taşıyıcı sistemlerin kurulumu kaynaklı birleşimden oluşturulmuş taşıyıcı sistemlere göre daha hızlı ve ekonomiktir. Çelik taşıyıcı sistemlerin analizinde kolon-kiriş mesnet davranışı rijit veya serbest olarak idealize edilir. Ancak gerçek mesnet davranışı bu iki sınır durum arasındadır. Son yıllarda alın levhalı birleşimlerin davranışını incelemek üzere deneysel ve analitik birçok araştırma yapılmıştır (A. İ. Akgönen ve Güneş, 2017).



Şekil 1.2. Uzatılmış alın levha bağlantı düzenleri (ANSI/AISC)

Alın levhalı birleşimlerin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bağlantının kış koşullarında uygulanabilirliği sahada cıvatalamanın gerekli olması nedeniyle uygundur ayrıca bağlantının kaynakları atölyede yapıldığından sahada oluşacak problemleri azaltır. Sahada yapılan kaynaklı birleşimlere göre uygulama süresi hızlıdır ve maliyeti düşüktür. Üretilen elemanlar hatasızsa çerçevenin düzgünlüğünü korumak kolaydır. Yapılarda diğerlerine nispeten maliyeti daha uygundur. Kirişin fiziksel özelliklerinin hassasiyetinden dolayı üretim şartları zordur. Kolonun dış yapısının düzgünlüğü ve derinliğinde oluşan hata paylarından dolayı montajında sorunlar

oluşabilir. Kaynağın yapımında meydana gelen ısıdan dolayı özellikle ince alın levhalar eğilebilir. Ayrıca alın levhanın üst başlığının çekme bölgesindeki kaynağından dolayı katmanlı yırtılmalar görülebilir. Rijitlik levhalı alın levhasında daha büyük bir kolon kullanımında bitmiş kata uzanabilir ve katın kullanılabilir alanını azaltabilir.

### **1.1. Tezin Amacı ve Önemi**

Çelik yapılarda yapının en kritik bölgesi kiriş-kolon birleşim yerleridir. Yaygın olarak kullanılan birleşimlerden biri de alın levhalı birleşimlerdir. Alın levhalı birleşimlerin kapasitesini bir çok değişken etkilemektedir. Bu değişkenlerin etkileri konusunda özellikle ince alın levhalı birleşimler için oldukça az sayıda deneysel çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma rijitlik levhalı ve rijitlik levhasız ince alın levhalı kolon-kiriş birleşimlerinin farklı cıvata mesafeleriyle beraber çevrimsel yükler altındaki performansı deneysel olarak incelemeyi amaçlamaktadır. İnceleme sonucunda alın levhalı birleşimlerin performansı dönme ve moment kapasitelerine bakılarak irdelenecektir.

## **2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

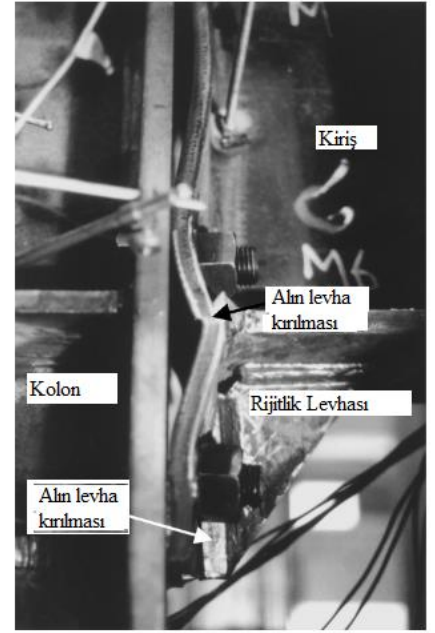
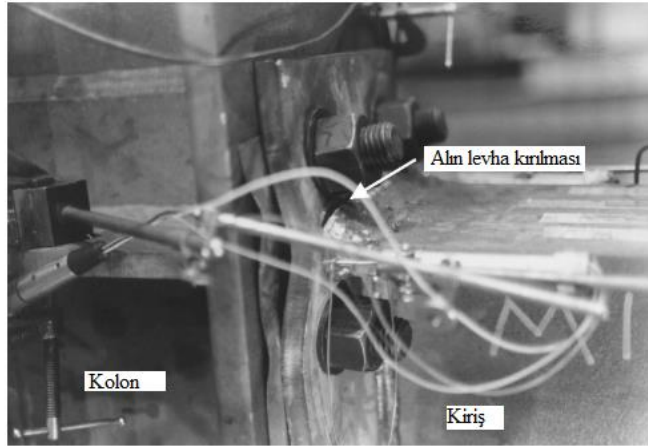
### **2.1. Deneysel Çalışmalar**

Uzatılmış alın levhalı birleşimlerde yapılan döngüsel yükleme etkisinde bağlantının davranışı incelenmiştir. B. Adey, Grondin ve Cheng, (2000) yaptıkları deneysel çalışmada döngüsel yük altında davranışını deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Rijitlik levhalarının bağlantıya eklenmesi eğilme mukavemetine ve akma bölgesinin yer değiştirmesini arttırdığı gözlenmiştir. Alın levha kalınlığının artması bağlantının mukavemetini arttırmıştır. Deney numuneleri alın levhalarının göçmesiyle sonuçlanmıştır. (Jonathan C. Ryan, 1999) yaptığı deneysel çalışmada döngüsel yükleme altında uzatılmış alın levhaların elastik olmayan dönme kapasitelerini incelemeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada test edilenlerle aynı cıvata dizilimine ve alın levha kalınlığına sahip fakat daha az derinliğe sahip bir kiriş kullanılan bir bağlantı daha fazla elastik olmayan dönüş sergileyeceği bulunmuştur. Artan elastik olmayan dönüş, kirişin azalan derinliği ile doğrudan orantılı olacaktır. Ya kirişin derinliği azaltılmalı ya da birleşim momenti dayanımı kirişin plastik moment kapasitesini aşacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Deney numuneleri alın levha kırılması, kaynak kırılması, kiriş yerel

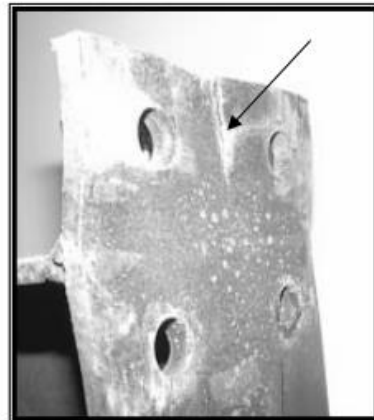
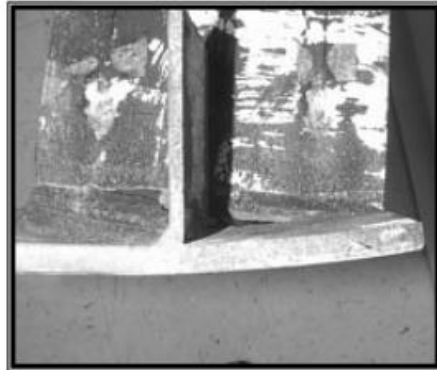
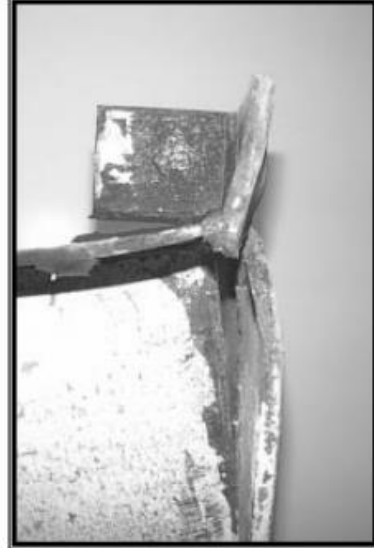
burkulmasıyla sonuçlanmıştır. (Emmett A. Sumner, 2003) deneysel çalışmasında alın levhalı moment birleşimlerinin sismik bölgeler için uygunluğunu belirlemeyi amaçlanmıştır. Tasarım yöntemi önerilmiş ve önerilen tasarım yöntemi ve analitik çalışma deneysel sonuçlara uygun olduğu gözlenmiştir. Deneysel numuneleri ince alın levhaların kırılmasıyla sonuçlanmıştır. Uzatılmış alın levhalı moment bağlantıları, sismik kuvvete dayanıklı moment çerçevelerinde sismik bölgelerde kullanım için tasarlanabilir ve dayanım, rijitlik ve sünekliği sağlayabildiğini göstermiştir. (Yorgun ve Bayramoğlu, 2001) yaptıkları çalışmada alın levha ile kolon başlığı arasındaki bir boşluğun uzatılmış alın levha bağlantısının döngüsel davranışı üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmayı amaçlanmıştır. Numuneler için histerezis döngüleri kararlı özellikler sergilemiştir ancak numuneler aynı düzeyde süneklik oranları geliştirmemiştir. Kısa I-profil elemanın katkısı nedeniyle, yenilikçi alın levha birleşimlerin standart olandan daha iyi performans göstermiştir. Kritik kesitlerde ve bağlantılarda levha kesitleri, herhangi süreklilik levhası veya rijitlik levhası olmadan en ekonomik şekilde tasarlanabilir olduğu bulunmuştur. (Lu vd., 2021) çalışmalarında alın levha bağlantılı yarı rijit düzlem çelik çerçevenin çok aşamalı sismik göçme modunu incelemeyi amaçlamıştır. Histerezis özelliklerinde iyi performans gösteren numune test aşamasında daha iyi elastik olmayan deformasyon kapasitesi ve yüksek süneklik sergilediğini göstermiştir. Deneysel numuneleri alın levha akması, kiriş başlık burkulması, kaynak kırılması ve cıvata eğilmesi ile sonuçlanmıştır. İlk akma elemanı alın levha olmasına rağmen gerilme ve deformasyon kolonun tabanında ve kiriş uçlarından daha azdı, bu da numunenin tasarım gereksinimlerini karşıladığını göstermiştir. Kalınlık oranının artırılmasıyla numunenin başlangıçtaki yanal rijitlik taşıma kapasitesini ve elastik olmayan deformasyon kapasitesini önemli ölçüde artırabilirken, süneklik azalabilir olduğu sonucuna varılmıştır. (A. I. Akgönen vd., 2015) çalışmalarında ANSI/AISC 358-10'da kiriş başlık genişliği ve toplam kiriş derinliği için belirtilen sınırlamaları karşılamayan Avrupa çelik profillerinden oluşan dört cıvatalı rijitlik levhasız moment alın levhalı bağlantılarının sismik uygulama uygunluğunu araştırmayı amaçlanmıştır. Deneysel numuneleri kiriş başlığının burkulmasıyla sonuçlanmıştır. S275 çeliğinin performansı tatmin edici bulunmuştur. Kiriş başlığının kompaktlığının plastik mafsal oluşumunun konumunda etkili olabileceğini göstermiştir. (Gao vd., 2021) çalışmalarında döngüsel yükleme altında çift uzatılmış alın levha bağlantılı paslanmaz çelik kiriş-kolon bağlantılarının histeriktik performansını araştırmayı amaçlanmıştır. Alın levhalarda rijitlik levhasının kullanılması deneysel numune bağlantılarının plastik mukavemetini ve histeriktik performansını

iyileştirmiştir. Deney numuneleri alın levhanın kırılması ile sonuçlanmıştır. Test edilen paslanmaz çelik bağlantıların elde edilen dönme kapasiteleri yüksek olduğundan sismik bölgelerde kullanılması doğrulanmıştır. (J. Wang vd., 2013) çalışmalarında kör cıvatalar kullanılarak dairesel veya kare beton dolgulu çelik boru şekilli kolonlara uzatılmış alın levha bağlantıları kullanılarak sismik davranışını araştırmak amaçlanmıştır. Birleşim büyük histeriktik döngüler, süneklik ve enerji dağıtma kapasitesinde yüksek performans sergilediği göstermiştir. Deney numuneleri alın levha kırılması ve kiriş başlık burkulmasıyla sonuçlanmıştır. Numuneler döngüsel yükleme esnasında büyük sönme kapasiteleri sergilemiştir ve sismik bölgelerin çoğunluğunda iyi bir performans gösterdiği anlaşılmıştır. (Y. Wang vd., 2020) çalışmalarında kare beton dolgulu çelik boru kolonları ve çelik kirişler arasındaki sekiz adet ankrajlı kör cıvatalı uzatılmış alın levha bağlantısında döngüsel yükleme testleri deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. Ankrajlı kör cıvataların kullanılması cıvata dayanımı verimliliğini arttırmıştır. Alın levha kalınlığının artması ve rijitlik levhalarının kullanımı rijitliği arttırmıştır. Rijitlik levhaları plastik mafsalı bağlantının dışına kaymasına sebep olarak sünekliği ve enerji dağılımını kayda değer arttırmıştır. Deney numuneleri alın levha plastik deformasyonu ve kaynak kırılması ile sonuçlanmıştır. Ayrıca kalın alın levhası cıvatanın erken gevrek kırılmasına neden olmuştur. (Tartaglia vd., 2018) çalışmalarında rijitlik levhalarının alın levhalı birleşimlerdeki etkisini incelemeyi amaçlanmıştır. Rijitlik levhasında oluşan plastik deformasyona rağmen, rijitlik levhasının döngüsel yükleme altında burkulmasını önlemiştir. Rijitlik levhası kalınlığı birleşimin moment-dönmesini etkilediği bulunmuştur. (Y. Chen ve Wang, 2009) çalışmalarında başlıklar alın levhaya tamamen nüfuz etmeyen kaynaklarla bağlanan H-profil kirişleri deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. İnce alın levha ve yüksek dayanımlı cıvataların kullanımı kaynak mukavemetini azaltacağını göstermiştir. H-profil kirişlerin ve alın levhaların başlıklarını birleştiren tamamen nüfuz etmeyen kaynakların, elemanın yerel burkulmasının etkin olduğu uygun binalarda hem statik yükler ve sismik yükler etkisinde uygulanabileceği doğrulanmıştır. (Keh-Chyuan Tsai vd., 1990) çalışmalarında döngüsel yükler etkisinde alın levhalı birleşimleri deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. Yüksek dayanıma ve kalın bir alın levha mükemmel bir davranış sergilemiştir. Kiriş çekme cıvatalarının alışılmışın dışında daha yüksek dayanıma sahip olması gerektiği bulunmuştur. Sismik yükler etkisindeki tasarımlarda dört gerdirmeli cıvata tipi alın levha bağlantıları için bağlantı cıvatalarının mukavemetinin artırılmasına yönelik öneriler verilmiştir. (Ahmed Ghobarah vd., 1992) çalışmalarında cıvatalı uzatılmış alın levha bağlantılarını döngüsel

davranışını araştırmayı amaçlanmıştır. Alın levhası, panel bölgesinde ve bağlantıda elastik olmayan deformasyonunda etkili bir rol oynamıştır. (Mourad vd., 1995) çalışmalarında döngüsel yükleme esnasında delikli yapısal çelik kolonları için kör cıvatalı uzatılmış alın levha bağlantılarının davranışını incelemeyi amaçlanmıştır. Önerilen cıvatalı bağlantının modellenebilen ve analiz edilebilen öngörülebilir bir şekilde davrandığı sonucuna varılmıştır. Sismik yüklerin bağlantıların esas olarak elastik davranmasına rağmen, bu tür bağlantıların esnekliğinin çerçeve dinamik davranışını etkilediğini göstermiştir. (B. T. Adey vd., 1998) çalışmalarında uzatılmış alın levha bağlantılarının döngüsel yükleme etkisinde davranışlarının deneysel olarak araştırmayı amaçlanmıştır. Alın levha kalınlığındaki bir artış, elastik olmayan hareket başına artan ortalama enerji emilimiyle sonuçlanır, ancak toplam enerji emiliminde bir artışla sonuçlanmayabileceği bulunmuştur. Rijitlik levhali uzatılmış alın levha bağlantılar yüksek moment kapasitesi, iyi süneklik ve hem elastik olmayan dönme başına yüksek enerji emilimi hem de yüksek toplam enerji emilimini göstermiştir. İyi ve uygun tasarlanmış uzatılmış alın levha bağlantılarının döngüsel yükleme altında kirişin plastik moment kapasitesini geliştirebildiği gösterilmiştir. (Fang vd., 2014) çalışmalarında normal yüksek mukavemetli cıvatalar yerine şekil hafızalı alaşımlarla cıvataları kullanılarak bağlanan uzatılmış alın levhali bağlantılarının döngüsel performansının deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. Yüksek mukavemetli cıvatalara sahip geleneksel uzatılmış alın levha bağlantısının, iyi bir enerji dağıtma kabiliyetine ve süneklığe sahip olduğu, ancak önemli ölçüde kalıcı deformasyona sahip olduğu gösterilmiştir. (Ghobarah vd., 1990) çalışmalarında cıvatalı alın levhali birleşimlerin elastik olmayan aşamasını döngüsel yükleme altında davranışını, alın levha kalınlığı, süreklilik levhası ve cıvata öngerme kuvveti etkilerini incelemen amaçlanmıştır. Süreklilik levhasız kolon kullanılmaması sismik yüklerde önerilmemiştir. Cıvataadaki öngerme kuvvetleri döngüsel yükleri ile azalma göstermiştir. Deney numuneleri alın levha kırılması ve kiriş başlık burkulmasıyla sonuçlanmıştır. Uzatılmış alın levhali bağlantılar iyi tasarlandığında sismik bölgelerde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Şekil 2.1.1 'de bazı deney numunelerinin göçme durumları gösterilmiştir.



(B. Adey, Grondin ve Cheng, 2000)

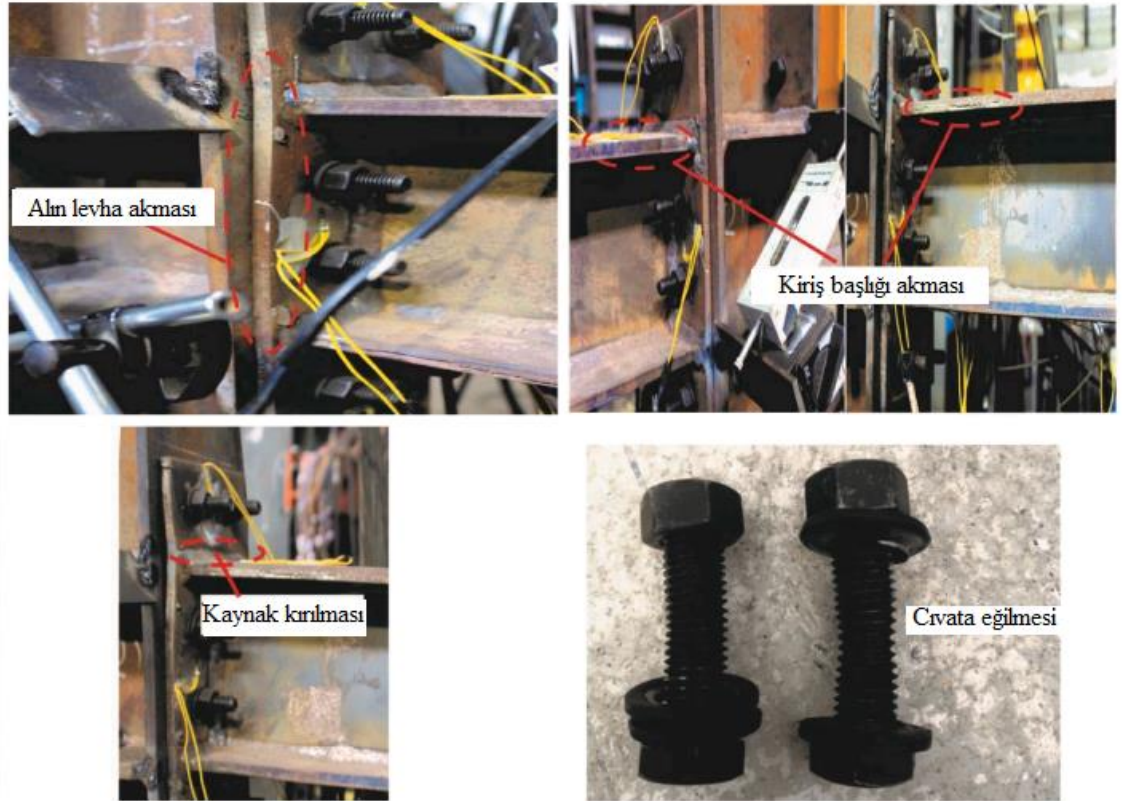


Alın levha yırtılması

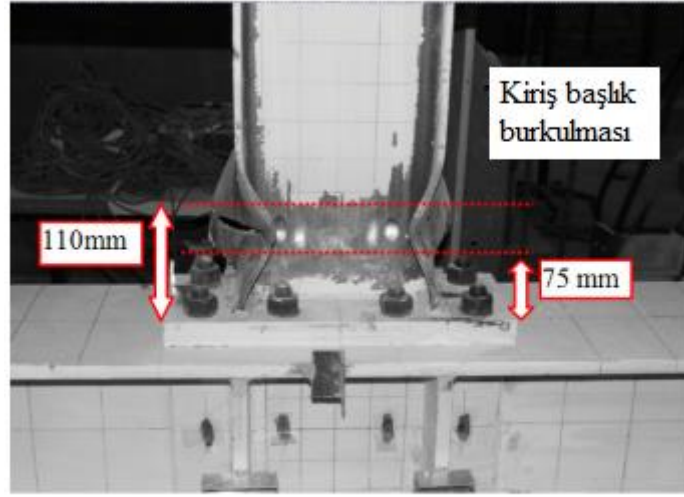
(Jonathan C. Ryan, 1999)



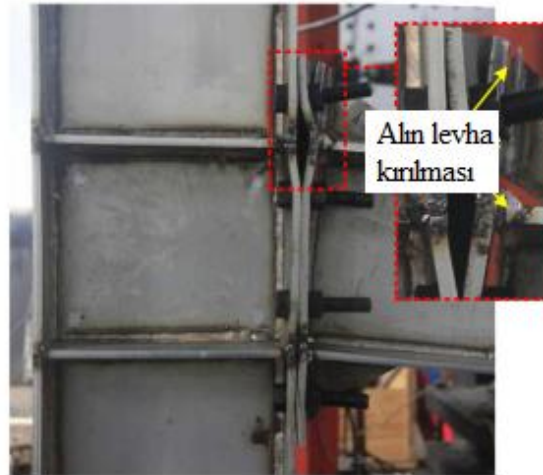
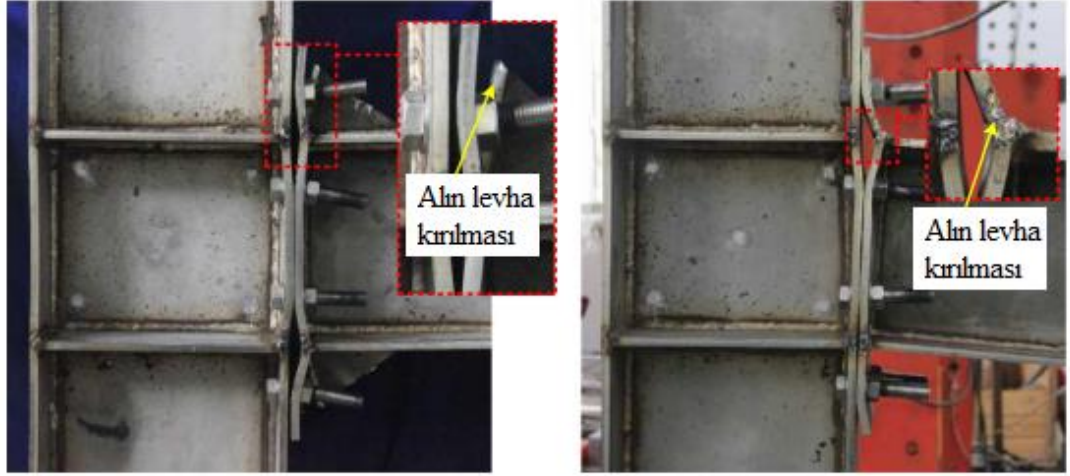
Alın levha plastik deformasyonu  
(Emmett A. Sumner, 2003)



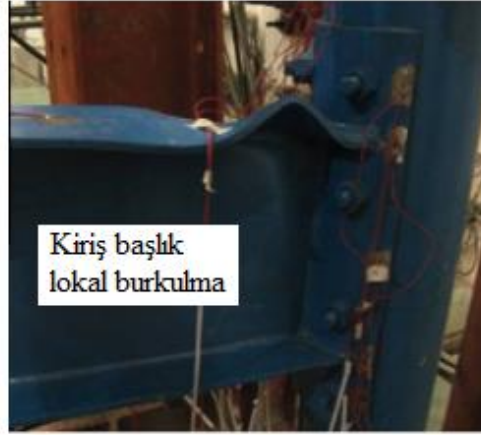
(Lu vd., 2021)



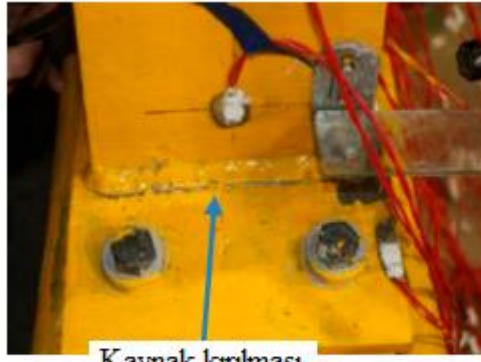
(A. I. Akgönen vd., 2015)



(Gao vd., 2021)



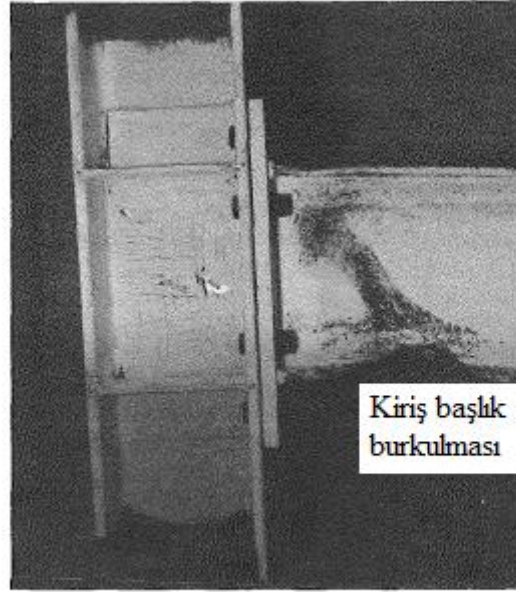
(J. Wang vd., 2013)



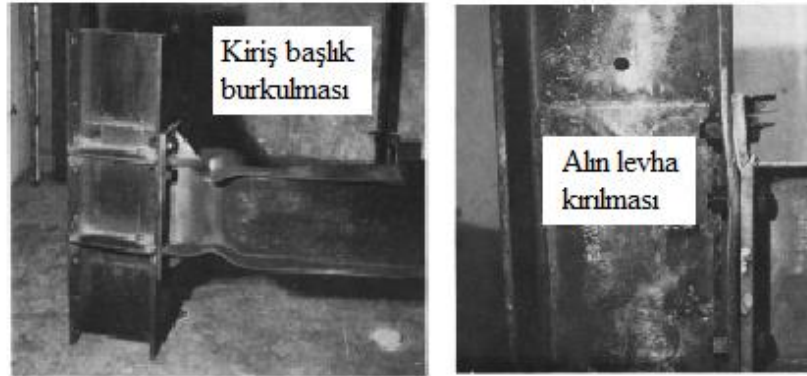
(Y. Wang vd., 2020)



(Chen ve Wang, 2009)



(Ahmed Ghobarah vd., 1992)



(Ghobarah vd., 1990)

Şekil 2.1.1. Çalışmalardaki bazı deney numunelerinin göçme durumları

Uzatılmış alın levhalı birleşimlerde yapılan monotonik ve döngüsel yükleme etkisinde bağlantının davranışı incelenmiştir. (J. Wang vd., 2018) çalışmalarında sökülebilir kompozit bağlantıların statik ve histeretik davranışını alın levhalı bağlantılarda deneysel olarak araştırmak amaçlanmıştır. Yarı rijit kolon-kiriş bağlantıları monotonik yüklemde sünek davranış, döngüsel yüklemde iyi histerik performans sergilemiştir. Alın levha üzerinde büyük dönmeler sebebiyle kaynak ve cıvata pul kırılması olmuştur. Alın levhası kalınlığının, kolonun genişlik-kalınlık oranının ve bulon çapının bulonlu bağlantıların performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Deney numuneleri kaynak kırılması, alın levha yırtılması ve cıvata kırılması ile sonuçlanmıştır. Eurocode tasarım yönetmeliğinde eksik görülen yerlere

öneriler yapılmıştır. (Yorgun ve Bayramoğlu, 2001) yaptıkları çalışmada monotonik ve döngüsel yükleme durumunda alın levha birleşimlerinin davranışını incelemek için deneysel bir araştırma yapılmıştır. Alın levha kalınlığının birleşimin sünekliğini etkilediğini göstermiştir. Alın levha kalınlığı arttırıldığında cıvataların bağlantıya katkısı ve plastik deformasyonları artmıştır. (G. Shi vd., 2017) çalışmalarında yüksek kapasiteli alın levha bağlantısını monotonik yükleme durumunda deneysel olarak incelenmek amaçlanmıştır. Alın levhasının kalınlığı cıvatanın özelliklerine uyumlu şekilde tasarlanması ve iyi bir sünek bir davranış için alın levha bağlantısının ve panel bölgesinin iyi tasarlanması gerektiği görülmüştür. Deney numuneleri alın levha plastik deformasyonu, cıvata kırılması ve cıvata akması ile sonuçlanmıştır. Akma momenti esnasında kirişin çekme başlığının ortasına yakın olan iç cıvataların göçme modunun olması yüksekken, moment mukavemeti tasarımında köşe cıvatalar önemsenmeyebilir olduğu sonucuna varılmıştır. (J. Wang ve Chen, 2012) çalışmalarında monotonik yükleme etkisinde dairesel veya kare beton dolgulu çelik boru kolonlara kör cıvatalı uzatılmış alın levha bağlantılarının davranışını deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. Alın levha bağlantısının yüksek mukavemet, rijitlik ve dönme kapasitesinin süneklik gereksinimlerini karşıladığını göstermiştir. Deney numuneleri alın levha plastik deformasyon, kiriş başlık lokal burkulma ile sonuçlanmıştır. Kör cıvatalara ankraj uzantıları sağlanarak orta kalınlıkta alın levhaların kullanılmasının, uzatılmış alın levha bağlantıları için bağlantıların tam dayanıma yakın bir performans gösterdiği görülmüştür. (Mureşan ve Bâlc, 2017a) çalışmalarında öngermeli yüksek mukavemete sahip cıvatalarla uzatılmış alın levha bağlantılarını monotonik yükleme altında deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. Deneysel test ve sayısal modelin sonuçları karşılaştırıldığında göçme modu ve ilk rijitlik açısından oldukça uyumlu çıkmıştır. Bağlantının elemanlarında yüksek dayanıma sahip çelik kullanılması akma momenti üzerinde etkisinin az olması yanı sıra bağlantı rijitliğini arttırmıştır. Ayrıca yüksek dayanıma sahip çelikten yapılmış kolon ve alın levha modelleri diğer modellere göre nispeten nihai momentte artış göstermiştir. (Fahmy vd., 2014) çalışmalarında monoton yükleme etkisinde alın levha bağlantılarının analizi ve çeşitli parametrelerin bağlantı davranışı üzerindeki etkisini incelemek için 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli sunmak amaçlanmıştır. Deneysel sonuçlar ile mevcut sonlu elemanlar modeli tarafından elde edilenler arasındaki karşılaştırmalar, mevcut sayısal modelin cıvatalı alın levhanın davranışını nispeten iyi bir doğrulukla simüle edebildiğini ve tahmin edebildiğini göstermiştir. Deney numuneleri cıvata kırılmasıyla sonuçlanmıştır. Rijitlik levhalı alın levha bağlantısı için ilk rijitlik alın

levha kalınlığı arttırıldığında artarken cıvata çapının artmasıyla nispeten bir artış göstermiştir. Cıvata apı ve alın levha kalınlığının nihai moment ve dönme kapasitesi üzerinde önemli etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. (zkılı, 2023a) alışmasında büyük boyutlu cıvatalar ve ince alın levhaları ile rijitlik levhalı uzatılmış alın levha bağlantılarının döngüsel ve monotonik performansı, deneysel ve sayısal çalışma yoluyla incelemeyi amaçlanmıştır. Monotonik yüklemeye maruz kalan numuneler, tekrarlı yüklemeye maruz kalan numunelere göre 2 kat daha fazla dönme kapasitesi sergilemiştir. Deney numuneleri alın levha kırılması ile sonuçlanmıştır. Cıvata çapındaki veya kaynak kalınlığındaki bir artış, plastik moment direncini önemli lde arttırmıştır. Rijitlik levhalı uzatılmış alın levhalı birleşimler için kenar mesafesi  $s$  değerine eşit veya daha kk olmasının gerektiği görülmüştür. Ayrıca, kiriş başlık genişliğinden +25 mm daha geniş alın levhası genişliğinin kullanılması, plastik moment mukavemetini çok az etkilediği görülmüştür. (zkılı, 2023b) alışmasında ince levhalara ve büyük boyutlu cıvatalara sahip, rijitlik levhasız uzatılmış alın levha bağlantıların kapasitesini etkileyen değişkenlerin etkilerini analiz etmek amaçlanmıştır. Cıvatalar yeterli dayanımdaysa ince levhalara sahip rijitlik levhasız uzatılmış alın levha bağlantıları, önemli süneklik sergileyebildiği görülmüştür. Deney numuneleri alın levha kırılması ile sonuçlanmıştır. Dönme kapasitesi, döngüsel yükleme etkisine göre monotonik yükleme etkisinde 2 kat daha fazla performans göstermiştir. Cıvata çapındaki ve kaynak kalınlığındaki artışın plastik moment kapasitesinde artış olabileceği görülmüştür. Ayrıca  $p_{fi}$  ve  $p_{fo}$  değerleri arttıkça plastik moment kapasitesi azaldığı belirlenmiştir. (G. Shi vd., 2010) alışmalarında kirişten kolona cıvatalı alın levha bağlantı üzerinde monoton yükleme etkisinde deneysel çalışma yapmayı amaçlamıştır. Uzatılmış alın levhalı bağlantılar düz olanlara göre daha iyi olduğu görülmüştür. Sürekli levhaları ve rijitlik levhaları sünekliliği ve dönme kapasitesini iyileştirebileceği görülmüştür. Ayrıca orta kalınlığa ve büyük cıvatalara sahip bir alın levha bağlantısı iyi bir dönme ve süneklik sergilemiştir. Deney numuneleri alın levha deformasyonu, kiriş başlık lokal burkulma ve cıvata kırılması ile sonuçlanmıştır. Alın levha cıvatalardan daha yüksek bir kapasiteye sahip olmaması gerektiği görülmüştür. Alın levhanın yarı rijit olmasının nedeni panel bölgesi kesme deformasyonunun olabileceği öngörülmüştür. (G. Shi vd., 2010; J. Wang ve Guo, 2012) alışmalarında monotonik yükleme etkisinde elik kirişler ve beton dolgulu ince duvarlı elik boru kolonlar arasındaki kr cıvatalı alın levha bağlantılarının yapısal davranışı üzerine deneysel bir çalışma yapmak amaçlamıştır. Arttırılmış bir elik boru kalınlığı, nominal olarak aynı alın levha tipi bağlantıların rijitliğini ve mukavemetini

açıkça artırabileceği ve aynı bağlantı elemanları alın levhalı birleşimlerde uzatılmış alın levhaların mukavemeti ve rijitliği, düz alın levha bağlantılarından daha yüksek olduğu görülmüştür. (Ng vd., 2012) çalışmalarında alın levhalı birleşimlerin davranışını deneysel olarak incelemek ve Eurocode3 yönetmeliğiyle karşılaştırmak amaçlanmıştır. Eurocode 3'ün nihai moment kapasitesini hafife aldığı ve ilk dönme rijitliğini fazla tahmin ettiğini göstermiştir. (Özkılıç ve Topkaya, 2021b) çalışmalarında değiştirilebilir kesme bağlantılarında kullanılan uzatılmış rijitlik levhasız ve rijitlik levhalı alın levha bağlantılarının performansını deneysel ve sayısal bir çalışmalarıyla araştırmak amaçlanmıştır. İnce alın levhaların tatmin edici bağlantı döndürme tepkisi gösterebilmiştir. Deney numuneleri alın levha yırtılması, cıvata kırılması ve kiriş başlık yırtılmasıyla sonuçlanmıştır. Gerilmelerin bu sınırı aştığı durumlarda alın levhası, düşük devirli yorulma nedeniyle göçme olabileceği ve levhanın genişliği başlık genişliğini aştığında, alın levhasının genişliğinin mukavemet üzerinde ihmal edilebilir bir etkisi olduğu görülmüştür. (D'Aniello vd., 2018) çalışmalarında uzatılmış rijitlik levhalı alın levha bağlantılarının sismik yükler etkisinde davranışını deneysel testler ile doğrulamak amaçlanmıştır. Birleşim yeri davranışı sünektir ve bu nedenle kabul edilen süneklik kriterlerinin etkinliğini doğrulamıştır. Sünek bir davranış gözlemek için kaynakların tasarıma uyulması gerektiği görülmüştür. Rijitlik levhası ile alın levha arasında büyük bir gerilme yoğunlaşması gözlemlenmiştir. Cıvatalı uzatılmış alın levhalı alın levhalı kiriş-kolon bağlantıları için tasarım kriterleri ve ilgili gereksinimler önerilmiş ve deneysel olarak doğrulanmıştır. (Farsi vd., 2016) çalışmalarında hibrit birleşimli perde duvar sistemlerinin hasar sonrası onarım kabiliyetini artırmak için, alın levha bağlantılı farklı tipte bir değiştirilebilir çelik bağlantı kirişi deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. Deney sonucunda mükemmel enerji dağıtma kapasitesi sergilemiş olup sismik bölgelerde uygun görülmüştür. Eğilme rijitliğindeki azalma, bağlantı kirişi-duvar-dikme momenti bağlantısındaki rijitlik kaybından ve eğilme rijitliği üzerindeki kayma deformasyonlarının katkısından kaynaklanmıştır. (Abidelah vd., 2012) çalışmalarında düz ve uzatılmış alın levhalı kiriş-kolon ve kiriş-kiriş çelik cıvatalı bağlantıların deneysel sonuçlarını incelemeyi amaçlanmıştır. Göçme modları çekme bölgesinde kolon başlıklarının plastik eğilmesiyle başlamıştır. Rijitlik levhası, momente dayanma kapasitesinde ve başlangıç rijitliğinde önemli bir artış sağlar, ancak bağlantı sünekliğinde bir azalmaya yol açmıştır. Rijitlik levhasının varlığı, cıvatalardaki kuvvetlerin dağılımını önemli ölçüde etkilemiştir. Eurocode 3 bağlantıların ilk rijitliğini olduğundan fazla tahmin etmiştir. (S. Chen vd., 2015) çalışmalarında uzatılmış alın levha iç bağlantılarının

başlangıç dönme rijitliği üzerindeki rijitlik levhasının etkisini ve bağlantıların dönme davranışını deneysel olarak araştırmak amaçlanmıştır. Rijitlik levhasının eklenmesiyle moment direnci ve dönme rijitliği artmıştır. Rijitlik levhasının açısı nihai moment değerinde ve yapının genel mukavemetinde belirgin bulunmuştur. Deney numuneleri kolon yerel burkulması ve kiriş başlık burkulması ile sonuçlanmıştır. Rijitlik levhasının kalınlığının kesme verimliliği üzerindeki etkisi, mukavemetten daha belir olduğu bulunmuştur. Sayısal sonuçların deneysel sonuçlarla yakın bulunmuştur. (Samaan vd., 2017) çalışmalarında uzatılmış yüksek kapasiteli cıvatalı alın levhalı moment bağlantıları için kapsamlı bir parametrik çalışma yapmak amaçlanmıştır. Alın levhanın kalınlığı maksimum momenti etkilemiştir. İnce alın levhalı numuneler için cıvatalar maksimum taşıma yüküne ulaşamamıştır. Rijitlik levhalarının eklenmesi bağlantının kapasitesini ve rijitliğini arttırmıştır ayrıca son iç sıradaki dış cıvatalar, iç cıvatalardaki kuvvetlerin daha az kuvvete maruz kalmıştır. İkinci ve üçüncü sıra arasına yatay rijitlik levhaları eklenmesi, üçüncü sıranın altına yatay rijitlik levhaları eklenmesine kıyasla daha iyi sonuçlar ve daha büyük moment kapasitesi sağlamıştır. Şekil 2.1.2. de bazı çalışmaların göçme durumları gösterilmiştir.



(J. Wang vd., 2018)



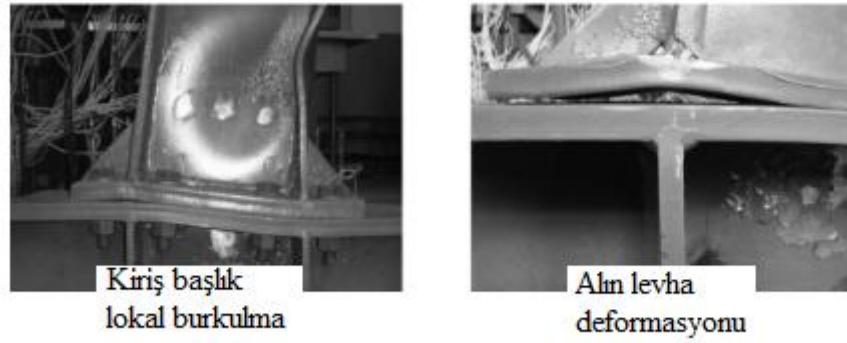
(G. Shi vd., 2017)



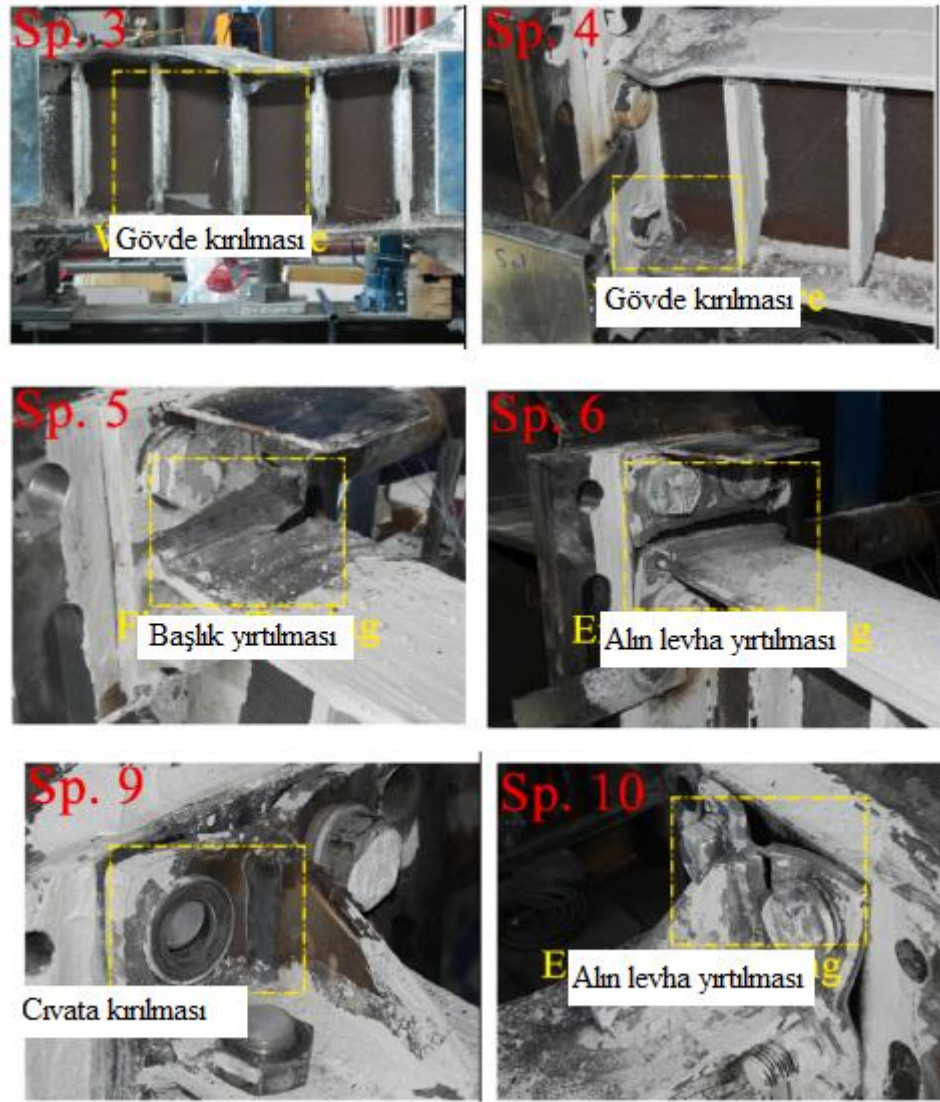
(Özkılıç, 2022 a)



(Özkılıç, 2023 b)



(G. Shi vd., 2010)



(Özkılıç ve Topkaya, 2021b)

Şekil 2.1.2. Çalışmalardaki bazı deney numunelerinin göçme durumları

Uzatılmış alın levhalı birleşimlerde bağlantının davranışı deneysel olarak incelenmiştir. (Bu vd., 2019) çalışmalarında paslanmaz çelik cıvatalı rijitlik levhalı uzatılmış alın levha bağlantılarının sismik davranışını deneysel olarak araştırmak amaçlanmıştır. Alın levhanın elastik olmayan deformasyonu ile beraber cıvata göçmesiyle sonuçlanmıştır. Deney numuneleri rijitlik levhası yerel burkulma, cıvata kırılması ve sıyrılmaları ile sonuçlanmıştır. Eurocode 3 yönetmeliğinin plastik moment kapasitesini az olarak hesapladığı görülmüştür. Bağlantıda alın levhanın kalınlığının artışı ve yüksek dayanıma sahip cıvataların kullanımı daha iyi bir performans göstermiştir. (G. Shi vd., 2007) çalışmalarında alın levha bağlantısının deprem yükleri altında bağlantı momenti kapasitesi, dönme rijitliği, dönme kapasitesi ve histerik eğriler üzerindeki

etkileri araştırmak amaçlanmıştır. Alın levha bağlantısı sismik yüklerde kullanımı için gerekli bağlantı dönme rijitliğini, mukavemeti, enerji dağıtma kapasitesini ve sünekliği sağlayabileceği görülmüştür. Alın levha bağlantısının deprem yükleme etkisinde yeterli dönme kapasitesi ve enerji dağıtma kapasitesi sağlayabilmesini ve nihai göçme modunun sünek olması için üç göçme modu gerekliliği ve karşılık gelen hesaplama yöntemi önerilmiştir. (Ataei vd., 2019) alışmalarında uzatılmış alın levhalı ve elik ahşap kompozit alt montajlı birleşimlerin yapısal davranışı, dönme rijitliği, eğilme momenti direnci, dönme kapasitesi ve göçme modları deneysel olarak araştırmak amaçlanmıştır. Deney numuneleri kiriş başlıklarının burkulmasıyla sonuçlanmıştır. Plastik analizini sağlamak için yeterli dönme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Ahşap levhanın sürekliliği ile birlikte kompozit hareketin, bağlantının eğilme momenti kapasitesini saf elik bağlantıya göre %50'den fazla arttırılabileceği gösterilmiştir. (Mahmood Md Tahir ve Md Azman Hussein, 2008) alışmalarında uzatılmış alın levha birleşimleri için alın levhanın kalınlığı, cıvata sayısı ve boyutu, kolon ve kiriş özellikleri gibi parametreleri deneysel olarak etkilerini incelemeyi amaçlanmıştır. Levha kalınlığının ve cıvata çapının arttırılması alın levhasının ardından kolon başlığının deforme olmasını kolon başlığının çekme bölgesindeki deformasyonuna değiştirmiştir. Daha kk kolon kesitinin kullanılması, birleşimin moment direncini önemli ölçüde etkilememiştir. (Arul Jayachandran S., 2009) alışmalarında yarı-rijit cıvatalı alın levhalı birleşimlerin moment-dönme davranışını deneysel çalışmalarla incelemeyi amaçlanmıştır. Aynı cıvata diziliminde alın levhasının kalınlığı arttırıldığında kapasitesinin artmıştır. Ayrıca alın levha kalınlığının arttırılması alın levhayı daha rijit hale getirirken çekme cıvatalarının kırılmasıyla göçme modunu meydana getirmiştir. Belirlenen alın levha kalınlığı sabit tutulduğunda cıvata aralığının artması ilk rijitliğini ve yük taşıma kapasitesinin azalttığı gözlenmiş nedeninin prying etkisinin artmasından kaynaklandığı gözlemlenmiştir. (Donald Paul Kline, 1989) alışmasında alın levhalı birleşimlerde orta sıkı cıvataların performansını deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. Orta sıkı durumda cıvatalarla alçak bir binada beklenen 50 yıllık rüzgar yüküne karşı dayanıklılığı yeterli ama nihai moment kapasitesi tahmin edilenin yüzde 0 ila 20 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Orta sıkı cıvatalara, tamamen sıkılmış cıvatalara göre daha az rijitlik sağlamıştır. Tek katlı binalar sıkı sıkı cıvataların kullanımına izin verilmesi önerilmiştir. (Zhu vd., 2019) alışmalarında alın levhalı bağlantıların deneysel çalışmalarla analitik ve sayısal modelleri doğrulamak amaçlanmıştır. Alın levhalı bağlantıların moment-dönme eğrisi göçme modundan ve alın levhasının kalınlığı değiştirildiğinde bağlantının davranışı

üzerinde önemli ölçüde etkilenmiştir. Alın levha bağlantılarının tasarımında tüm elamanların performansı önemli olduğu anlaşılmıştır. (Jia vd., 2021) çalışmalarında plastik mafsalların süreklilik levhası ve rijitlik levhası olmaksızın gerçekleştirilmesini araştırmak amaçlanmıştır. Deneysel numuneleri alın levha kırılması, cıvata sıyrılması, kiriş gövde burkulması ile sonuçlanmıştır. Alın levhası ve kolon başlığı birleşimin ilk aşamasında beraber taşıdığı ve bu durumun alın levhanın kalınlığının etkisi vurgulanmıştır. Alın levhanın kalınlığı arttıkça alın levhanın deformasyonunu azalmıştır. (Lin vd., 2022) çalışmalarında yüksek dayanımlı çeliklere sahip uzatılmış alın levha bağlantılarının sismik davranışını incelemeyi amaçlanmıştır. Alın levhanın ve kolon başlığının eğilme deformasyonları oldukça uyumlu olmuştur. Simülasyondan elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla kıyaslandığında oldukça iyi sonuç vermiştir. Yüksek dayanıma sahip çelikler kullanıldığında alın levhalı birleşimler çok daha yüksek bir enerji dağıtma kapasitesine ulaşmıştır. (Sun vd., 2019) çalışmalarında düz ve uzatılmış alın levhalı birleşimlerde yüksek dayanımlı çelik kullanılmasını araştırmak amaçlanmıştır. Alın levha kalınlıkları aynı olduğu durumda basınç etkisinde uzatılmış bağlantı daha iyi sonuç vermiştir. Deneysel sonuçlar Eurocode 3 ile karşılaştırıldığında tasarımda yetersiz kalmıştır. (Kaziolas vd., 2011) çalışmalarında alın levha birleşimlerinin davranışını araştırmak amaçlanmıştır. Rijitlik levhasız olan birleşimler olanlara göre boşluk oluşturmada daha hassas olduğu ve kuvvetin cıvata sıraları arasındaki yük dağılımını etkilediği görülmüştür. Bu durumlarda kolon başlığında yerel burkulmada gözlenmiştir. (M. Wang vd., 2013) çalışmalarında alın levha bağlantılarının performanslarını araştırmak amaçlanmıştır. Deneysel numuneleri kiriş başlığı burkulmasıyla sonuçlanmıştır. Uzatılmış alın levha birleşimi kaynaklı birleşimle aynı nihai taşıma kapasitesini ve ilk rijitliği sağlayabildiği ama histeristik eğrileri ve göçme modları oldukça farklı olduğu gözlemlenmiştir. Rijitlik levhaları ilk aşamada önemli rol oynamaktadır ve ayrıca gevrek göçme modunu engellediği gözlemlenmiştir. (Ghaderi vd., 2020) çalışmalarında uzatılmış alın levha moment bağlantılarında sismik düşük çevrimli yorulma ve ultra düşük çevrimli yorulmanın etkilerini incelemeyi amaçlanmıştır. Düşük çevrimli yorulma indeksinin yapının tepki ivmesi ile orantılı olduğunu göstermiştir. Bu birleşimlerde düşük çevrimli yorulmada hasar kırışıklarda gözlemlenmiştir. Ayrıca birleşimler ultra düşük çevrimli yorulmanın yüklemesi altında iyi davranış göstermiştir. (Luo, Qin, vd., 2020) çalışmalarında kolonun yanal yer değiştirmesi ve zayıf kolon ve güçlü kiriş bağlantılarının mekanik özelliklerini incelemeyi amaçlanmıştır. Deneysel numuneleri alın levha akması, kaynak kırılması ve cıvata kırılması ile sonuçlanmıştır. Alın levha

kalınlığına yakın olan cıvata çapının kullanımı birleşimin göçme durumunu erken olmasına ve alın levhanın aşırı eğilmesini önleyebileceği bulunmuştur. Uzatılmış alın levha bağlantılarının iyi sünekliğe sahip olduğunu ve sismik tasarım gereksinimlerini karşıladığını göstermiştir. (D’Aniello vd., 2017) çalışmalarında Eurocode yönetmeliğinin uzatılmış alın levha birleşimleri için tasarım kriterleri önermek amaçlanmıştır. Rijitlik levhalarının kullanılması birleşimin rijitliğini ve mukavemetini önemli ölçüde etkilediği bulunmuştur. (Gao vd., 2020) çalışmalarında çift uzatılmış alın levha birleşimlerinin yapısal davranışı deneysel ve sayısal olarak incelenmek amaçlanmıştır. Deneysel numuneleri cıvata kırılması, kaynak kırılması ve rijitlik levhası burkulması ile sonuçlanmıştır. Paslanmaz çelikler karbon çeliğine göre daha iyi bir sünek davranış göstermiştir. Kiriş-iç kolon bağlantılarının plastik dirençleri ve nihai dirençleri kiriş-dış kolon bağlantılarınıninkine yakinken, kiriş-iç kolon bağlantılarının başlangıç dönme rijitliği değerleri sonrakinkinden çok daha yüksek çıkmıştır. (Sumner vd., 2000) çalışmalarında rijitlik levhalı ve rijitlik levhasız alın levhalı bağlantıların deneysel ve sayısal çalışma yapmak amaçlanmıştır. Uzatılmış alın levhası moment bağlantıları sismik yüklere dayanıklı ve sünekliği sağlayacak şekilde tasarlanabileceği ve sonlu elemanlar yönteminin alın levhası bağlantısının davranışını tahmin etmek için kullanılabilmesi belirlenmiştir. İnce levhalı birleşimler kalın levhalı birleşimler kadar süneklik göstermemiştir. (Girão Coelho vd., 2004) çalışmalarında uzatılmış alın levha moment bağlantısının çökmeye kadar olan davranışını deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. Alın levha kalınlığındaki artması bağlantının eğilme mukavemetinde ve rijitliğinde bir artışa ayrıca dönme kapasitesinde bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. İlk rijitlikte önemli bir değişiklik gözlenmemiş olup dönme kapasitesi ve sünekliği alın levhanın kalınlığı ve çelik kalitesi ile azalmıştır. (Guo vd., 2000) çalışmalarında rijitlik levhalı ve rijitlik levhasız uzatılmış alın levha bağlantılarının histeriktik davranışını, rijitliğini ve mukavemetini karşılaştırmak amaçlanmıştır. Rijitlik levhalı bağlantılar daha yüksek yük taşıma ve enerji dağıtma kapasitelerine sahip olduğu görülmüştür. Levha kalınlığı daha ince olduğu durumda rijitlik levhaları birleşimin gevrek göçme durumunu önleyeceği anlaşılmıştır. İki bağlantı tipinde kapasitesini ve rijitliğini arttırabilir yani alın levhasının kalınlığı ve kolon kalınlığı artırırken diğerinde ise rijitlik levhası bu durumu eşitleyebilmiştir. (G. Shi vd., 2005) çalışmalarında alın levha birleşimindeki yüksek dayanımlı cıvataların sıkma sıralarının cıvataların öngerme kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlanmıştır. Cıvata tork kontrolü doğrulama süresinin tüm cıvataların son sıkılmasından en az 2 saat sonra olması tavsiye edilir ve süre 5 saat ise

sonuçlar daha iyi sonuçlanmıştır. 30 saatteki n gerilim gerinim gevşemesi son gevşeme olarak kabul edilebilir olduğu anlaşılmıştır. (Ghobarah ve Ramadan, 1987) alışmalarında eksantrik aprazlı çerçevelerdeki bağlantı ile kolon arasındaki bulonlu bağlantıların performansını değerlendirmek amaçlanmıştır. Uygun şekilde tasarlanmış uzatılmış alın levha bağlantıları sünek performans göstermiştir. (Ghobarah ve Ramadan, 1987) dışmerkez aprazlı çerçevelerde bağlantı ile kolon arasındaki bulonlu bağlantıların döngüsel yükleme altında performansını değerlendirmek amaçlanmıştır. Düzgün tasarlanmış uzatılmış u plaka bağlantıları süneklik performansı göstermiştir. (Grogan ve Surtees, 1999) alışmalarında kolon başlıklarından birinin veya her ikisinin cıvatalı mesnet alılarıyla güçlendirildiği uzatılmış alın levha bağlantılarının davranışını araştırmak amaçlanmıştır. Bu tip takviyenin çok yönlü performansının, geleneksel kaynaklı takviyelerden çok daha üstün olduğu bulunmuştur. Takviyenin hem yarı rijit hem de tam rijit bağlantılara uygulanabileceği kanıtlanmıştır. (Butterworth, 1999) alışmasında uzatılmış alın levha kiriş-kolon bağlantılarını deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmak amaçlanmıştır. Bağlantıya uygulanan yük ne kadar fazla olursa, gerilimin kiriş gövdesine dağılımı da o kadar fazla olduğu bulunmuştur. Haddehanede haddelenen elik kirişlerin ve kolonların, gerekenden önemli ölçüde daha yüksek, bazı durumlarda neredeyse bir derece daha yüksek bir akma gerilimine sahip olduğu da keşfedilmiştir. (Moore ve Sims, 1986a) alışmalarında süreklilik levhalarının uzatılmış alın levha kiriş-kolon bağlantıları üzerindeki etkisini teorik ve deneysel araştırmak amaçlanmıştır. Rijitlik levhaları akma yükünü arttırdığından süreklilik levhalarına alternatif olmuştur. Süreklilik levhalarının cıvatalardaki kuvveti oluşan prying etkisine neden olabileceğini göstermiştir. (Liew vd., 1997) alışmalarında analiz ve tasarım metodolojisinin geliştirilebilmesi ve test sonuçlarına göre doğrulanabilmesi için çeşitli dikdörtgen çerçeveler ve bunların ek yerleri üzerinde bir dizi test yoluyla yarı rijit aprazlı çerçevelerin davranışını incelemeyi amaçlanmıştır. Alın levha bağlantılı sallama çerçevelerinin mukavemeti ve rijitliği, açılı bağlantılı çerçevelere göre yeterince yüksek olduğu anlaşılmıştır. şekil 2.1.3. de bazı çalışmaların göçme durumları gösterilmiştir.



(Bu vd., 2019)



(G. Shi vd., 2007)



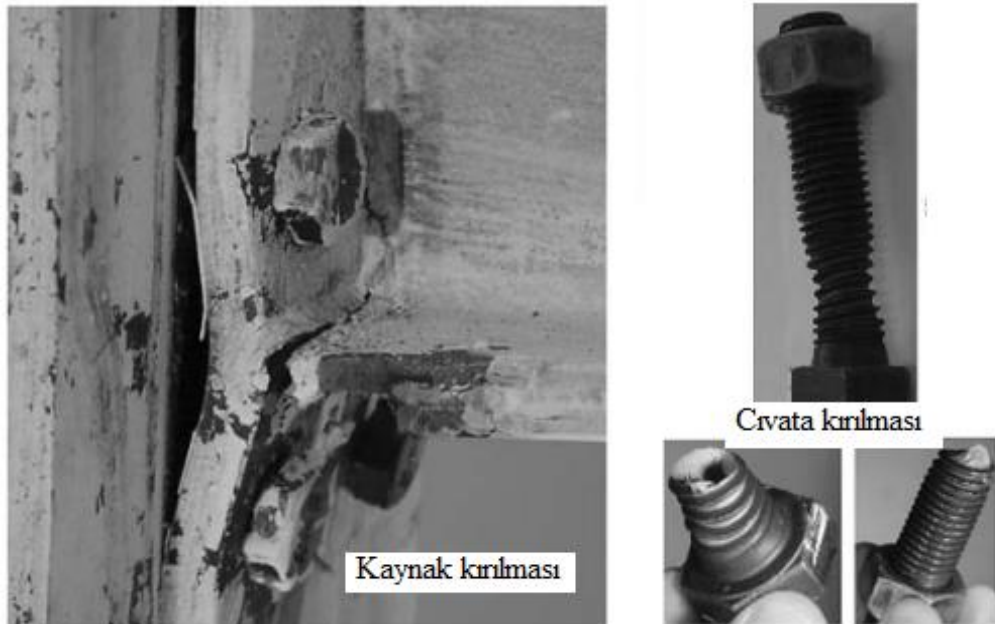
(Zhu vd., 2019)



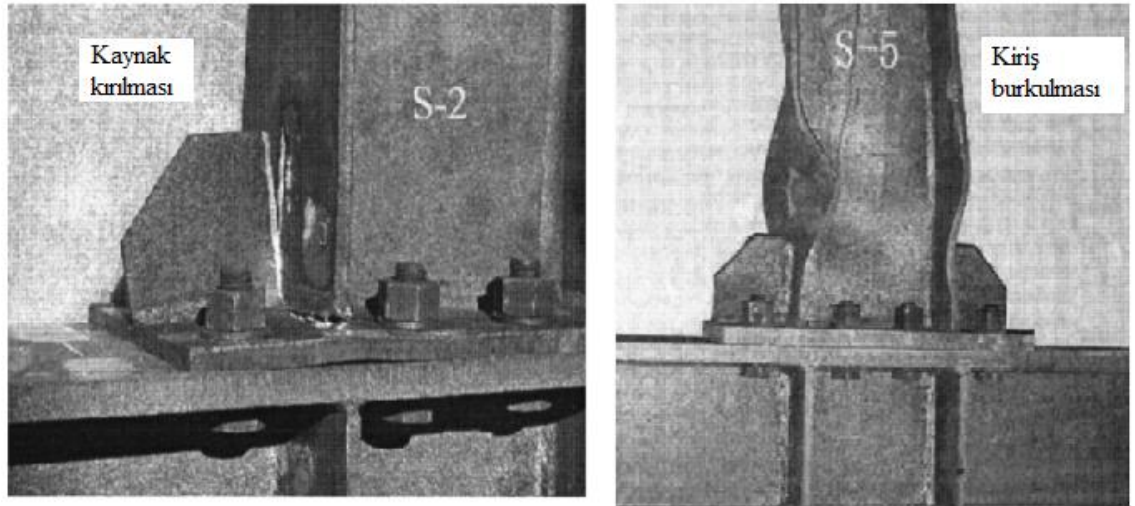
(Jia vd., 2021)



(Gao vd., 2020)



(Girão Coelho vd., 2004)

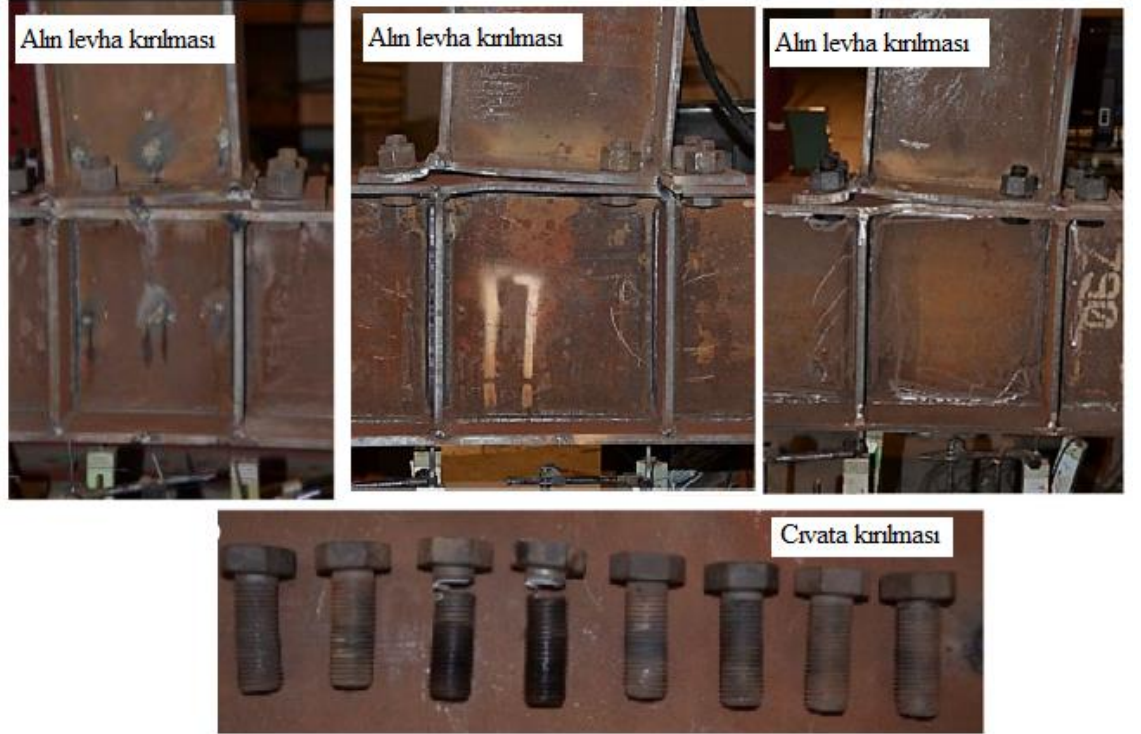


(Guo vd., 2000)

**Şekil 2.1.3.** Çalışmalardaki bazı deney numunelerinin göçme durumları

Uzatılmış alın levhalı birleşimlerde bağlantının yangın dayanımının davranışını deneysel olarak incelenmiştir. (Qiang, Wu, Luo, vd., 2018) çalışmalarında sıcaklık etkisinde uzatılmış alın levhalı birleşimlerin davranışları deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. Deney numuneleri alın levha kırılması ve cıvata kırılmasıyla sonuçlanmıştır. Yüksek sıcaklıkta uzatılmış alın levhalı birleşimlerin yüksek sıcaklıkta plastik moment dirençleri, ortam sıcaklığındakinin yalnızca %40'ı iken, ilk dönme rijitliği sırasıyla %66 ve %63'tür. Ancak dönüş kapasiteleri, ortam sıcaklığındakinin 1,38 ve 1,74 katıdır. Her iki durumda da başlık akması ve cıvata kırılması olmuştur. Cıvata kırılması yangında sünek kırılma iken ortam sıcaklığında gevrek kırılmadır. Rijitliklerini tahmin etmek için Eurocode3 uygun değildir. Eurocode3 te önerilen bağlantının dönme kapasitesi ihtiyatlı bulunmuştur. (Qiang, Wu, Jiang, vd., 2018) çalışmalarında yangından sonra uzatılmış alın levhalı birleşimlerin davranışlarını deneysel olarak incelemeyi amaçlanmıştır. Uzatılmış alın levhalı birleşimlerin dönme kapasitesi, ortam sıcaklığında veya yüksek sıcaklıktan soğuduktan sonra yeterli kabul edilebilir olduğu görülmüştür. Soğuduktan sonra uzatılmış alın levhaların yük taşıma kapasitesinin %90'ından fazlasını ve dönme rijitliğinin %80'inden fazlasını geri kazanabileceğini göstermiştir. Alın levhalı bağlantıların göçme modu soğuduktan sonra sünek bir göçmeden gevrek göçmeye bile değişebilir olduğu gözlemlenmiştir. Kirişin alın levhası birleşiminden, alın levha birleşiminin ise kolondan daha zayıf olması önerilmiştir. (W. Y. Wang vd., 2008) çalışmalarında uzatılmış alın levha bağlantılarının yangın dayanımını tahmin etmek amaçlanmıştır. Uzatılmış alın levha bağlantısının kritik sıcaklığının kabul edilebilir bir

doğruluk derecesi ile değerlendirilmesi için kullanılabileceği doğrulanmıştır. (W. Y. Wang vd., 2007) çalışmalarında uzatılmış alın levha bağlantılarının yangına dayanıklılık kapasitesini araştırmak amaçlanmıştır. Bu tür bağlantılar yarı-rijittir ve yüksek sıcaklıklarda büyük dönme kabiliyetine sahiptir. Rijitlik levhasının bağlantının yangın dayanımında ve alın levhasının kalınlığının nispeten kritik sıcaklığında etkisi olduğu anlaşılmıştır. Rijitlik ve alın levhasının kalınlığı arttırıldığında kritik sıcaklıkta o kadar artmıştır. Şekil 2.1.4. de bazı çalışmaların göçme durumları gösterilmiştir.



(Qiang, Wu, Luo, vd., 2018)



Numunelerin başarısızlıkları



(W. Y. Wang vd., 2007)

Şekil 2.1.4. Çalışmalardaki bazı deney numunelerinin göçme durumları

## 2.2. Numerik Çalışmalar

Uzatılmış alın levha birleşimleri numerik olarak incelenmiştir. (El Sabbagh, Sharaf, Nagy ve ElGhandour, 2019) çalışmalarında uzatılmış alın levhalı bağlantıların kesme kuvveti, civatanın çapı, alın levhasının kalınlığı ve rijitlik levhası etkisi gibi parametrelerin hem monotonik hem de döngüsel yüklemelerin etkisi altındaki davranışını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemeyi amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar modeli yaklaşık %5 doğru tahmin etmiştir. Alın levha ve kolon başlığının deformasyonları sonucunda oluşan boşluk nedeniyle sürtünme azalmış ve temas alanı azalmıştır. Kesme değerinin bağlantı üzerinde etkisi olduğu anlaşılmıştır. Kiriş kesitinin büyük olduğunda kesme kuvvetinin artması birleşimin moment kapasitesini o kadar düşürmüştür. Ayrıca kesme kuvvetinin bağlantı rijitliği üzerinde de etkisi olduğu anlaşılmıştır. Rijitlik

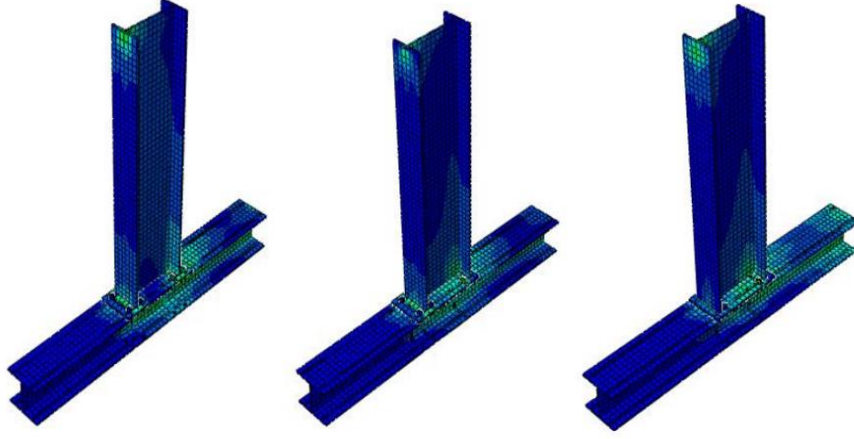
levhasının kullanımı alın levha deformasyonlarını azaltmış ve moment kapasitesini arttırmıştır. Cıvata çapı ve alın levha kalınlığındaki artışları bağlantının davranışını yani moment ve dönme kapasitesini arttırmıştır. (Yoganata vd., 2020) çalışmalarında uzatılmış alın levha bağlantısını numerik olarak analiz etmek amaçlanmıştır. Alın levhada uzatılmış kısım alın levhanın yer değiştirme ve taşınan yanal yükün değerini etkileyebileceği görülmüştür. Uzatılmış alın levha kullanımında yer değiştirme değerinin daha küçük ve yanal yük taşıma kapasitesinin arttığı bulunmuştur. Bu nedenler uzatılmış alın levha modelleri göçmeye sebebiyet veren yükler karşısında daha iyi performans göstermiştir. (Shaker Fattouh M.F. ve Abdelrahman Waseem M., 2014) çalışmalarında eğilme ve aksenal çekme veya basınç kuvvetlerinin bir kombinasyonu altında düz ve uzatılmış alın bağlantılarının davranışını incelemeyi amaçlanmıştır. Hem düz alın levha hem de uzatılmış alın levha bağlantılarının yarı rijit olduğu ve bu sebepten düz alın levha bağlantılarının momentin bir kısmına direndiği ve uzatılmış alın levha bağlantılarının bir miktar dönüşe sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Aksenal kuvvetin etkisi eğilme direncini etkilediği görülmüştür. Aksenal çekme kuvvetinde alın levhanın erken akmasına sebebiyet verdiği için eğilme direnci azalmıştır. Düz alın levhalar, uzatılmışına göre aksenal kuvvetlerden daha fazla etkilenmiştir. (Bahaari ve Sherbourne, 1996) çalışmalarında yüksek mukavemetli öngerilmeli cıvatalar kullanılarak rijitlik levhasız bir kolon başlığına bağlanan uzatılmış bir alın levhanın rijitlik ve mukavemet parametrelerini incelemeyi amaçlanmıştır. Alın levhasının kalınlığı kolon başlık kalınlığından fazla olduğu durumlarda davranışı kolon başlığı belirlerken kiriş plastik moment kapasitesine çoğu durumda ulaşmamıştır. Prying etkisi nihai yüke bağlı olarak ve eleman boyutlarıyla bağlı olarak gerçekleşmiştir. (Bursi ve Jaspert, 1998) çalışmalarında uzatılmış alın levha bağlantılarının moment-dönme davranışını sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmak amaçlanmıştır. Uzatılmış uç plaka momentine dayanıklı çelik bağlantıların analizine uygun, üç boyutlu, doğrusal olmayan, uygun bir sonlu eleman modeli önerilmiş ve doğrulanmıştır. (Mashaly vd., 2011) çalışmalarında uzatılmış alın levha bağlantılarının malzeme ve geometrik özelliklerinin bağlantı üzerindeki etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Sonuç olarak, alın levhasının kalınlığı, çelik kalitesi, kolon başlığının genişliğinin kalınlığa oranı parametreler bağlantının enerji tüketiminde etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca kiriş geometrisinin nispeten çok az etkisi olduğu anlaşılmıştır. (Dessouki vd., 2013) çalışmalarında uzatılmış alın levhalı bağlantılarında farklı parametrelerin birleşimdeki etkisini sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmak amaçlanmıştır. Sonuç olarak çok sıralı alın levhalı bağlantının dört cıvatalı bağlantıya

göre alın levhası ince olduğu durumda akma ve nihai momentlerde artış göstermiştir. Rijitlik levhaları ince alın levhali birleşimlerde alın levhanın eğilme kapasitesini arttırmıştır. Akma çizgisi desenleri kullanılarak yeni tasarım denklemleri önerilmiştir. (Saber vd., 2014) çalışmalarında alın levhali ve T-profilli cıvatalı birleşimlerin döngüsel yükleme altında levha kalınlığı parametresini sayısal olarak araştırmak amaçlanmıştır. Levha kalınlığı azaldığında birleşimlerin yüksek dönmelerde maksimum moment kapasitesine ulaşmasına sebebi, elastik dönme rijitliğinde azalma, toplam enerji kaybını azalma olduğu gözlenmiştir. Alın levhasının kalınlığı az olduğu durumda rijitlik levhali olan birleşim, rijitlik levhasız olana göre plastik kapasitesi daha yüksektir ve daha iyi histeretik performans göstermiştir. (Miryahyavi vd., 2023) çalışmalarında alın levhali birleşimlerin çeşitli eğim açılarının etkisi araştırılmıştır. Numuneler yönetmeliklerde belirtilen dönüş değerlerini karşılamıştır. Eğimin artması maksimum moment kapasitesini arttırırken sünekliği ve moment-dönme eğrisinin altında kalan alanı azaltmıştır. Eğimlerdeki değişiklikler cıvatanın gerilmelerinde değişiklik yapmamış fakat maksimum gerilme konumunu üst sıradan alt sıraya doğru değiştirmiştir. Eğimi az olan numunelerde göçme rijitlik levhasından başlamış eğim arttıkça da rijitlik levhasında gerilmeler azalmıştır. (Tartaglia vd., 2017) çalışmalarında rijitlik levhali alın levha birleşimlerinde kompozit tabliyenin etkisini sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmak amaçlanmıştır. Kompozit bağlantının davranışı hem rijitlik hem de mukavemette büyük bir artış gözlemlenebilir olduğu görülmüştür. Ayrıca, incelenen durumlarda, beton döşemenin basınçtaki eğilme kapasitesi katkısı, çelik donatıların çekmedeki katkısından daha büyük olduğundan, bağlantı davranışı asimetriktir. Araştırılan tüm durumlarda, sonlu elemanlar modellerinin sonuçları giriş ucunda plastik mafsalin oluştuğunu ve bağlantıyı elastik aralıkta bıraktığını göstermiştir. (Özkılıç, 2021) çalışmasında alın levhali birleşimlerde cıvata çapının ve levha kalınlığının etkilerini sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmak amaçlanmıştır. Model deneysel çalışmayla doğrulanmıştır. Eurocode yönetmeliği ince alın levhali birleşimlerde birleşimin kapasitesini eksik hesaplamıştır. Alın levha kalınlığı azaldığı ve cıvata çapının arttığı durumlarda doğruluk azalmıştır. Alın levhali birleşimlerde cıvata çapı ve alın levha kalınlığı arttıkça başlangıç rijitliği artmıştır. Ayrıca Eurocode alın levhali birleşimlerin göçme modunu iyi tahmin etmiştir. (Lim vd., 2012) çalışmalarında dört cıvatalı rijitlik levhasız uzatılmış alın levhali birleşimlerin düşük çevrimli yorulma analizlerini araştırmak amaçlanmıştır. Akma çizgisi yöntemiyle alın levhanın eğilme akma sınırı tahmin edilmiştir. Modelde büyük sapmalara sahip alın levha birleşimlerinde doğrusal olmayan davranışını simüle etmiştir. Düşük çevrimli yorulmanın

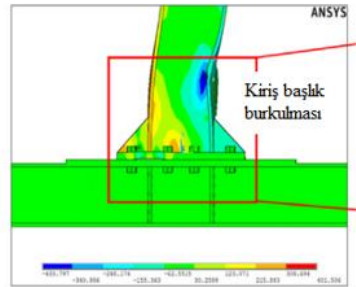
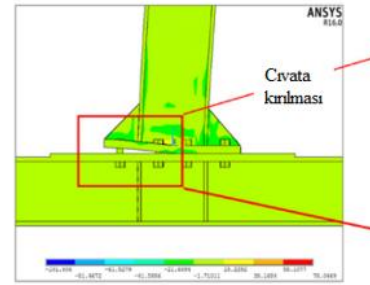
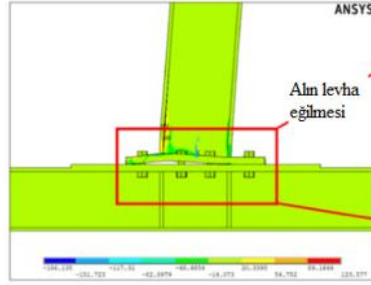
konumunu model ile doğru tahmin edilmiştir. Alın levha yüzeyindeki kaynak bitimi yırtılmanın en kritik konumu olmuştur. (Zhang ve Wu, 2014) çalışmalarında dolgu levhasının uzatılmış alın levhalı yarı rijit birleşimlerin davranışındaki etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Dolgu levhası eğilme ve taşıma kapasitesini azaltmıştır. Dolu levhasının artması bu durumu belirginleştirmiştir. Ayrıca dönme kapasitesini artır ama kalınlığı arttıkça azalmıştır. Sayısal sonuçlar tekrar irdelendiğinde ince dolgu levhası taşıma yükünü çok az azaltırken birleşimin sünekliğini önemli ölçüde arttırmıştır. (Yuan vd., 2022) çalışmalarında çift uzatılmış alın levhalı birleşimlerin paslanmaz çelik kiriş-kolon bağlantılarının yapısal performansı sayısal olarak incelenmek amaçlanmıştır. Daha önce yapılan deneysel çalışmalarla doğrulanmıştır. Daha yüksek bir cıvata öngerme kuvveti olduğu durumda başlangıçtaki dönme rijitliğinin artmasına etkenleri arasında olmuştur. Rijitlik levhasının eklenmesi alın levha bağlantısında daha büyük bir basınç bölgesi oluşturmuştur. Mevcut döngüsel yüklemenin önerilen hesaplamalar paslanmaz çelik olan birleşimlerde uygulanabilirliği doğrulanmıştır. (Ismail vd., 2016) çalışmalarında monotonik yükleme etkisinde farklı özelliklere sahip alın levhalı birleşimlerin analizi için sonlu elemanlar modeli sunulmak amaçlanmıştır. Sunulan model deneysel çalışmalarla kıyaslandığında alın levhalarının davranışını iyi bir şekilde tahmin etmiştir. Süreklilik levhasına sahip kolon ve alın levha birleşiminde cıvata çapının artırılması nihai moment ve dönme kapasitesini arttırmıştır. Rijitlik levhasının varlığı başlangıç rijitliği levha kalınlığının artmasıyla önemli ölçüde artmıştır fakat cıvata çapının artması daha az arttırmıştır. Süreklilik levhaları taşıma momentini arttırırken dönme kapasitesini azalmıştır. (Morrison vd., 2017) çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemiyle rijitlik levhasız sekiz cıvatalı uzatılmış alın levha bağlantısını incelemeyi amaçlanmıştır. Rijitlik levhasının çıkarıldığı ve cıvata diziliminin kuvvetleri eşit dağıtmasına yönelik tasarım önerilmiştir. Bu önerilen tasarım başlık kuvvetlerini alın levhadaki cıvatalara eşit olarak dağıtmak için sekizgen bir dizilim yeniden düzenlenmiştir. Önerilen tasarım normal tasarımla karşılaştırıldığında kiriş başlık gerilimi ve gerinim konsantrasyonlarının azaldığının ve mukavemet kaybının geciktiğini ya da azalttığını göstermiştir. Ayrıca önerilen bağlantı daha iyi mukavemet ve aktıktan sonra rijitliğinin sağlanmasından çok düzgün cıvata kuvvetinin dağıtımını sağlayarak cıvata kuvvetlerini azaltmıştır. (Osman ve Mourad, 2021) çalışmalarında uzatılmış alın levhalı bağlantıların statik ve patlama benzeri yükler etkisinde davranışını sayısal modelle araştırmak amaçlanmıştır. Değişken olarak rijitlik levhası seçilmiştir. Dinamik dönme kapasitesi statik yüklemeye daha yüksek çıkmıştır. Patlama yük etkisinde statik yüke göre daha iyi süneklik ve yüksek

enerji dağıtımı göstermiştir. Rijitlik levhalarının varlığı aynı patla yükü etkisinde birleşimin maksimum basıncını arttırmıştır. Ayrıca rijitlik levhali birleşimler rijitlik levhasıza göre daha iyi dönme kapasitesi göstermiştir. (Barmaki vd., 2020) çalışmalarında uzatılmış alın levhali birleşimlerin aşamalı göçmeye karşı davranışını kapsamlı olarak araştırmak amaçlanmıştır. Sismik yükler etkisindeki tasarımında alın levhali birleşimler cıvata sayısının artırılması ve cıvata boyutunun azaltılmasıyla ilişkilidir. Alın levhanın alt sırasına cıvata eklenmesi yük aktarım yollarını, sünekliği ve kapasitesini arttırmıştır. Rijitlik levhasının kullanımı rijitlik levhasız olana göre performansı artmıştır. Bu birleşimlerde kirişin alt kısımlarında burkulma olmazken kiriş gövdesi ya da rijitlik levhasında yerel burkulmalar oluşmuştur. (Gang Shi vd., 2004) çalışmalarında alın levhali birleşimlerin kirişten kolona ve kirişten kirişe olan bağlantıları üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle yükleme mukavemeti ve dönme rijitliği araştırılmıştır. Uzatılmış alın levhada rijitlik levhası olmadığı durum için çekme başlığının iç tarafında bulunan ilk cıvata sırası en büyük çekme kuvvetine maruz kalır ve dönme merkezi çoğunlukla basıç başlığının merkezinde olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar yöntemi alın levhali birleşimler için güvenilirliği doğrulanmıştır. (G. Shi vd., 2008) çalışmalarında farklı tipteki öngermeli cıvatalı alın levhali birleşimlerin mekanik davranışını analiz etmek ve simüle etmek için sonlu elemanlar modelleri geliştirmek amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle geliştirilen modelleme ve metodolojisi, göçme modunu, yük kapasitesini, moment dönme ilişkilerini doğru analiz etmiştir. Ayrıca alın levhanın, panel bölgesinin ve cıvataların mekanik davranışı ve deformasyonunu doğru tahmin etmiştir. Alın levhali birleşimlerde akmadan sonra bağlantının davranışı için çeliğin gerinim rijitliği dikkate alınması gerektiği görülmüştür. (Bursi ve Jaspert, 1997) çalışmalarında yarı rijit birleşimlerin makro modellerinin gelişimine katkı sağlamak amaçlanmıştır. Alın levhali birleşimin moment dönme davranışı için sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Hesaplanan ve ölçülen sonuçlar karşılaştırıldığında sonlu elemanlar modeli doğrulanmıştır. (Bahaari ve Sherbourne, 1994) çalışmalarında sismik yükler etkisinde alın levhali birleşimlerin moment dönme davranışını analiz etmesi için bir bilgisayar programı geliştirmek amaçlanmıştır. Analizler için sonlu elemanlar yöntemi geliştirilmiştir. Otomatik analiz hükümleriyle tahmin edilen sonuçlar alın levhanın kalınlığının değiştiği üç bağlantıda elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı ve doğrulanmıştır. (Choi ve Chung, 1996) çalışmalarında alın levhali birleşimlerinin davranışlarını sonlu elemanlar yöntemiyle incelemeyi amaçlanmıştır. Birleşimin plastik bölgedeki tutarsız yer değiştirmesi ile bulunan genel davranış, tutarlı eleman modellerine

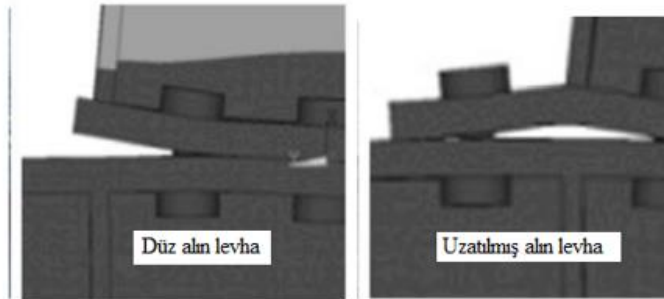
göre iyileştirilmiştir. Birleşimdeki kolonda oluşan büyük deformasyonlar bağlantının eğilme davranışını büyük ölçüde etkilemiştir. Rijitlik levhasız birleşimde deformasyonun daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma sonucunda geliştirilen sonlu elemanlar modeli alın levhalı birleşimlerin davranışı için kullanabileceği doğrulanmıştır. (Murray ve Meng, 1996) çalışmalarında alın levhalı birleşimleri sismik yükler etkisinde davranışını numerik olarak araştırmak amaçlanmıştır. Alın levhalı birleşimler sismik yükler etkisinde mukavemet ve enerji dağıtma kapasitenin yeterli olduğu görülmüştür. Uzatılmış alın levhalı birleşimler düzgün tasarlandığı durumda kaynaklı bağlantılara alternatif kabul edilebilir olduğu görülmüştür. (W. Wang vd., 2023) çalışmalarında yüksek mukavemete sahip çelik ve koruma olmada alın levhalı birleşimlerin yangına karşı tepkisi sayısal çalışma ile araştırılmak amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar modeli yüksek sıcaklıklarda alın levhalı birleşimin deformasyonu ve göçme modlarını doğru tahmin edebileceği görülmüştür. Birleşimin göçme modu dönme kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Göçme modları cıvata kırılması, kolon başlık burkulması ve lokal burkulmayla sonuçlanmıştır. Ayrıca alın levhasının kalınlığı arttıkça dönme kapasitesinde artış gözlenmiştir. (Xu vd., 2021) çalışmalarında uzatılmış alın levhalı birleşimlerin deprem sonrası yangın direncini numerik bir şekilde araştırmak amaçlanmıştır. Hesaplama modelini deneysel sonuçlarla karşılaştırılıp doğrulanmıştır. Süreklilik levhaları ve rijitlik levhaları yangın performansını arttırdığı görülmüştür. (Kalogeropoulos vd., 2012) çalışmalarında uzatılmış alın levhalı birleşimlerin yüksek sıcaklıklardaki davranışını sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmak amaçlanmıştır. Sıcaklık etkisi mekanik yükten önce olması birleşimin mukavemetini azalttığı gözlenmiştir. Sıcaklık etkisi mekanik yük ile aynı anda uygulandığında bağlantı davranışının iyileştiği görülmüştür. Göçme modu olarak ta çelik parçaların başarısızlıkları cıvata göçmesinden önce olmuştur. Sonuçlar bazı deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve uyumluluğu doğrulanmıştır. Şekil 2.2.1. de bazı çalışmaların göçme durumları gösterilmiştir.



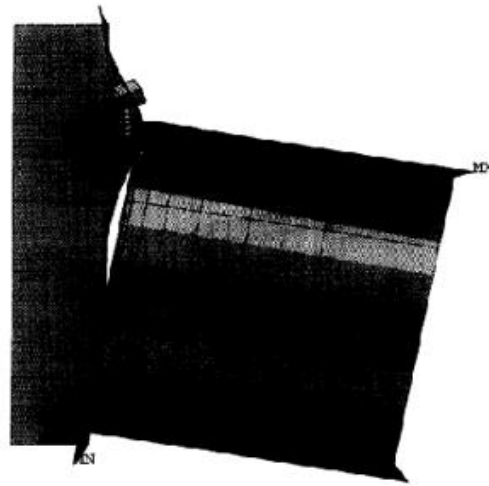
(Yoganata vd., 2020)



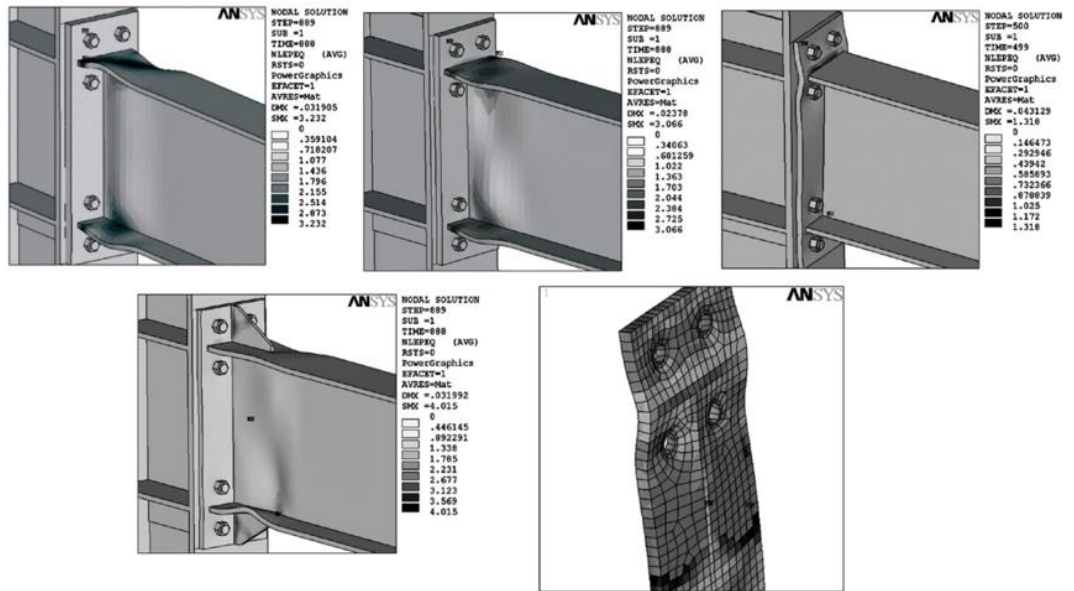
(EISabbash vd., 2019)



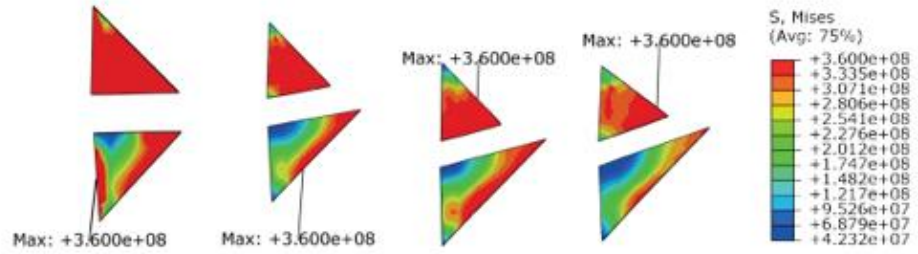
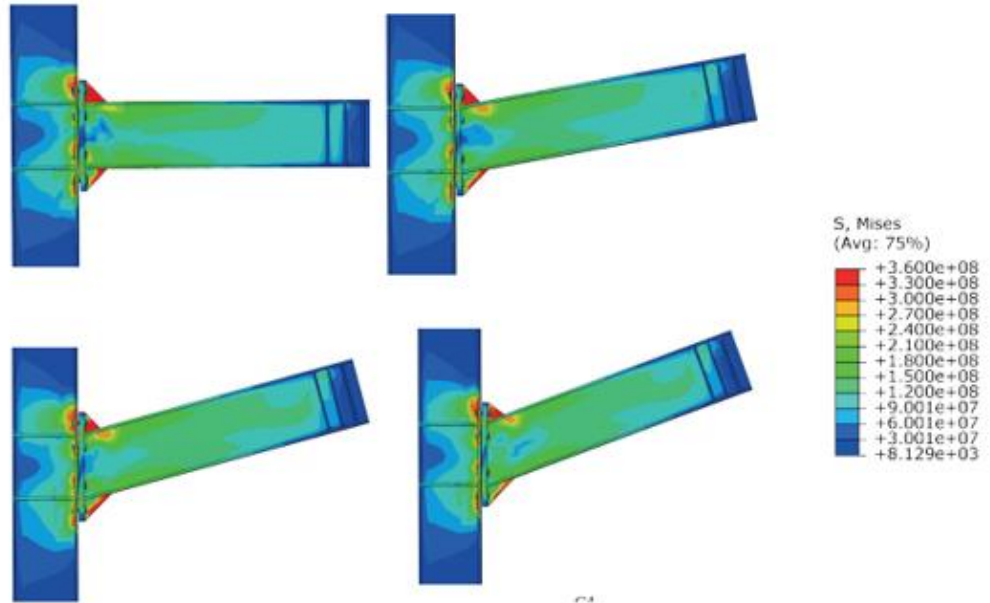
(Shaker & Abd Elrahman, 2014)



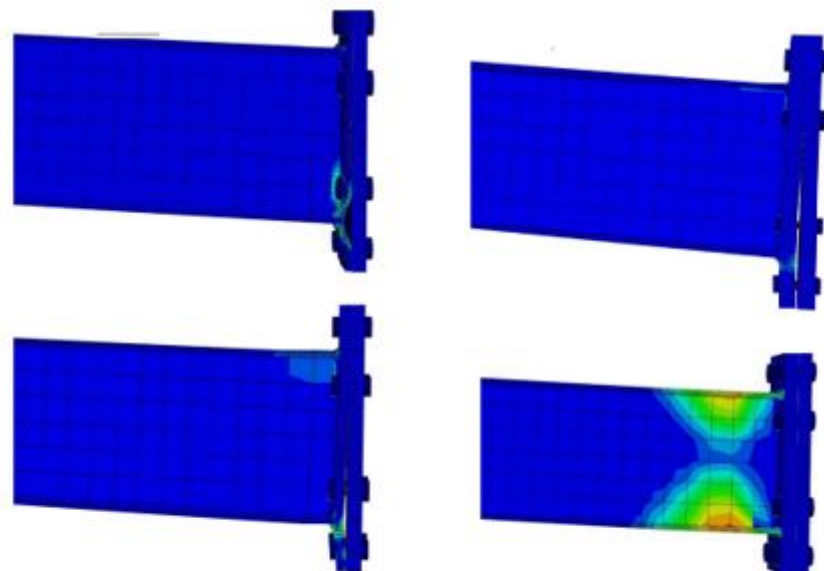
(Bahaari ve Sherbourne, 1996)



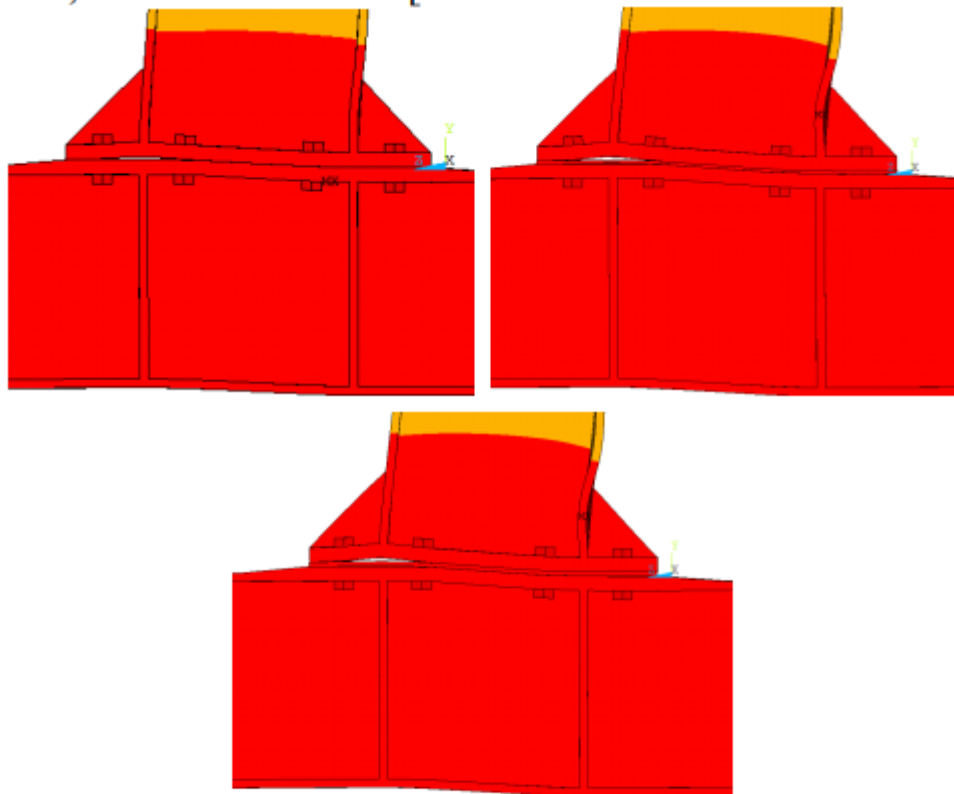
(Saber vd., 2014)



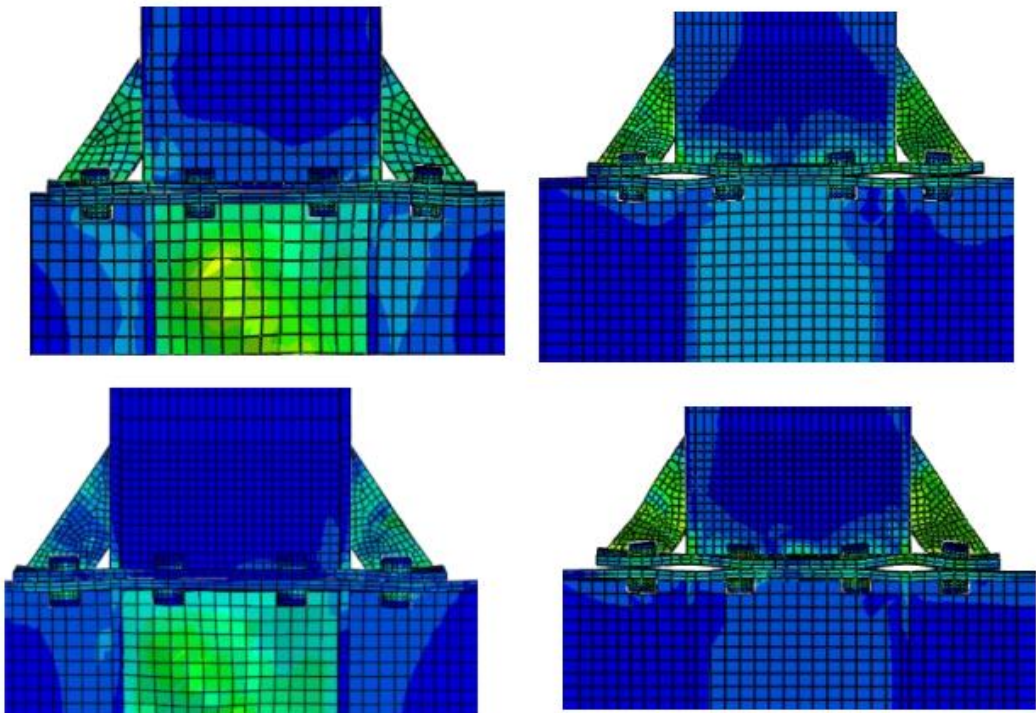
(Miryahyavi vd., 2023)



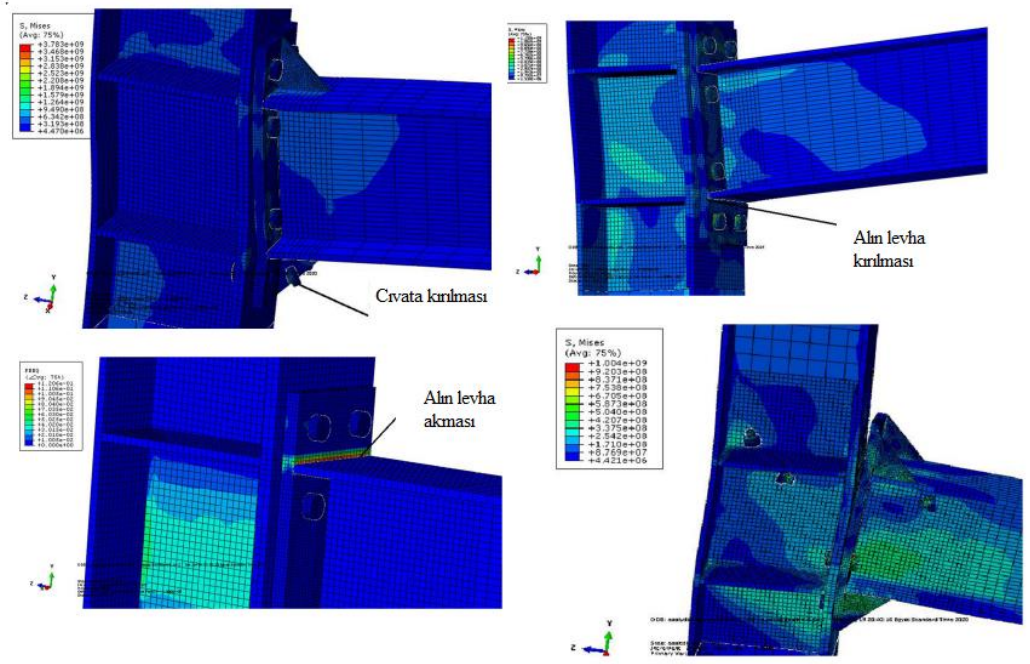
(Özkılıç, 2021)



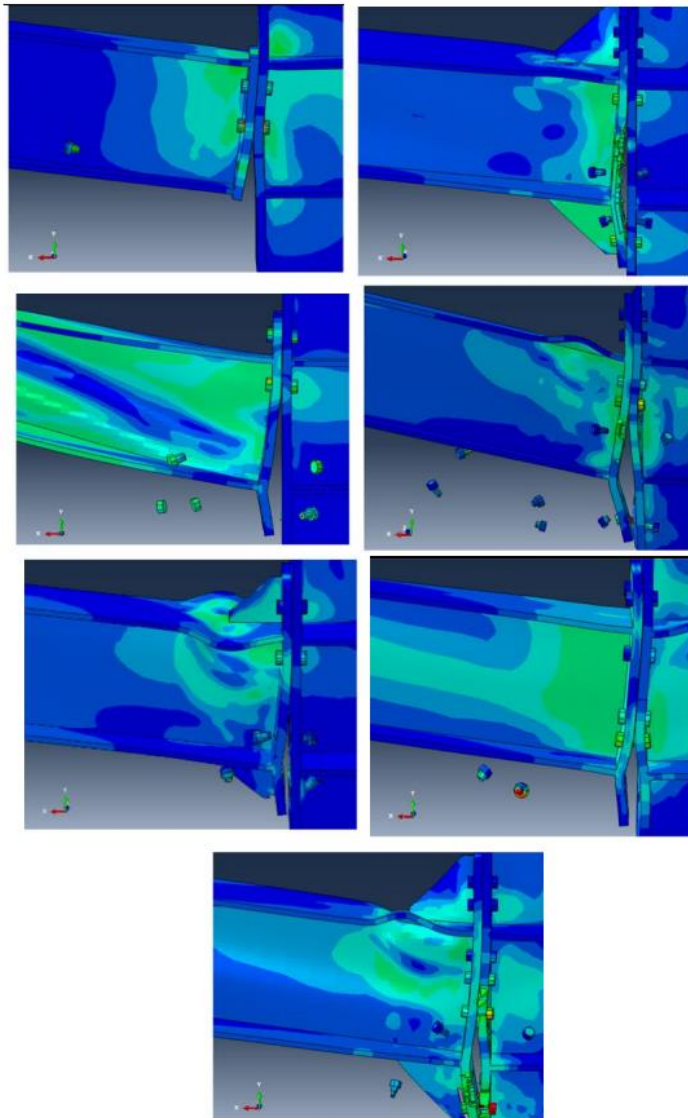
(Zhang &amp; Wu, 2014)



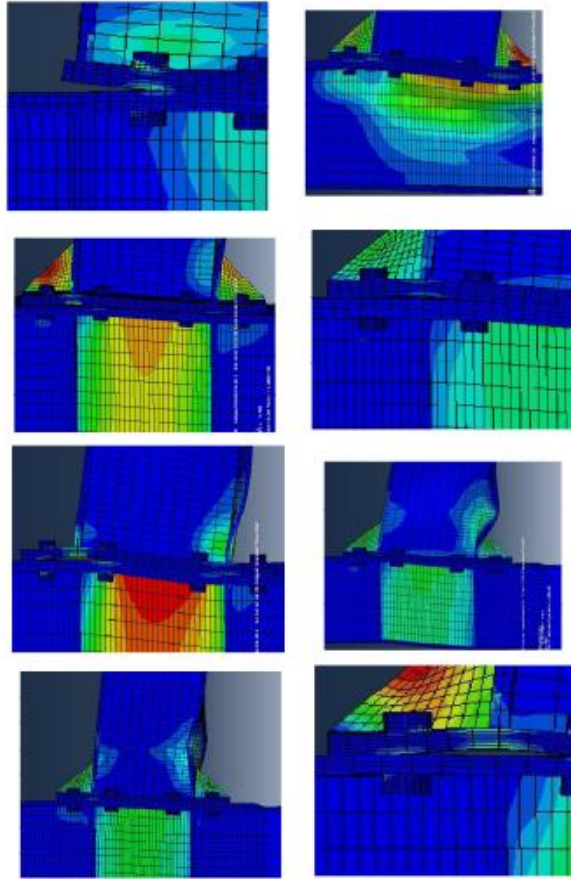
(Yuan vd., 2022)



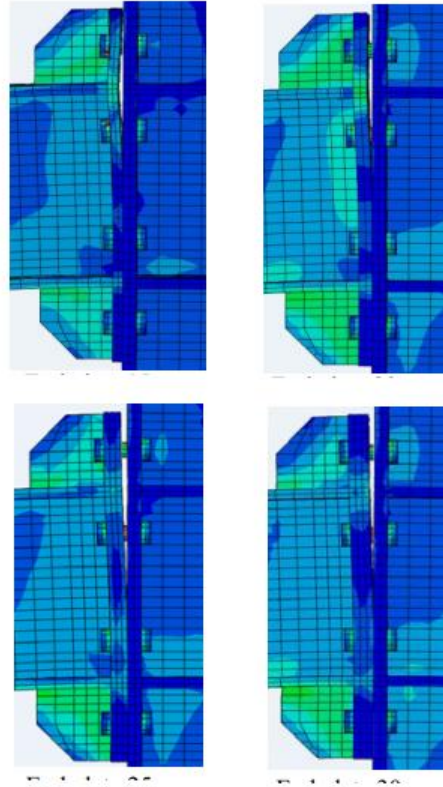
(Osman ve Mourad, 2021)



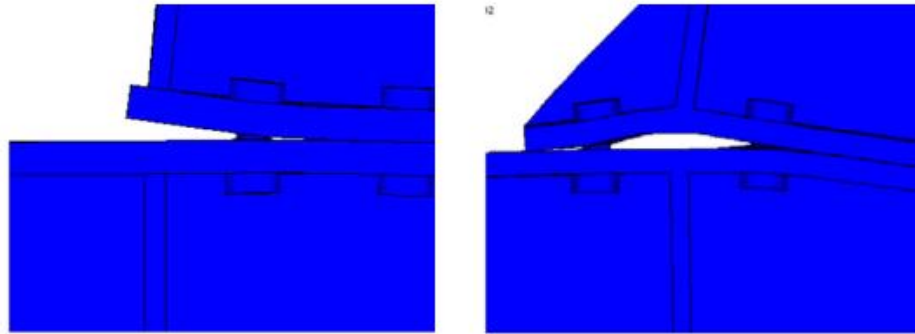
(Barnaki vd 2020)



(Ismail vd., 2016)



(Mureşan ve Bâlc, 2017b)



(G. Shi vd., 2008)

Şekil 2.2.1. Çalışmalardaki bazı deney numunelerinin göçme durumları

### 2.3. Analitik Çalışmalar

Uzatılmış alın levha birleşimleri analitik olarak incelenmiştir. (Özkılıç, 2021a) çalışmasında toplanan deneysel veriler sayısal analiz kullanılarak farklı akma çizgisi modellerinin doğruluğu karşılaştırmak amaçlanmıştır. Alın levha bağlantılarının kapasitesinin önemli ölçüde akma çizgi mekanizmasına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Uzatılmış alın levha bağlantısının nihai kapasitesi, plastik moment kapasitesinin ortalama iki katına kadar çıkabileceği görülmüştür. Alın levhanın kalınlığı azaldıkça, gerçek moment kapasitelerinin tahmin edilen moment kapasitelerine oranının arttığı yönünde genel bir eğilim gözlemlenmiştir. (W. Zhao ve Liu, 2011) çalışmalarında rijitlik levhalı ve rijitlik levhasız alın levhalı birleşimlerin dönme rijitliklerini hesaplamak amaçlanmıştır. Bir tasarım yöntemi türetmiştir ve dönme rijitliklerini hesaplamak için basit formüller de önerilmiştir. Sonlu elemanlar program test sonuçlarıyla karşılaştırılmasıyla önerilen denklemlerin iyi olduğunu göstermiştir. (Ghassemieh ve Nasser, 2012) çalışmalarında rijitlik levhalı alın levhalı birleşimlerin performansını ve modellemeyi araştırmak amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar modelinin davranışının deneysel sonuçlara yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Alın levha genişliği, cıvata çapları, kaynaklar ve diğer tüm önemli değişkenler gibi model analizinde kullanılan tüm etkili parametreler analize dahil edilmiştir ve parametre aralıkları pratik aralıklarla sınırlandırılmıştır. Sonlu elemanların sonuçlarından optimize edilmiş sinir ağı prosedürü geliştirildi ve alın levha moment bağlantılarının davranışını tahmin etmek için sinir ağlarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi sunulmuştur ve ön sonuçlar gösterilmiştir. (Qin vd., 2021) çalışmalarında güçlü ve zayıf eksen yönlerinde alın levhalı birleşimleri incelenmiştir. Yanal deformasyona uğrayan alın levha, kolon başlıkları ve gövdesini kapsayan levha ve kabuk teorisine dayalı olarak sınır koşu denklemleri oluşturulmuştur. Bu deformasyonları belirlemek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Birleşimin güçlü ve zayıf yönleri için bir hesaplama yöntemi oluşturulmuştur. Ayrıca cıvata kuvvetlerinin dağılımına ve bileşenlerin rijitliğine dayanarak alın levha birleşimlerinin başlangıç dönme rijitliğini hesaplamak için de yeni bir model oluşturulmuştur. Deneysel sonuçların sonlu elemanlar yöntemiyle kıyaslandığında önerilen yöntem doğrulanmıştır. (Mureşan ve Bâlc, 2017b) çalışmalarında alın levhalı birleşimlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle alın levha kalınlığı ve cıvata kalitesi parametrelerini içeren çalışma yapmak amaçlanmıştır. Alın levha kalınlığı azalmasıyla başlangıç rijitliği ve akma momenti azalmıştır. Bağlantının göçme

durumunu alın levhasının akması yönetmiştir. Alın levhanın ince olması durumunda çekme bölgesinde plastik deformasyona neden olmuştur. Öngerilmeli cıvatalarda cıvatanın kalitesi başlangıç rijitliğini etkilemezken akma ve nihai momentinde oldukça etkin rol oynamıştır. (Kiamanesh vd., 2013) çalışmalarında dairesel bir düzene sahip cıvata dizilimini içeren alın levhalı birleşimlerin sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmak amaçlanmıştır. Kullanılan bu cıvata düzeni modelin basıncın geciktirdiği, birleşimin mukavemetini arttırdığı ve enerji dağılımı da arttırdığı gözlenmiştir. Bu sebepten cıvataların erken akması önlenmiştir. Büyük cıvata ve alın levha durumlarında bu düzen birleşimin histeriktik sıkışmalarını engellediği ve dört cıvatanın yaklaşık aynı yük taşıdığı da görülmüştür. Ayrıca kiriş gövde bölgesine yakın olan cıvataların birleşimin yük taşıma kapasitesine oldukça iyi katkıda bulunmuştur. (S. Wang ve Chen, 2009) çalışmalarında cıvatalı alın levhalı birleşimlerin süreklilik levhası ve rijitlik levhasının yapısal detayları analiz edilmiştir. Rijitlik levhasını ve süreklilik levhasını dikkate alarak birleşimin başlangıç rijitliğini hesaplamada kullanılan yöntemler önerilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle karşılaştırıldığında başlangıç rijitliğini tahmin etmede doğruluğu doğrulanmıştır. (Kishi ve Chen, 2004) çalışmalarında alın levhalı birleşimlerin moment dönme ilişkisini tahmin etmek için model oluşturmak amaçlanmıştır. Önerilen modelin deneysel sonuçlar doğruluğu doğrulanmıştır. Önerilen modelin doğrusal olmayan çerçeve analiz eden programa uygulanabilirliği kolay basit olduğu görülmüştür. (Bai vd., 2015) çalışmalarında alın levhalı birleşimlerin farklı yönetmelikleri karşılaştırarak tasarım yöntemini geliştirmek amaçlanmıştır. Deneysel ve sayısal test sonuçları karşılaştırıldığında sonlu elemanlar iyi doğruluk göstermiştir. Ayrıca sayısal sonuçlar yönetmeliklerde avantajlarını bir araya getirdiği denklemleri doğrulamıştır. Prying etkisi dikkate alınması ve kiril başlığının alın levhadan kalın olması gerektiği görülmüştür. (J. L. Zhao, 2013) çalışmasında rijitlik levhalı ve rijitlik levhasız birleşimlerin dönme rijitliklerini hesaplamak için formüller önermek amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar sonuçları ile yapılan karşılaştırmalar sonucu önerilen denklemlerin çok iyi doğruluk göstermiştir. Ayrıca hesaplamalar oldukça basit ve uygulanabilir olduğu görülmüştür. (Liu, 2019) çalışmasında uzatılmış alın levhalı birleşimlerin şekil katsayısının için formül önermek amaçlanmıştır. Önerilen formül deneysel verilerle karşılaştırılmış ve uygunluğu doğrulanmıştır. Edilmiştir. (Özkılıç ve Topkaya, 2021c) çalışmalarında dört cıvatalı alın levhalı birleşimlerin plastik ve nihai eğilme mukavemetlerini hesaplamak için yeni yöntemler geliştirmek amaçlanmıştır. Uzatılmış alın levhalı birleşimlerde deformasyon kaynaklı oluşan boşluklar geometrik olmama durumunun etkileri ihmal edilebilir olduğu

sonucuna varılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda alın levhanın mukavemetini daha iyi hesaplamak akma çizgisinin tasarımında kullanılabileceğini göstermiştir. Nihai ve plastik mukavemeti ayrı olarak incelendiğinde ince ve kalın alın levhalar arasındaki fark için yeni bir krite geliştirilmiştir. (Lu vd., 2022) çalışmalarında alın levhali birleşimli çerçeve sistemlerinin performansını daha doğru hesaplamak için model önermek amaçlanmıştır. Önerilen model hesaplamalar için maliyeti düşürmekle beraber performans tahminlerini oldukça doğru yapmıştır. (Radmehr ve Homami, 2020) çalışmalarında alın levhali birleşimlerin güvenlik endeksi için bir algoritma sunmak amaçlanmıştır. Güvenirlik indeksi performans için yeterli olduğu ama bu durumun çok az üstüne çıktığı görülmüştür. (Abolmaali vd., 2005) çalışmalarında alın levhali birleşimlerde moment dönme davranışını tahmin için denklemler geliştirmek amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle oluşturulan modeller daha önce yapılmış alın levhali birleşim deney sonuçlarıyla karşılaştırıldı ve moment dönme grafiklerini oldukça iyi tahmin ettiği görülmüştür. (Y. Shi vd., 2007) çalışmalarında rijitlik levhali alın levhali birleşimlerde moment dönme ilişkisini tahmin edebilmek için teorik model önermek amaçlanmıştır. Test sonuçlarına bakılarak yapılan karşılaştırmalar neticesinde tahmin edebileceği doğrulanmıştır. Ayrıca bu model moment boşluk ve moment kayma eğrilerini de tahmin etmede oldukça başarılı olmuştur. (Mofid vd., 2001) çalışmalarında alın levhali birleşimlerin davranışını belirlemek için analitik bir yöntem önermek amaçlanmıştır. Deneysel ve sonlu elemanla yapılan çalışmalarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Kesme deformasyonu alın levha birleşiminin rijitliği üzerinde etkisinin olmadığı ve başlangıç rijitliği levha kalınlığı ve genişliğiyle ve civataların mesafeleri ile doğrudan ilişkili olduğu bulunmuştur.

### **3. ALIN LEVHALI BİRLEŞİMLER**

Alın levhali birleşimler hem başlıklar hem de gövde boyunca kirişin ucuna kaynaklanmış ve önceden yüklenmiş yüksek mukavemetli civatalar kullanılarak kolon başlığına civatalanmış bir çelik levhadan oluşur (Tomăscu ve Muresan, 2013). Alın levha moment bağlantıları, Amerika Birleşik Devletleri'nde öncelikle ön mühendisliği yapılmış endüstriyel binalarda kullanılmaktadır. Basit imalat tekniklerinin ve hızlı şantiye montajının bir kombinasyonu, civatalı alın levhaları, yapısal çelik çerçevelerdeki elemanları bağlamanın en popüler yöntemlerinden biri haline getirmiştir. Kullanımları basit olmasına rağmen, civatalı alın levhalar, analizleri ve davranışları açısından son

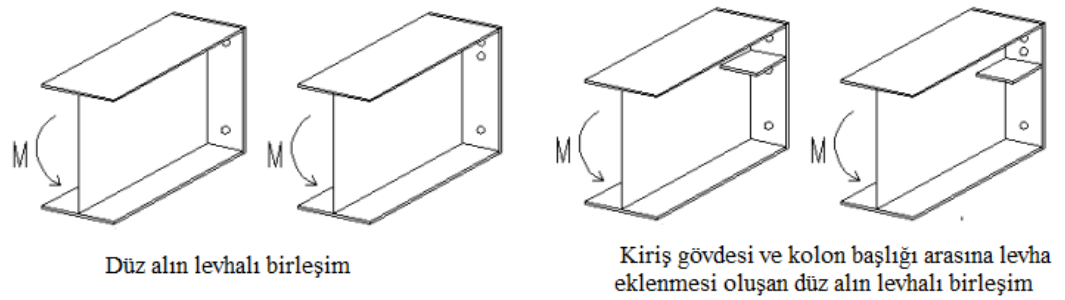
derece karmaşıktır (Butterworth, 1999). Enerji tüketimi için verimlilikleri ve yüksek süneklikleri ile alın levha bağlantılı çelik çerçeveler, yüksek sismik alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Lu vd., 2022).

### 3.1. Alın Levha Çeşitleri

Kiriş ile kolon arasında rijit bir bağlantı oluşturmanın yaygın bir yolu, bir alın levhayı kirişin ucuna kaynaklamak ve ardından onu kolona cıvatalamaktır (Mohammadi-Shoreh ve Mood, 2004). Alın levhalı moment aktaran birleşimler temel olarak düz ve uzatılmış olarak 2 gruba ayrılır. Uzatılmış alın levhalarında ise uzatılmış kısımlarına rijitlik levhası eklenerek de uygulanmaktadır. Ayrıca kolon başlıkları süreklilik levhaları da eklenerek çeşitlendirilebilir. Süreklilik levhaları temel olarak kolon başlıkları arasına kaynaklanarak oluşturulur. Kiriş başlıklarının kolon başlıkları arasında devamlılığı yani sürekliliğini sağlamak için uygulanmaktadır. Geleneksel olarak süreklilik levhaları, yapısal çelik yapıdaki moment bağlantılarının yük taşıma kapasitesini artırmak için kullanılır, ancak yapılan araştırmalar, kolon başlığı süreklilik levhalarının, uzatılmış alın levha bağlantılarını güçlendirmek için daha ucuz bir alternatif sağlayabileceğini öne sürüyor (Moore ve Sims, 1986b). Geleneksel olarak kolon süreklilik levhaları, yapısal çelik işlerinde uzatılmış alın levha cıvatalı moment bağlantılarının yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini artırmak için kullanılır. Ayrıca, çerçevenin optimum analizi ve tasarımı, bağlantı elemanlarının tam plastik kapasitesi dışında bağlantı momentleri gerektirebilir ve bu da kolon süreklilik levhaları gereksiz kılar (Bahaari ve Sherbourne, 1996).

#### 3.1.1. Düz Alın Levhalı Birleşim

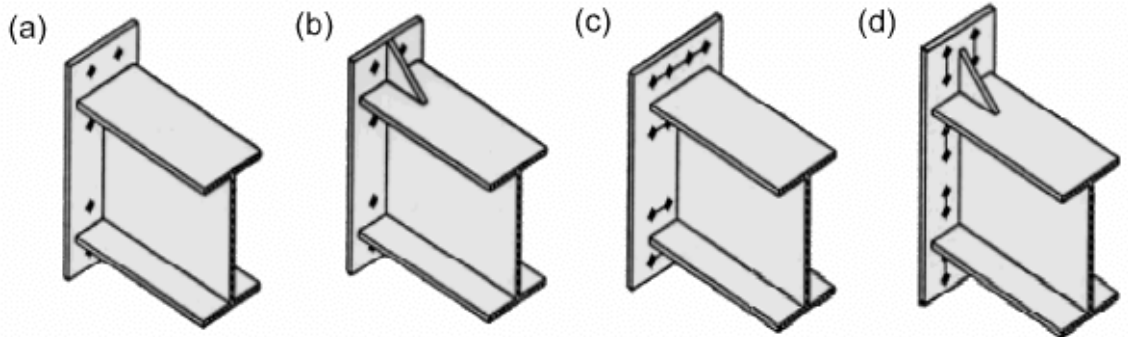
Alın levhalı moment aktaran birleşimi, kirişin ucuna alın levhası kaynaklanarak diğer yapı elemanına yüksek mukavemete sahip cıvatalarla birleşmesinden oluşur. Alın levhalı moment aktaran birleşim kiriş-kolon ya da kiriş-kiriş birleşimleri de olabilir. Alın levhalı moment aktaran birleşimler uzatılmış ve düz alın levhalı olmak üzere iki kısma ayrılır. Şekil 3.1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1.1. Düz alın levha çeşitleri (Tomăscu ve Muresan, 2013)

### 3.1.2. Uzatılmış Alın Levhalı Birleşim

Uzatılmış alın levhalı cıvatalı bağlantılar, moment dirençli bağlantılar olarak çelik yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlantıların çoğu yarı-rijit yani esnektir (Luo, Du, vd., 2020). Uzatılmış alın levha moment bağlantıları, sismik kuvvete dayanıklı moment çerçevelerinde kullanılması düşünülen tamamen kaynaklı bağlantılara bir alternatiftir (Sumner ve Murray, 2002). Uzatılmış alın levhalı birleşim cıvata sayısı ile 2 gruba ve bu 2 grup rijitlik levhasının eklenmesiyle 2 farklı türden oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Uzatılmış alın levha bağlantıları: (a) rijitlik levhasız 4 cıvata; (b) rijitlik levhalı 4 cıvata; (c) 8 cıvata rijitlik levhasız (dört cıvata genişliğinde); ve (d) 8 cıvatayla rijitlik levhalı (Eldin, 2009)

### 3.2. Akma Çizgisi Modeli

Akma çizgisi yöntemi ilk olarak beton döşemelerin dayanımını hesaplamak amacıyla geliştirildi. Bu yöntem alın levhanın mukavemetinin hesaplanmasında kullanılır. Alın levha kırılması ve cıvata kırılması, alın levha bağlantısının ana göçme modlarıdır. Alın levha bağlantısının moment kapasitesinin tahmini, akma mekanizması

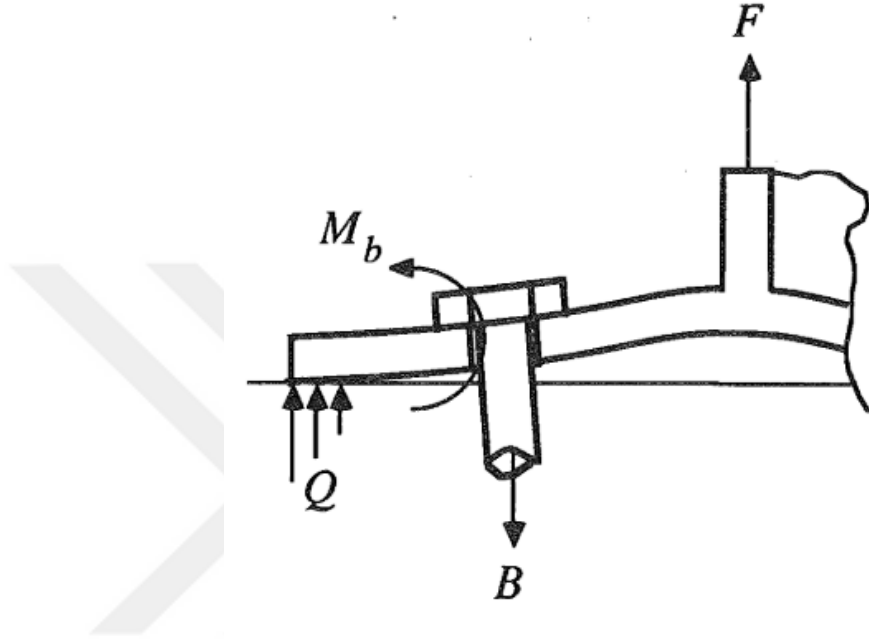
için alın levha akma çizgileri tarafından üretilen sanal iş olarak hesaplanır (Özkılıç, 2021a). Çelik yapılarda bulunan alın levhalı moment aktaran birleşimlerde akma çizgisi teorisi birleşimin analizinde ve tasarımın oldukça yaygın kullanılmaktadır. Akma çizgisi analizi, çelik yapı bağlantılarının mukavemetini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir ve çeşitli parametrelerin etkisi incelenmiştir. Bağlantıların mukavemeti, akma çizgisi analizi kullanılarak hesaplanır. Akma çizgisi analizi, bağlantının göçme modellerini ve akma çizgilerini doğru bir şekilde belirlemenin önemli olduğunu vurgular. Hatalı akma çizgileri, güvenli olmayan sonuçlara yol açabilir. Akma çizgileri yöntemi, nihai yük taşıma kapasitesini belirlemek için kullanılan bir yapısal analiz tekniğidir ve malzemelerin kırılmadan önce plastik deformasyona uğradıklarını varsayarak, malzemelerin plastik davranışını dikkate alır. Rijitlik levhalı alın levha bağlantıları bağlamında, rijitlik levhanın varlığını hesaba katarak alın levhanın mukavemetini değerlendirmek için akma çizgisi yöntemi kullanılır. Akma çizgisi yöntemini bu tür bağlantılarda uygularken, analiz hem alın levhadaki hem de rijitlik levhalarındaki akma çizgilerinin dikkate alınmasını içerir. Akma çizgileri, varsayılan göçme moduna ve kuvvet ve momentlerin dağılımına göre belirlenir. Akma çizgisi yöntemi, rijitlik levhalı alın levha bağlantısının yapısal bütünlüğünü ve güvenliğini sağlayarak, yük taşıma kapasitesinin ihtiyatlı bir tahminini sağlar.

### 3.3. Prying Etkisi

Alın levhalı bağlantılarda cıvata boyutunun ve levha kalınlığının uzatılmış parçanın kenarların sonuna kadar eğrilik oluşması görülmektedir. Bu oluşan eğrilik dengelemek için prying etkiler gereklidir. Prying etkiler, alın levhadaki dağılımları ölçülememektedir. Bu etkinin konumu, büyüklüğü kolon başlığı ve alın levhası gibi alın levhasının temas yüzeylerini de bağlıdır. Ayrıca etkiyen yüke ve niteliğine göre değişiklik göstermektedir. Bu karmaşık problemde birden fazla parametrenin önemli bir etkisi vardır. Bazı araştırmacılar bu prying etkinin tasarımda dikkate alınması için belli çözümler önermiştir. Bazı araştırmacılar değerlendirmeye çalışması karmaşık çözümlere sebebiyet vermiştir. Diğer araştırmacılar tasarımındaki önemini bile kabul etmemektedir (Mohammed Bahaari ve Sherbourne, 1996):-

Prying etkisi, bağlantıya uygulanan yükün dışmerkezliği sebebiyle cıvatalı bağlantılarda görülür, çoğunlukla da alın levhaların olduğu birleşimlerde ek kuvvetler

anlamına gelir. Alın levhalı bir bağlantı bir yüke maruz bırakıldığında, cıvataların çevresinde levhayı cıvataların etrafında döndürmeye çalışan bir moment oluşur ve bu oluşan moment cıvatalarda ve temas eden alın levhasında çekme veya basınç kuvvetlerine sebep olur. Şekil 3.3.1’de prying etkisi ve çekme kuvvetinin kombinasyonu olarak gösterilmiştir. Bu oluşan kuvvetlere prying kuvvetler denir.



Şekil 3.3.1. Prying Etkisi ve Çekme Kuvveti Kombinasyonu

Prying etkisi, bağlantı birleşiminin yapısal bütünlüğünü sağlamak için bağlantının tasarım prosedüründe dikkate alınması gereken ek kuvvetler getirir. Bu ek kuvvetler; levha gerinimleri, cıvata kuvvetleri, birleşimin mukavemeti ve rijitliği ayrıca birleşimin kapasitesini ve davranışını etkileyebilir. Prying etkisi için tasarımında uygulanacak yükün dışmerkezliğine, birleşimin geometrisine, birleşim elemanlarının rijitliğine, cıvata ve levhanın mukavemetine dikkat edilmelidir. Alın levhalı birleşimlerde prying etkisini analiz ve hesap etmek için çeşitli tasarım modelleri ve yöntemler araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Bu önerilen yöntem ve tasarımlarda cıvata kesme ve çekme kuvvetleri, levha eğilmesi, kesme gerilmeleri, birleşimin kuvvet dağılımı ve benzer parametreleri dikkate alınmıştır.

### 3.4. AISC

#### 3.4.1. Rijitlik Levhasız Alın Levhalarında Akma Çizgileri

Önerilen tasarım prosedürlerinde alın levha ve kolon başlığı eğilme dayanımları akma çizgisi analizi kullanılarak belirlenir. Akma çizgisi analizi iki farklı yöntemle gerçekleştirilebilir: sanal iş veya enerji yöntemi ve denge yöntemi. Sanal iş yöntemi, çelik levhaların analizi için tercih edilen yöntemdir ve alın levha ve kolon başlığı eğilme mukavemeti için tahmin denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Sanal iş yöntemi, levha mukavemeti için bir üst sınır çözümü sağlayan bir enerji yöntemidir. Bir levhanın kontrol akma çizgisi desenini belirlemek için çeşitli akma çizgisi desenleri dikkate alınmalıdır. En düşük göçme yükünü kontrol eden model, en düşük üst sınır çözümü olarak kabul edilir.

Şekil 3.4.1, dört cıvatalı uzatılmış, rijitlik levhasız alın levha bağlantıları için kontrol eden akma çizgisi desenini ve varsayılan sanal yer değiştirmeyi göstermektedir. Bir akma çizgisi deseninde depolanan iç iş, mekanizmayı oluşturan akma çizgilerinin her birinde depolanan iç işin toplamıdır. Alın levha moment bağlantılarında gözlemlenen karmaşık modeller için iç iş bileşenlerini Kartezyen ( $x -$  ve  $y -$ ) bileşenlere ayırmak uygundur. Akma çizgisi modeli tarafından depolanan iç işin genel ifadesi şöyledir:

$$W_i = \sum_{n=1}^N (m_p Q_{nx} L_{nx} + m_p Q_{ny} L_{ny})$$

burada  $Q_{nx}$  ve  $Q_{ny}$  akma çizgisi boyunca rijit levha parçalarının bağlı dönmelerinin  $x-$  ve  $y-$  bileşenleridir,  $L_{nx}$  ve  $L_{ny}$  akma çizgisi uzunluğunun  $x-$  ve  $y-$  bileşenleridir ve  $m_p$  birim uzunluk başına alın levhanın plastik moment dayanımıdır.

$$m_p = F_{yp} Z_p = F_{yp} \left( \frac{(1)t_p^2}{4} \right)$$

İç iş  $W_i$ , iç cıvatalardan akma çizgisi modelinin kenarına kadar olan mesafeyi içerir; örneğin, Şekil 3.4.1.1'deki  $s$  mesafesi.  $s -$  mesafesine göre  $W_i$ 'nin minimizasyonu, akma çizgisi modeli için en az iç enerjiyle sonuçlanır.

Ünitenin sanal dönüşünden kaynaklanan dış iş şu şekilde verilir:

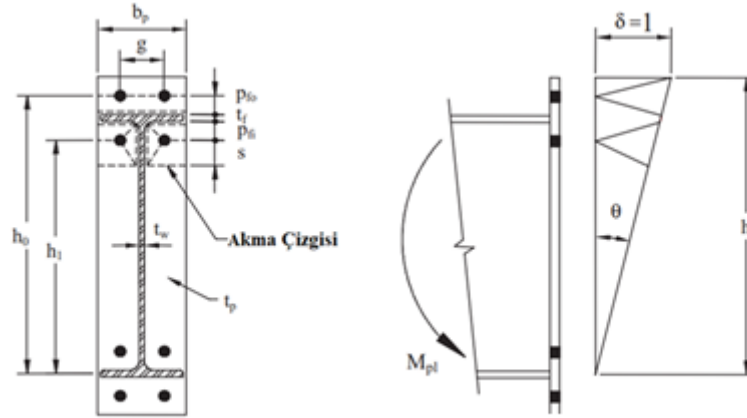
$$W_e = M_{pl}\theta = M_{pl}\left(\frac{1}{h}\right)$$

burada  $M_{pl}$  alın levhanın eğilme mukavemetidir ve  $\theta$  uygulanan sanal yer değiştirir. Uygulanan sanal yer değiştirme  $1/h$ 'e eşittir; burada  $h$ , basınç başlığının merkez alın levhanın çekme tarafı kenarına kadar olan mesafedir.

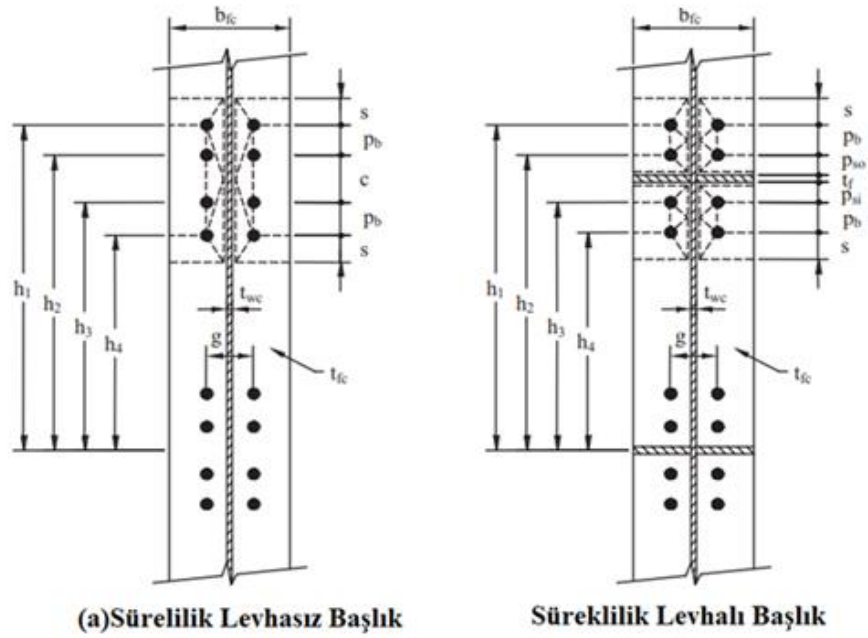
Alın levhanın eğilme mukavemeti  $W_i$ 'nin  $W_i$ 'ye eşitlenmesi ve  $M_{pl}$ 'nin çözümlenmesiyle bulunur. Veya ifade yeniden düzenlenerek gerekli alın levhanın kalınlığı belirlenebilir.

Akma çizgisi denklemlerinin karmaşıklığını azaltmak için, bunların geliştirilmesine aşağıdaki basitleştirmeler dahil edilmiştir. Cıvata deliklerinden çıkan levha malzemesini hesaba katmak için alın levha veya kolon başlığı mukavemetinde herhangi bir ayarlama yapılmaz. Başlık veya rijitlik levhaları ve gövde boyunca köşe kaynaklarının genişliği akma çizgisi denklemlerinde dikkate alınmaz. Son olarak, birleşimlerin basınç bölgesindeki akma çizgilerinin çok küçük dayanım katkısı ihmal edilmektedir.

Akma çizgisi analizi, Şekil 3.1'de gösterilen alın levha moment bağlantı dizilimi için süreklilik levhalı veya süreklilik levhasız kolon başlık dizilimine yönelik çözümler geliştirmek amacıyla kullanılmıştır. Örneğin, sekiz cıvatalı uzatılmış rijitlik levhalı alın levha bağlantısı için kolon başlığı süreklilik levhalı veya süreklilik levhasız akma çizgisi modeli Şekil 3.4.1.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4.1.1. Dört cıvatalı, uzatılmış, rijitlik levhasız bağlantının akma çizgisi deseni ve sanal yer değiştirmesi (AISC)



Şekil. 3.4.1.2. Sekiz cıvatalı uzatılmış rijitlik levhalı alın levha moment bağlantılarının kolon başlığı akma çizgisi desenleri

### 3.4.2. Rijitlik Levhalı Alın Levhalarında Akma Çizgileri

**Tablo 3.4.2.1.** Dört cıvatalı uzatılmış rijitlik levhalı alın levha Akma çizgi mekanizması Parametresinin özeti

<b>Alın Levha Geometrisi ve Akma Çizgisi Deseni</b>	
Durum 1 ( $d_e \leq s$ )	
$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left( \frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_0(d_e + p_{fo})]$	
Durum 2 ( $d_e > s$ )	
$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_0(s + p_{fo})]$	
$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$ Not: Eğer $p_{fi} > s$ , $p_{fi} = s$ kullan	

**Tablo 2.** Dört civatalı uzatılmış rijitlik levhali aln levha birleşiminin kolon başlık akma çizgi mekanizması Parametresinin özeti

<b>Alın Levha Geometrisi ve Akma Çizgisi Deseni</b>	
Durum 1 ( $d_e \leq s$ )	
$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left( \frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_0(d_e + p_{fo})]$	
Durum 2 ( $d_e > s$ )	
$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_0(s + p_{fo})]$	
$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$ Not: Eğer $p_{fi} > s$ , $p_{fi} = s$ kullan	

### 3.4.3. Rijitlik Levhalsız Alın Levhalarında Prying Etkiler

Prying etkisini ortadan kaldırmak için minimum kolon başlığı kalınlığını kontrol edin:

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{4.4r_{ut} b'}{\phi_d p F_y}}$$

$$b' = (g - k_1 - 0,5t_{cw} - d_b)$$

$g$  = Kolon cıvata boyutu (mm)

$k_1$  = Kolon gövde merkezinin başlık ucuna mesafesi (mm)

$p$  = Cıvata başına dikey kol uzunluğu

88mm W1.0 ve B1.0 için

Diğerleri için 125 mm

$t_{cw}$  = Kolon gövde kalınlığı (mm)

Seçilen kolon başlık kalınlığı, prying etkisini ortadan kaldırmak için gerekenden azsa, tatmin edici başlık kalınlığına sahip bir kolon seçin veya prying kuvvetini AISC Çelik Yapı Kılavuzu Bölüm 9'a göre Denklem 9.9-2'ye dahil edin.

Prying etkisini önlemek için gereken akma çizgisi başlığının kalınlığını,  $t_{başlık}$ , belirleyin

$$t_{başlık} = \sqrt{\frac{4r_t b'}{p\phi_d F_u}}$$

$$b' = (b - d_{b-başlık}/2)$$

$b$  = Akma çizgisi başlığındaki cıvataların merkezinden akma çizgisi gövdesinin yüzüne kadar olan dikey mesafe (mm)

$d_{b-başlık}$  = Akma çizgisi başlığını ve kolon başlığını bağlayan cıvatanın çapı (mm)

$p$  = minimum  $d_{b-başlık}/2$  veya  $s_{başlık}$  (mm)

Akmayı ve burkulmayı önleyen levha (BÖL) cıvatasının neden olduğu kopmayı önlemek için minimum giriş başlığın kalınlığını belirleyin. Minimum başlık kalınlığı 10,16 mm'den az olmayacaktır.

$$t_{bf\_min} = \sqrt{\frac{4T_{ux} b'}{\phi_d p_s F_{ub}}}$$

$F_{ub}$  = Kiriş malzemesinin belirtilen minimum çekme dayanımı (MPa)

$T_{ux}$  = Bir sınırlama cıvatası tarafından aktarılan dikey itme kuvveti (kN)

$$= \frac{Q}{n_{BÖL\_civata}}$$

$b'$  = Cıvata merkezinden kolon merkezine olan uzaklık

$p_e$  = Akma çizgisi deseninden cıvata başına etkin (bağlantılı) uzunluk

$$Q = \text{Kiriş başlığındaki toplam dikey itme kuvveti (kN)}$$

$$= N_{tasarım} Q_i$$

$n_{BÖL\_civata}$  = Toplam burkulmayı önleyen levhanın cıvata sayısı

Yönetmelikteki  $a \leq 1.25b$  sınırı yalnızca bir hesaplama sınırıdır ve  $a$  boyutunda fiziksel bir sınırlama değildir. Kaldırma kuvvetlerinin ön tahmini için  $b$  boyutu  $0,40g_{tb}$  olarak tahmin

$$a = 1,5d_{tb} \leq 1,25b$$

$b$  = Etkin T gövdesi ile T başlığındaki cıvata çizgisi arasındaki mesafe,


$g_{tb}$  = T profildeki çekme cıvatalarının ölçüsü

Her durumda, prying etkisini ortadan kaldırmak için gereken başlık kalınlığı şu şekilde hesaplanabilir:

$$t_{ft,kritik} \geq \sqrt{\frac{4\phi r_{nt} b'}{\phi_a p F_{yt}}}$$

Kolon başlıklarını rijitleştiren süreklilik levhalarının varlığı, kolon-başlık deformasyonlarından kaynaklanan prying etkisinin kontrol edilmesi ihtiyacını ortadan kaldırır.

#### 3.4.4. Rijitlik Levhah Alın Levhalarında Prying Etkiler

Tablo 3.4.4.1'deki  ve  $Q_{max,o}$  ifadeleri bir radikaldeki terimleri içerir. Radikalin içindeki miktar negatifse, alın levhanın birleşik eğilme ve kayma akması kontrol sınır durumudur ve alın levha belirtilen moment için yeterli değildir, dolayısıyla daha kalın bir alın levha gerekir.

**Tablo 3.4.4.1** Uzatılmış Alın Levha Bağlantıları için Cıvata Kuvveti Tahmin Denklemlerinin Özeti

<p>İç Cıvata Sırası Maksimum Prying Etkisi</p>	$Q_{max,i} = \frac{w' t_p^2}{4a_i} \sqrt{F_{py}^2 - 3 \left( \frac{F'_i}{w' t_p} \right)^2}$ $a_i = 3,682 \left( \frac{t_p}{d_p} \right)^3 - 0,085$ $w' = b/2 - (d_p + 1/16)$ $F'_i = \frac{t_p^2 F_{py} \left( 0,85 \frac{b_p}{2} + 0,8w' \right) + \frac{\pi d_p^3 F_t}{8}}{4p_{f,i}}$
<p>Dış Cıvata Sırası Maksimum Prying Etkisi</p>	$Q_{max,o} = \frac{w' t_p^2}{4a_o} \sqrt{F_{py}^2 - 3 \left( \frac{F'_o}{w' t_p} \right)^2}$ $a_o = 3,682 \left( \frac{t_p}{d_p} \right)^3 - 0,085 \leq (p_{ext} - p_{f,o})$ $w' = b/2 - (d_p + 1/16)$ $F'_o = \frac{t_p^2 F_{py} \left( 0,85 \frac{b_p}{2} + 0,8w' \right) + \frac{\pi d_p^3 F_t}{8}}{4p_{f,o}}$ $P_t = A_b F_t = \frac{\pi d_b^2}{4} F_t$



### 3.5. Eurocode

EN1998-1 moment aktaran çerçevelerde kiriş-kolon bağlantılarının tasarım prosedürünü sağlarken, EN1993-1-8 [34] birleşim noktalarının tasarımı için gerekli hesaplamaları sağlar.

**Tablo 3.5.1.** T-profil başlığının tasarım mukaveti

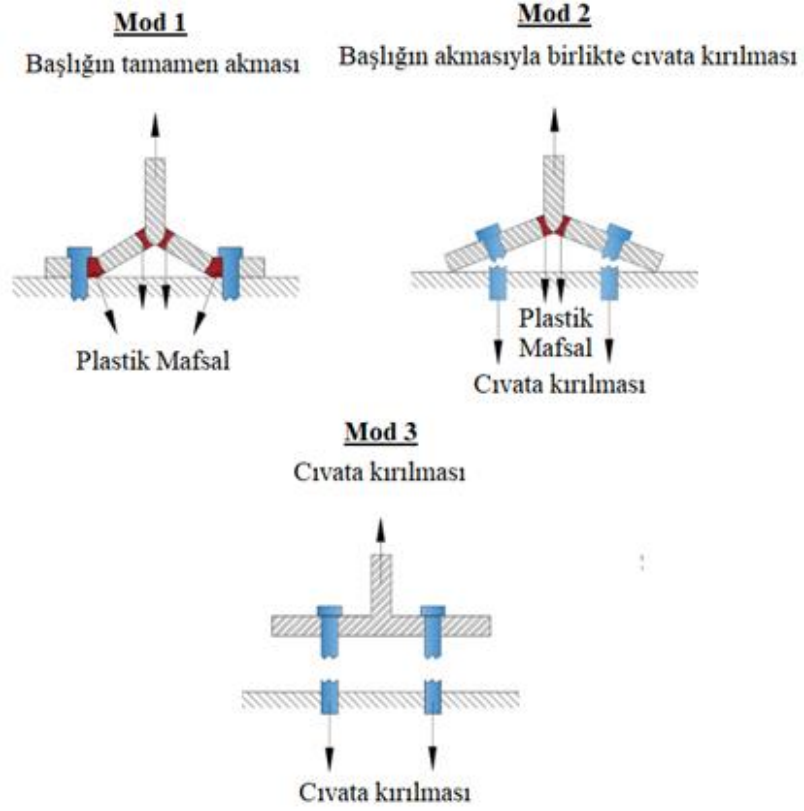
Mod 1	
Destek Levhaları yoksa	
Yöntem 1	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$
Yöntem 2	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$
Destek levhaları varsa	
Yöntem 1	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$
Yöntem 2	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$
Mod 2	
$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$	
Mod 3	
$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$	

Mod 1: Başlığın tamamen akması

Mod 2: Başlığın akmasıyla birlikte cıvata kırılması

Mod 3: Cıvata kırılması

Şekil 3.5.2.1’de 3 mod görsellerle gösterilmiştir.



Şekil 3.5.2.1. Üç göçme modu (Özkılıç, 2021c)

$F_{T,Rd}$  = T-profil başlığının tasarım çekme mukavemeti

$Q$  = Prying etkisi

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{bp,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{M0}$$

$$n = e_{min} \text{ ama } n \leq 1,25mm$$

$n_b$  cıvata sıralarının sayısıdır (sıra başına 2 cıvata ile)

$F_{T,Rd}$  bir cıvatanın tasarım çekme mukavemetidir, bkz. Yönetmeliğe;

$\sum F_{t,Rd}$  T-profildeki tüm cıvatalar için  $F_{T,Rd}$ 'nin toplam değeridir;

$\sum l_{eff,1}$  mod 1 için  $l_{eff}$  değeridir;

$\sum l_{eff,2}$  mod 2 için  $l_{eff}$  değeridir;

$e_{min}$ ,  $m$  ve  $t_1$  Şekil 3.5.2.2'ye gösterildiği gibidir;

$F_{y,bp}$  destek levhalarının akma dayanımıdır;

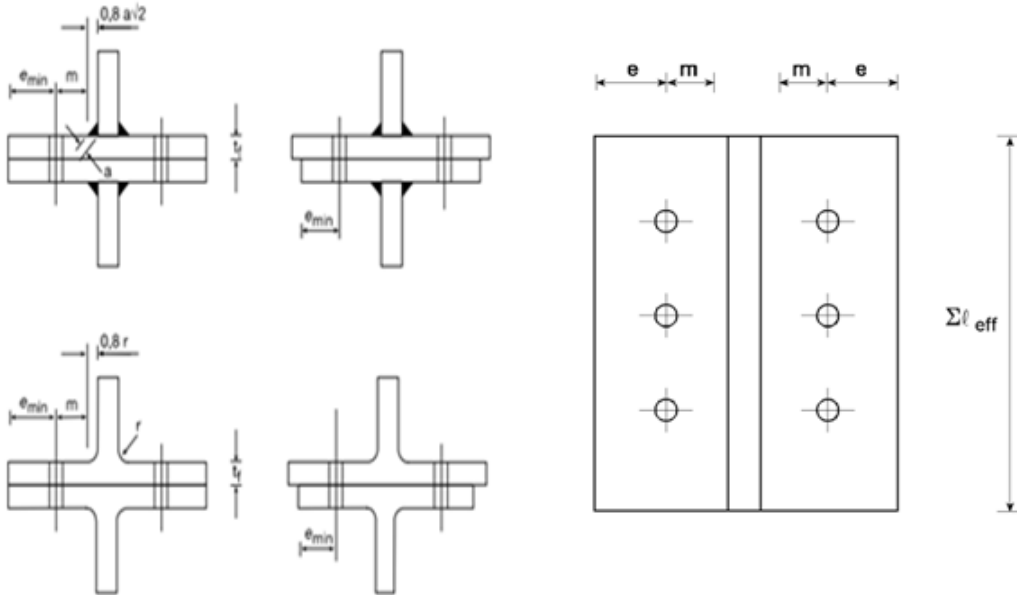
$t_{bp}$  destek levhalarının kalınlığıdır;

$$e_w = d_w/4;$$

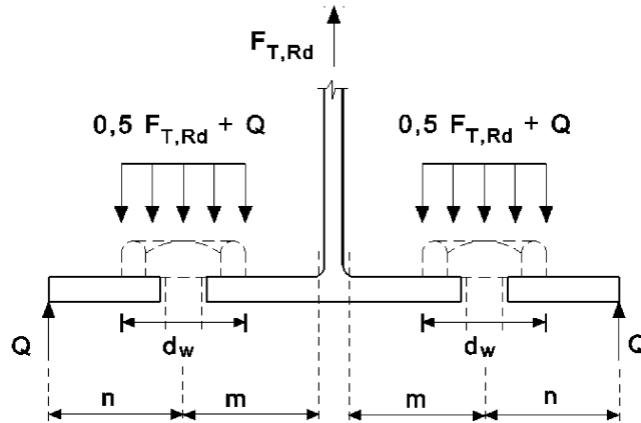
$d_w$  pulun çapı veya ilgili olarak cıvata başı veya somunun noktaları arasındaki genişliktir.

**NOT 1:** Cıvatalı kiriş-kolon birleşimlerinde veya kiriş birleşim yerlerinde, prying etkisinin gelişeceği varsayılabilir.

**NOT 2:** Yöntem 2'de, bir cıvata tarafından T-profil başlığına uygulanan kuvvetin, cıvatanın merkez hattında yoğunlaşmak yerine, pul, cıvata başı veya somunun altına (uygun olduğu şekilde) eşit şekilde dağıtıldığı varsayılmaktadır. Şekil 3.5.3.3' te gösterilmiştir. Bu varsayım, mod 1 için daha yüksek bir değere yol açar, ancak  $F_{T,1-2,Rd}$  ile mod 2 ve 3'ün değerlerini değiştirmeden bırakır.



Şekil 3.5.3.3. Eşdeğer T-profil Başlığının Boyutları (Eurocode)

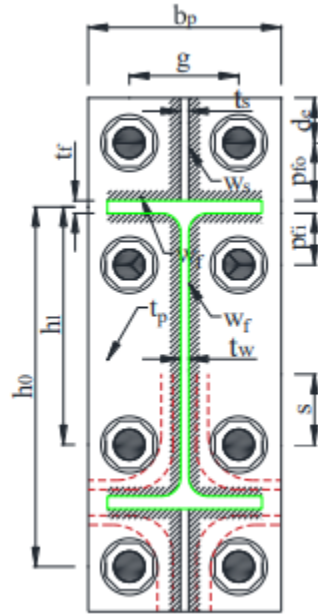


Şekil 3.5.3.3. T-profilde Prying Etkisi (Eurocode)

### 3.6. Önerilen Denklemler

Akma çizgisi modelinde kullanılan Eurocode ve AISC yönetmeliklerinde kullanılan yöntemler. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar neticesinde eksik veyahut yanlış tahminlerde bulunduğu durumlar için akma çizgisi denklemlerine yeni önerilerde bulunulmuştur. (Özkılıç, 2023a) çalışmasında büyük cıvatalara ve ince levhalara sahip rijitlik levhalı uzatılmış alın levhalı birleşimlerin döngüsel ve monotonik yükler etkisinde hem deneysel hem de sayısal çalışmalar yapmıştır. Deneysel çalışmada alın levha kalınlığı değişkenliğinde 6 adet deney numunesi ve birçok parametreyi içeren 156 sayısal model ile çalışma yapılmıştır. Çalışmada EN1993-1-8 ve AISC 358-16 yönetmeliklerine göre değerlendirilmiştir ve rijitlik levhalı uzatılmış alın levhalı birleşimlerin moment mukavemetini eksik tahmin edildiği görülmüştür. Bunun sonucunda akma çizgi mekanizması önerilmiştir. Önerilen denklem aşağıda gösterilmiştir.

$$Y_p = h_0 \left[ \frac{2d_e}{g - d_w - t_s - 1.6w_s} + \frac{(b_p - g)/2}{p_{fo} - 0.5d_w - 0.8w_f} + \pi \right] + h_i \left[ \frac{2s}{g - d_w - t_s - 1.6w_s} + \frac{(b_p - g)}{p_i - 0.5d_w - 0.8w_f} + \frac{\pi}{2} \right]$$



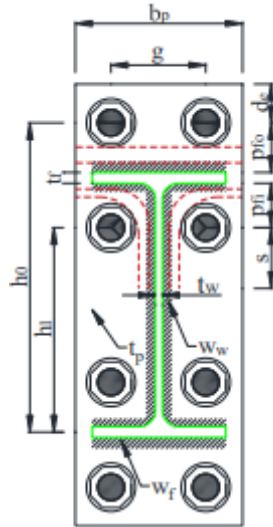
Şekil 3.6.1. Önerilen akma çizgisi mekanizması

Önerilen denklemde akma çizgisi yöntem hesabında  $b_p$  kiriş başlık genişliği 25mm'den daha fazla,  $d_e$  değeri ise  $s$  değerinden büyük olarak kullanılmamalıdır. Daha sonra rijitlik levhalı uzatılmış alın levhalı birleşimlerin önerilen moment kapasitesi aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$M_P = t_p^2 F_{py} Y_P$$

(Özkılıç, 2023c) çalışmasında büyük cıvatalara ve ince levhalara sahip rijitlik levhalı uzatılmış alın levhalı birleşimlerin döngüsel ve monotonik yükler etkisinde hem deneysel hem de sayısal çalışmalar yapmıştır. Deneysel çalışmada alın levha kalınlığı değişkenliğinde 6 adet deney numunesi ve birçok parametreyi içeren 156 sayısal model ile çalışma yapılmıştır. AISC 358-16 ve EN1993-1-8 yönetmeliklerindeki denklemler rijitlik levhasız uzatılmış alın levha birleşimlerinin plastik moment kapasitesini olması gerektiğinden daha az hesaplamaktadır. Plastik moment kapasitesini doğru hesaplamak için yapılan çalışmalar göz önüne alınarak yeni bir akma çizgisi mekanizması önerilmiştir. Önerilen denklem aşağıda gösterilmiştir.

$$Y_P = h_0 \left[ \frac{b_p}{p_{fo} - 0.5d_w - 0.8w_f} \right] + h_i \left[ \frac{4s}{g - d_w - t_s - 0.8w_s} + \frac{(b_p - g)}{p_i - 0.5d_w - 0.8w_f} + \pi \right]$$



Şekil 3.6.2. Önerilen akma çizgisi mekanizması

Yukarıdaki denklem hesabında  $b_p$  kiriş başlık genişliği 25mm'den daha fazla olarak kullanılmamalıdır. Daha sonra rijitlik levhasız uzatılmış alın levhalı birleşimlerin önerilen moment kapasitesi şu aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$M_P = t_p^2 F_{py} Y_P$$

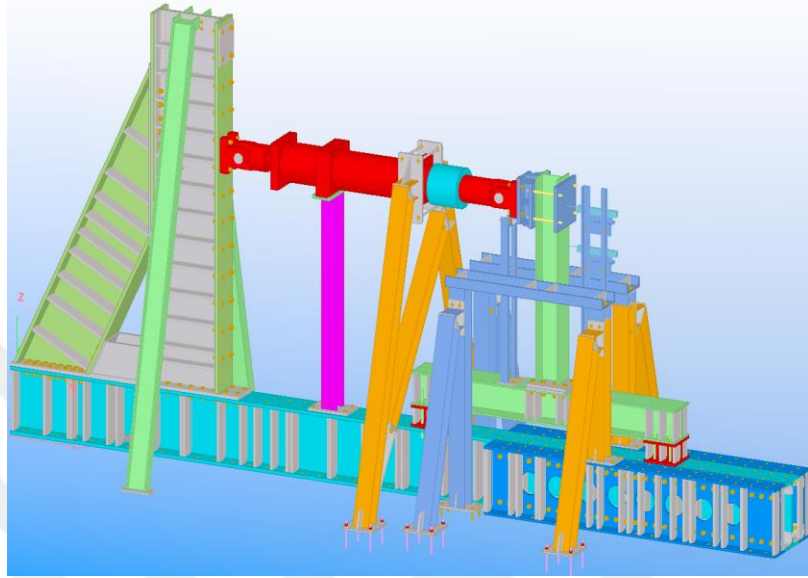
#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan literatür taramalarında edinilen bilgiler şunları göstermektedir ki özellikle önemli ve büyük yapılarda kullanılan çeliğin birbirleriyle olan bağlantılarında kritik olan birleşim yerlerinin daha detaylı incelenmesi temelli olduğu görülmüştür. Literatürde rijitlik levhalı ve rijitlik levhasız uzatılmış alın levhalı bağlantıların üzerine daha fazla deney çalışmalarının yapılması gerektiğini göstermiştir. Bu çalışma da ise kolon-kiriş birleşimlerinin alın levhalarla birlikte deneysel çalışmalarla birleşimlerin göçme şekilleri, moment eğrisi ve dönme eğrisi incelenmiştir.

Bu kapsamda kolon kiriş birleşimlerin rijitlik levhalı ve rijitlik levhasız olacak şekilde uzatılmış alın levhalarla birlikte çevrimsel yükleme altında deneysel olarak incelenmiştir. Kolon-kiriş birleşimleri bulonlarla kolon başlığı ile kiriş gövdesi arasına yapılmıştır ve rijitlik levhaları kiriş başlığı ile uzatılmış alın levhasına kaynak ile yapılmıştır. Deneyde kullanılacak çelik profillerin diğer malzeme özellikleri sabit tutulmuştur. Yapılacak deneylerde kolon-kiriş birleşiminde kirişin davranışı inceleyeceğimizden kolonun profil seçimi dayanımı yüksek olan bir profil çeşidi seçilmiştir. Ayrıca kiriş yanal ötelenmesi yanal destek sistemi ile önlenmiştir.

Deneyler Necmettin Erbakan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. Deney için hidrolik sistemle çalışan pompa, yükleme hücresi, deformasyonu incelemek için LVDT, verileri toplamak için veri toplama cihazı ve bilgisayar kullanılmıştır. Kolon-Kiriş birleşimlerinin tasarımı için AISC yönetmeliği ve Avrupa yönetmeliği kullanarak tasarımları yapılmıştır.

Mevcut deney düzeneği yanal destek sisteminin güçlendirilmesi için Şekil 4.1 ve 4.2 'deki gibi yenilenmiştir. Karşılıklı ikişer adet U240 profil HEA160 kolonlarının üzerine yerleştirilmiştir. Deney numunesi ise bu U240 profillerinin arasına yerleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Boyutlu Teknik Çizim



Şekil 4.2. Deney düzeneği

Üretilen 12 adet deney numunesinin amacı cıvata mesafelerinin sismik performansa etkisini incelemektedir. Burada  $p_f$  değeri 40mm, 60mm ve 80mm olarak

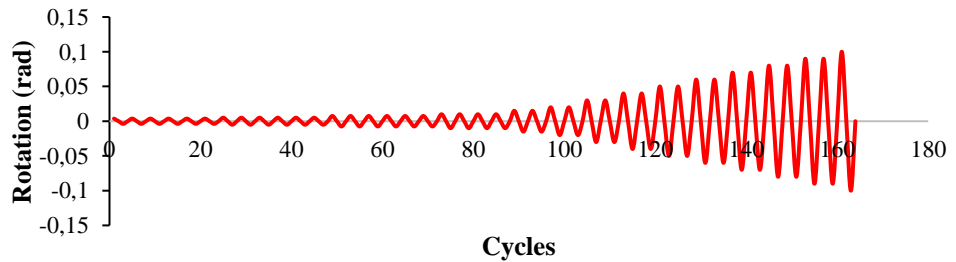
seçilmiştir. Ayrıca  $g$  değeri olarak da 90mm ve 120mm seçilmiştir. Hem rijitlik levhali hemde rijitlik levhasız durum düşünülmüştür. Tüm bu değişkenleri göz alındığında toplam 12 adet deney numunesi üretilmiştir. Deneyde kullanılacak numunelerin özellikleri aşağıdaki Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1.** Deney Numune Özellikleri

	$t_p$	$d_p$	$b_p$	$g$	$p_{fi}$	$p_{fo}$	$d_e$	Rijitlik Levhası	Yükleme
S1	8	24	240	90	80	80	35	Var	Çevrimsel
S2	8	24	240	90	60	60	35	Var	Çevrimsel
S3	8	24	240	90	40	40	35	Var	Çevrimsel
S4	8	24	240	120	80	80	35	Var	Çevrimsel
S5	8	24	240	120	60	60	35	Var	Çevrimsel
S6	8	24	240	120	40	40	35	Var	Çevrimsel
U1	8	24	240	90	80	80	35	Yok	Çevrimsel
U2	8	24	240	90	60	60	35	Yok	Çevrimsel
U3	8	24	240	90	40	40	35	Yok	Çevrimsel
U4	8	24	240	120	80	80	35	Yok	Çevrimsel
U5	8	24	240	120	60	60	35	Yok	Çevrimsel
U6	8	24	240	120	40	40	35	Yok	Çevrimsel

Alın levhası kalınlığı sabit tutulmuş ve 8 mm olarak seçilmiştir. Kaynak kalınlığı  $w_s$ ,  $w_f$  ve  $w_w$  değerleri 6 mm olarak seçilmiştir. Cıvata hasarını önlemek için M24 cıvata boyutu seçilmiştir.  $p_{fi}$  değeri ve  $p_{fo}$  değeri eşit alınmıştır.  $d_e$  değeri ise 45 mm seçilmiştir. Alın levhası genişliği başlık genişliğinde seçilmiştir, diğer bir değişle  $b_p$  değeri 240mm olarak seçilmiştir.

Numuneler çevrimsel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Öte yandan, çevrimsel yüklemeye için AISC 2016 sismik yönetmelikleri (AISC, 2016) tarafından zorunlu kılınan çevrimsel yüklemeye protokolü kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çevrimsel yüklemeye protokolü Şekil 4.3’de gösterilmiştir. AISC kriterlerini karşılamak için kirişin 0,04 rad’ı tamamlaması ve kolon yüzeyinde kirişin moment kapasitesinin 0,8 katının üzerinde bir moment sürdürmesi gerekir.



**Şekil 4.3.** AISC yüklemeye protokolü (AISC, 2016)

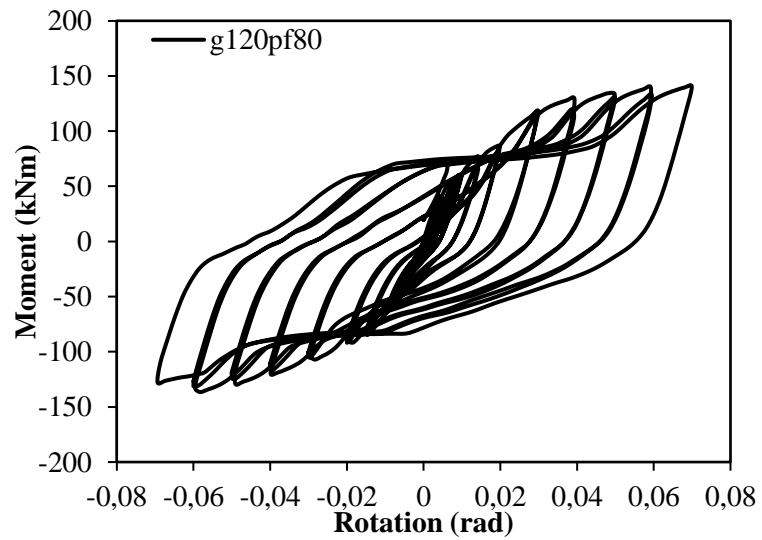
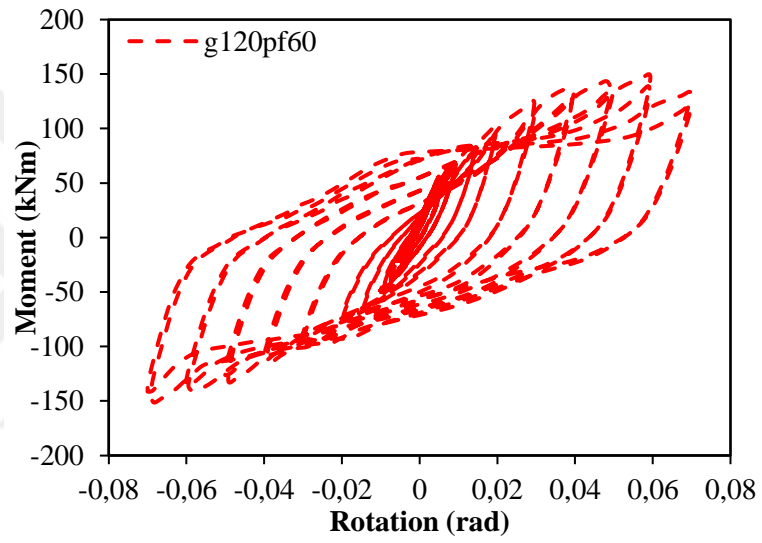
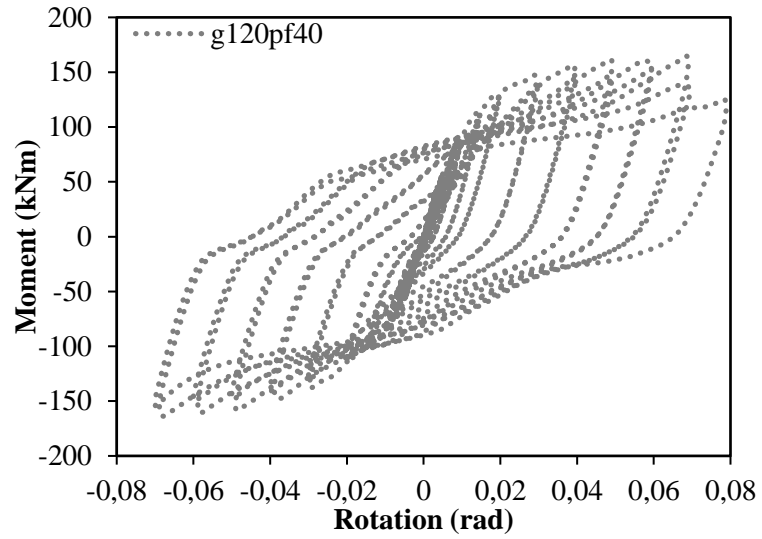
## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6 adet rijitli levhalı ve 6 adet rijitlik levhasız olmak üzere toplam 12 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen plastik moment kapasitesi ( $M_j, R_d$ ), maksimum yük kapasitesi ( $M_u$ ) ve dönme kapasitesi Tablo 5.1’de verilmiştir.

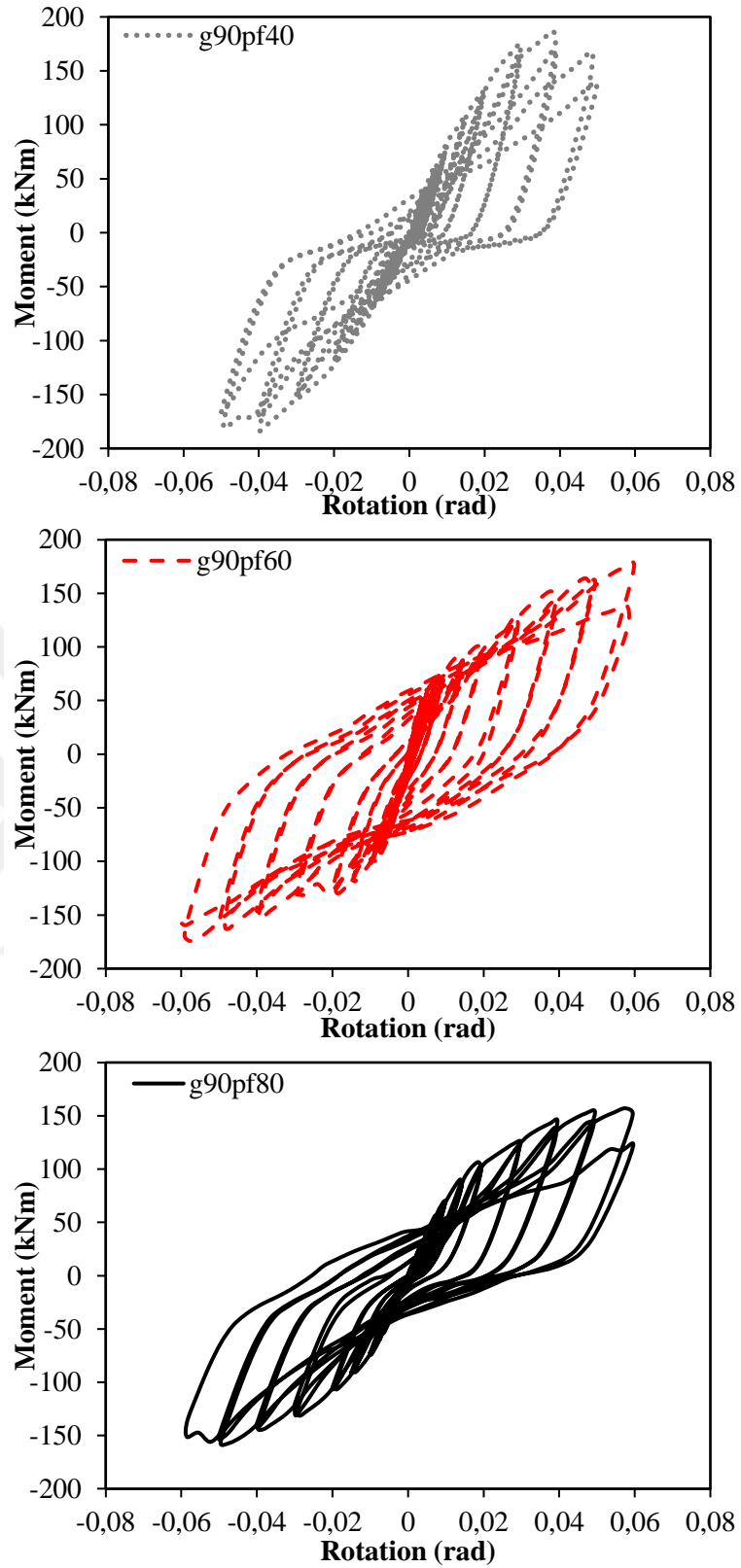
**Tablo 4.1.** Deney Numune Özellikleri

Değişken Parametreler		Rijitlik Levhalı			Rijitlik Levhasız		
$g$	$p_{fi}$	Dönme Kapasitesi (rad)	$M_u$ (kNm)	$M_j, R_d$ (kNm)	Dönme Kapasitesi (rad)	$M_u$ (kNm)	$M_j, R_d$ (kNm)
90	80	0.05	157	103	0.07	92	75
90	60	0.05	177	121	0.08	111	90
90	40	0.04	184	157	0.06	130	117
120	80	0.06	140	86	0.1	89	63
120	60	0.06	151	106	0.1	104	87
120	40	0.06	163	131	0.07	128	109

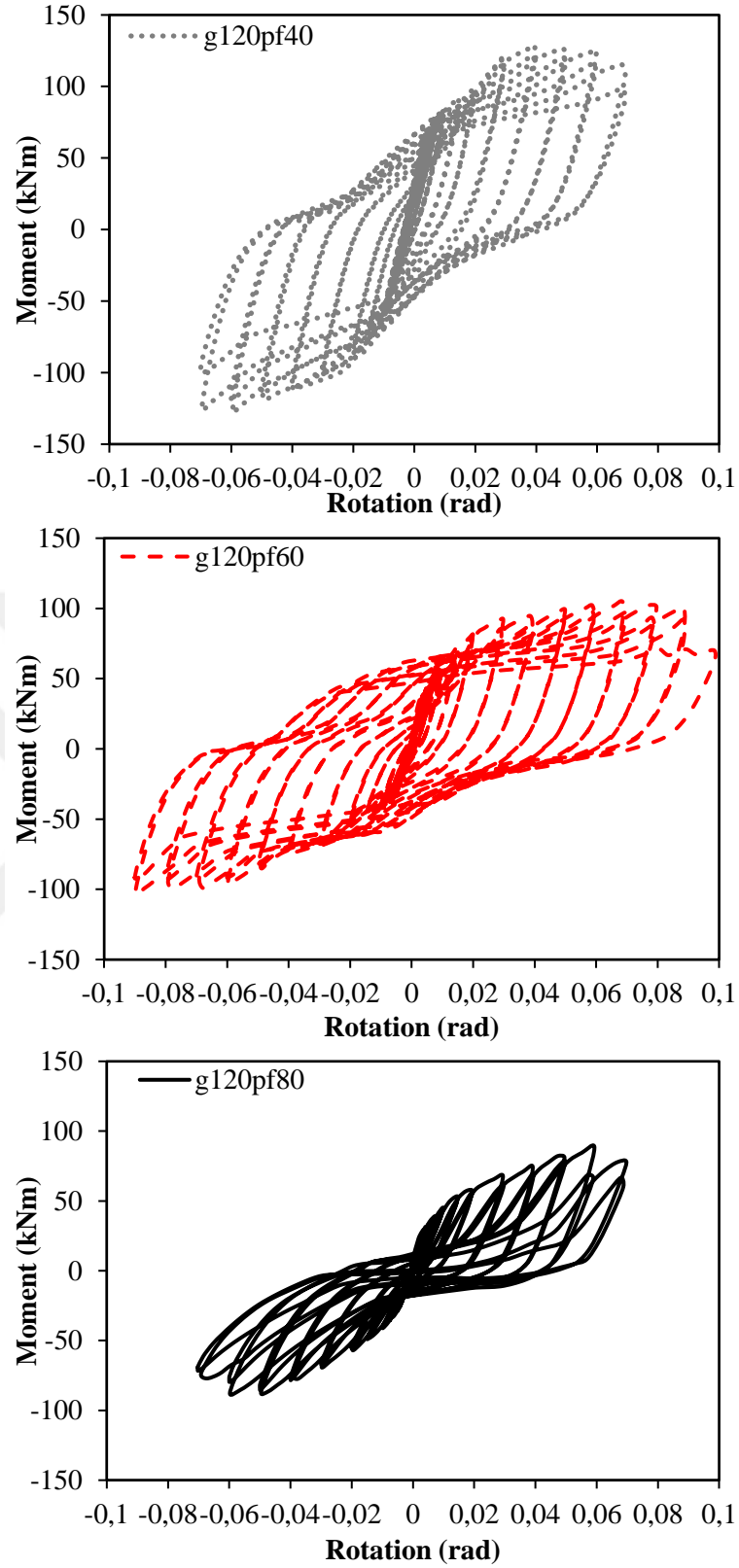
Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de rijitlik levhalı alın levhalı birleşimlerin çevrimsel yük eğrileri  $g=120\text{mm}$  ve  $g=90\text{mm}$  için sırasıyla gösterilmiştir. Aynı şekilde Şekil 5.3 ve 5.4’te rijitlik levhasız alın levhalı birleşimlerin çevrimsel yük eğrileri  $g=120\text{mm}$  ve  $g=90\text{mm}$  için sırasıyla gösterilmiştir.



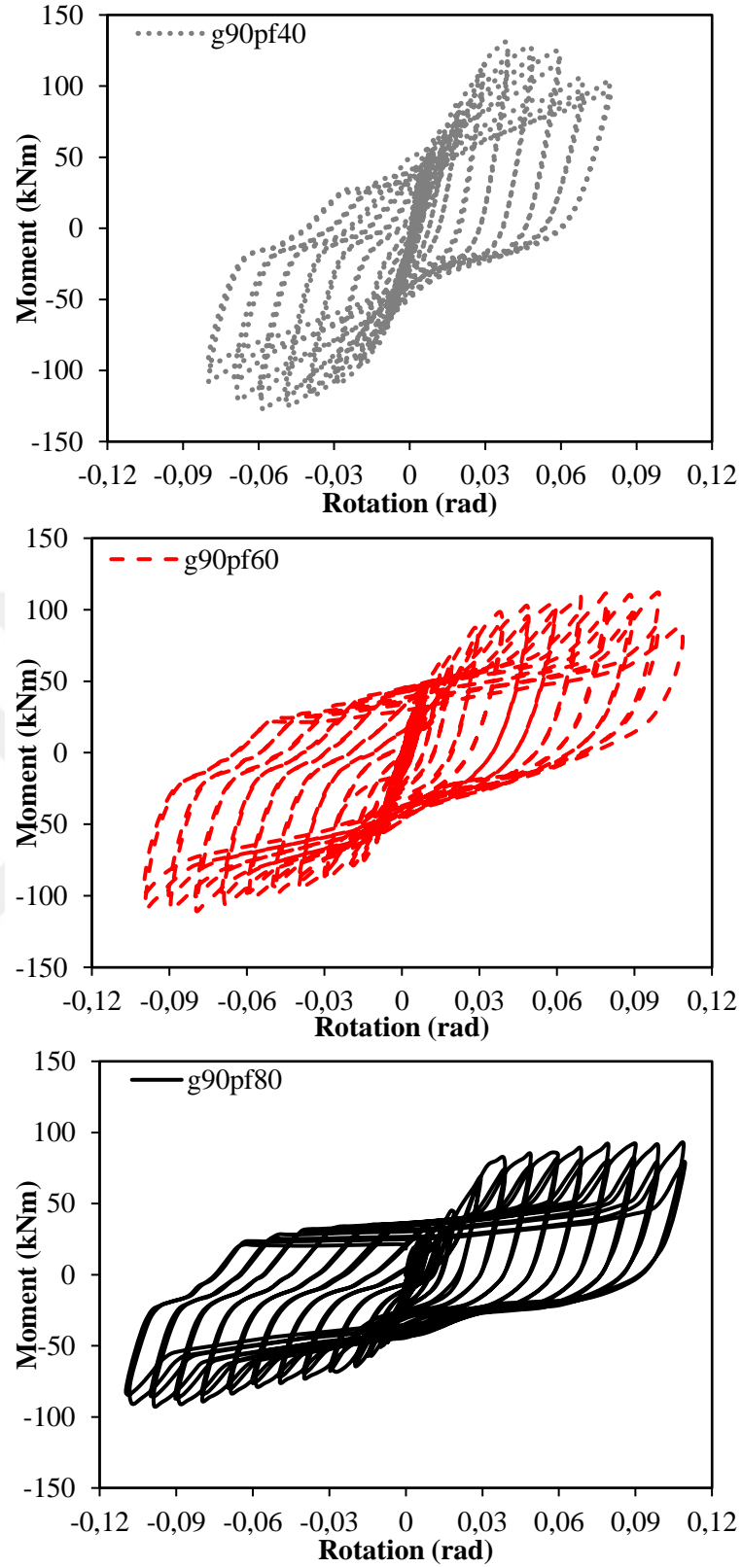
Şekil 5.1. Rijitlik Levhahı Çevrimsel Yükler ( $g = 120$  mm)



Şekil 5.2. Rijitlik Levhalı Çevrimsel Yükler ( $g=90$  mm)



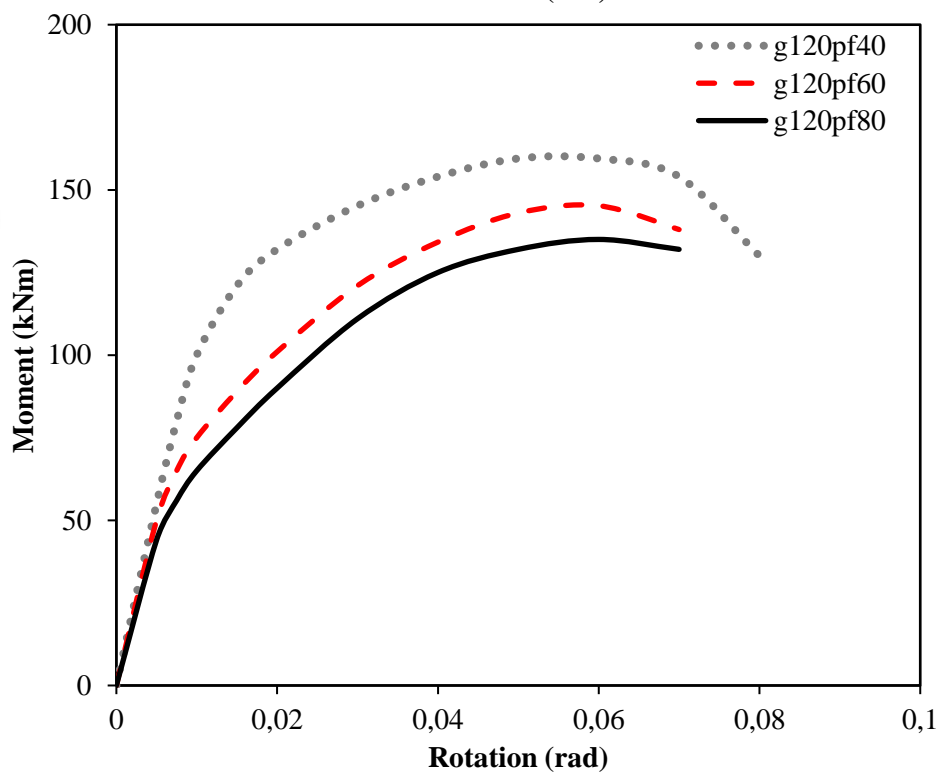
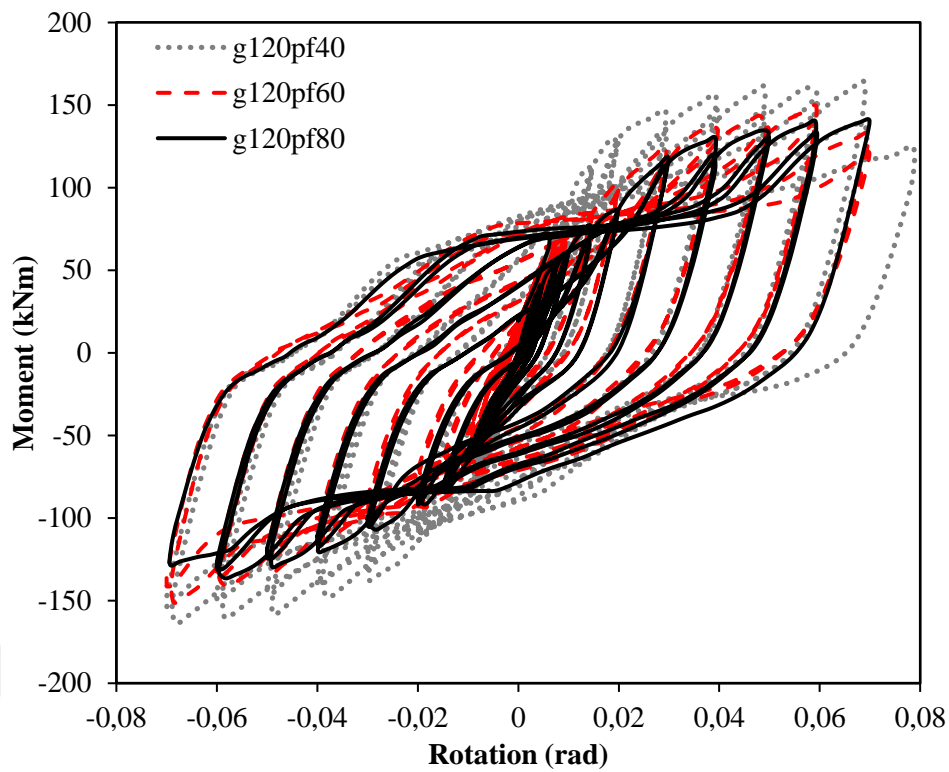
Şekil 5.3. Rijitlik Levhasız Çevrimsel Yükler ( $g=120$  mm)



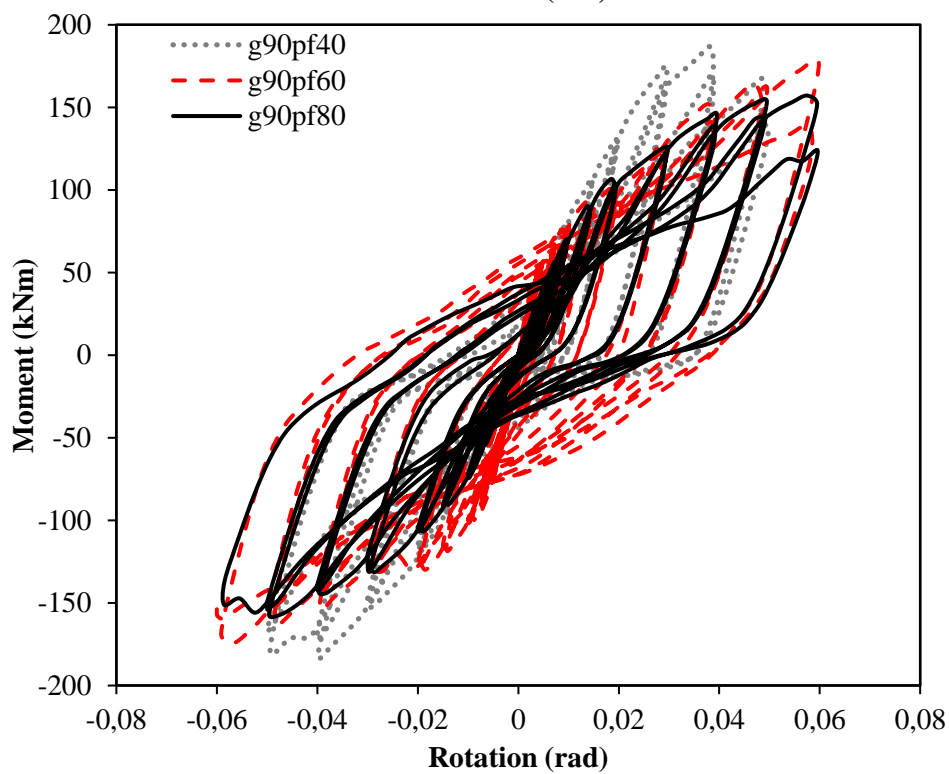
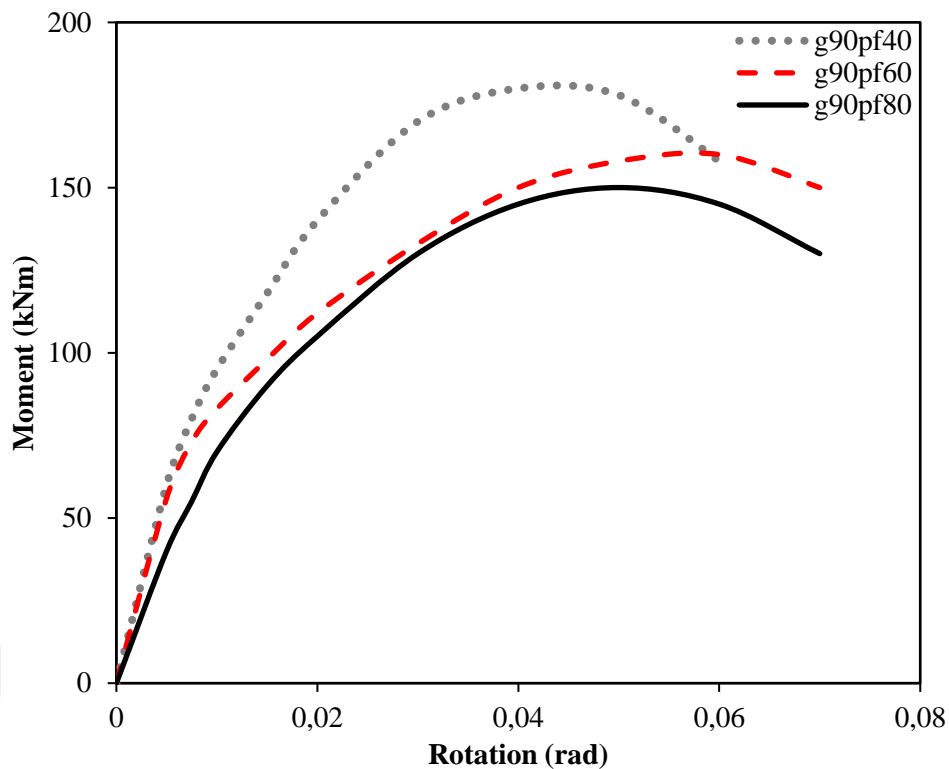
Şekil 5.4. Rijitlik Levhasız Çevrimsel Yükler ( $g=90$  mm)

### 5.1. $p_f$ Mesafesinin Etkileri

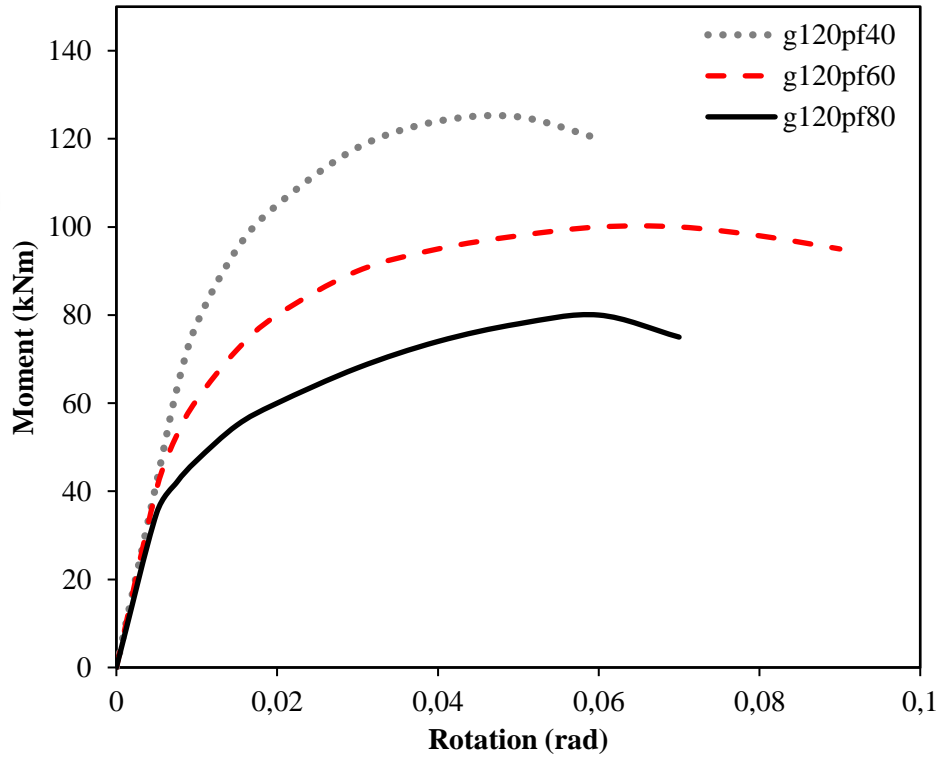
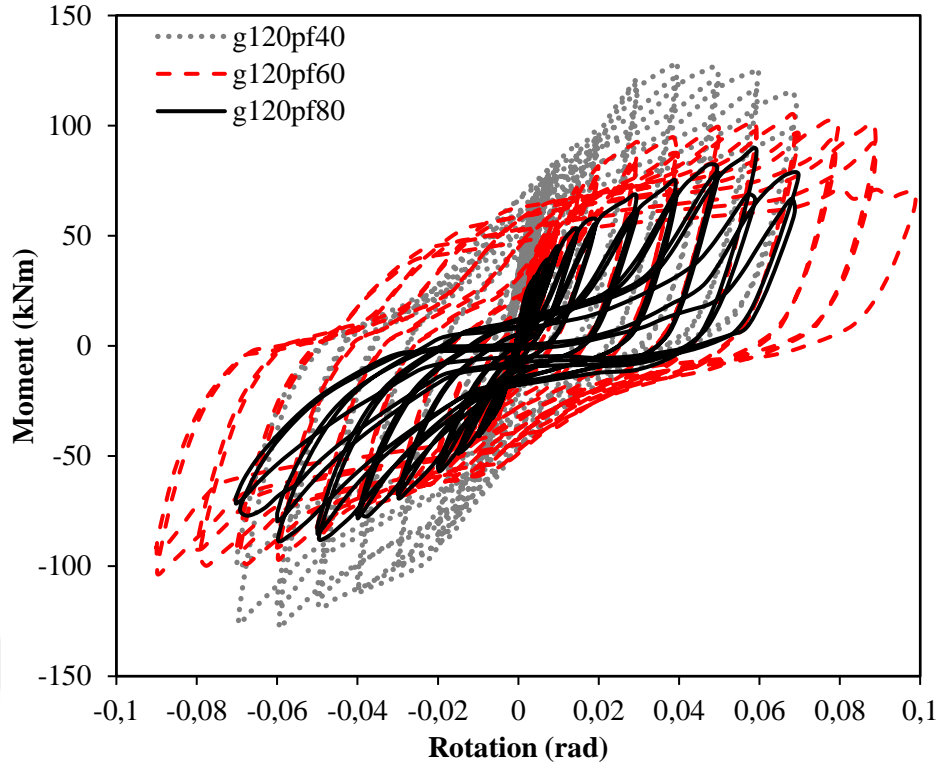
Şekil 5.1.1 ile Şekil 5.1.4 arasındaki iskelet eğrilerine ve çevrimsel eğrilere bakıldığında  $p_f$ 'nin etkileri açıkça gözükmemektedir.  $p_f$  değeri azaldıkça plastik taşıma kapasitesinde ve maksimum yük taşıma kapasitesinde ciddi artış gözlemlenmiştir. Rijitlik levhalı ve rijitlik levhasız alın levhalı birleşimler için  $p_f$  değeri 60 mm'den 40 mm'e düştüğünde plastic kapasite sırasıyla ortalama %26 ve %27 artmıştır. Aynı durumlar için  $p_f$  değeri 80 mm'den 40 mm'e düştüğünde bu değer ortalama olarak %52 ve %64 değişmektedir. Genel olarak alın levhalı birleşimlerinde  $p_f$  40 mm değerinde iken dönme kapasitesi en düşüktür.  $p_f$  40 mm değerinde iken dönme kapasiteleri 0.04 rad ile 0.07 rad arasında kapasite sergilerken,  $p_f$  80 mm değerinde iken dönme kapasiteleri 0.05 rad ile 0.10 rad arasında kapasite sergiler.



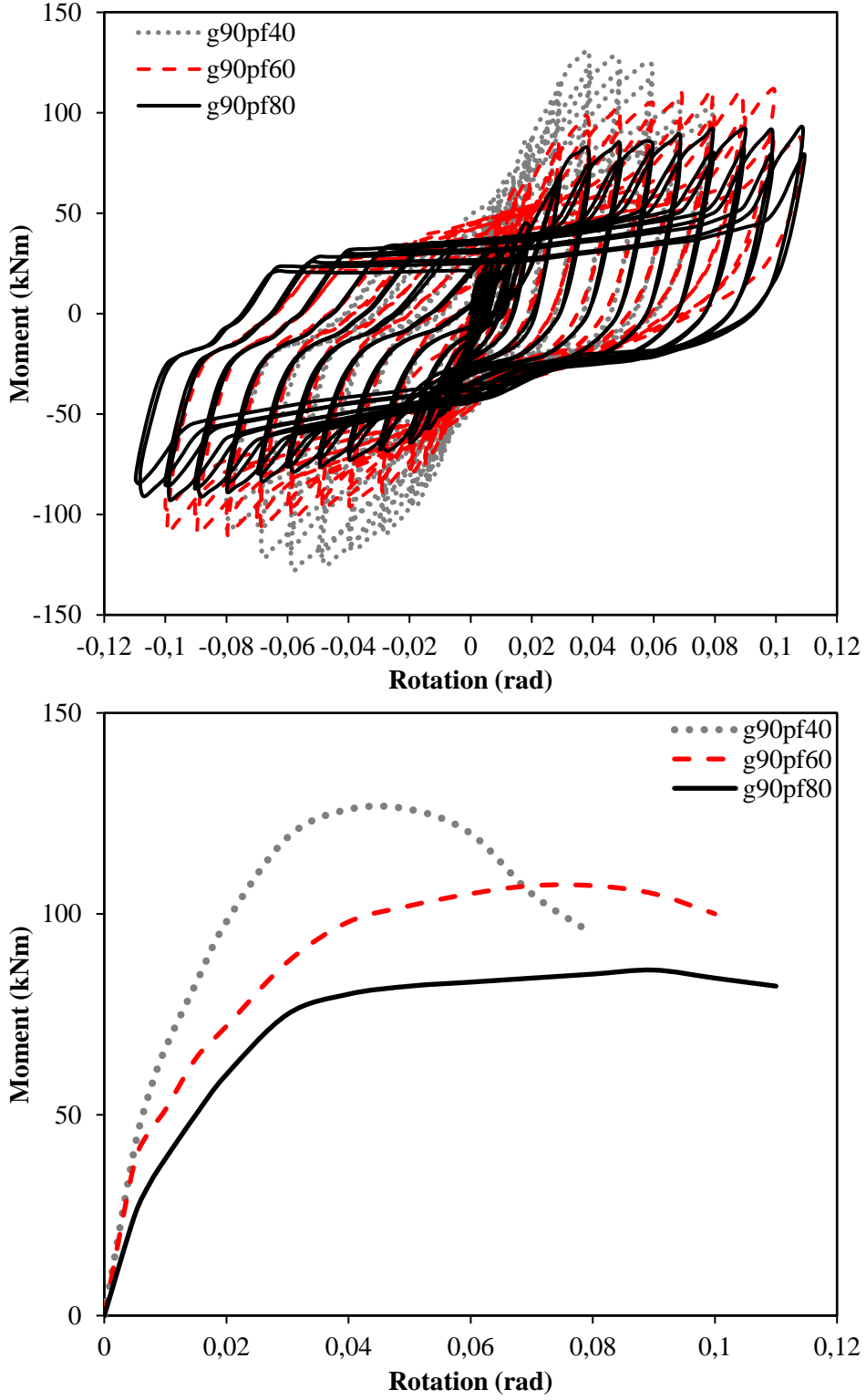
Şekil 5.1. Rijitlik Levhalı Deney Sonuçları (g=120 mm)



Şekil 5.1.2. Rijitlik Levhalı Denev Sonuçları (g=90 mm)



Şekil 5.1.3. Rijitlik Levhasız Deney Sonuçları (g=120 mm)

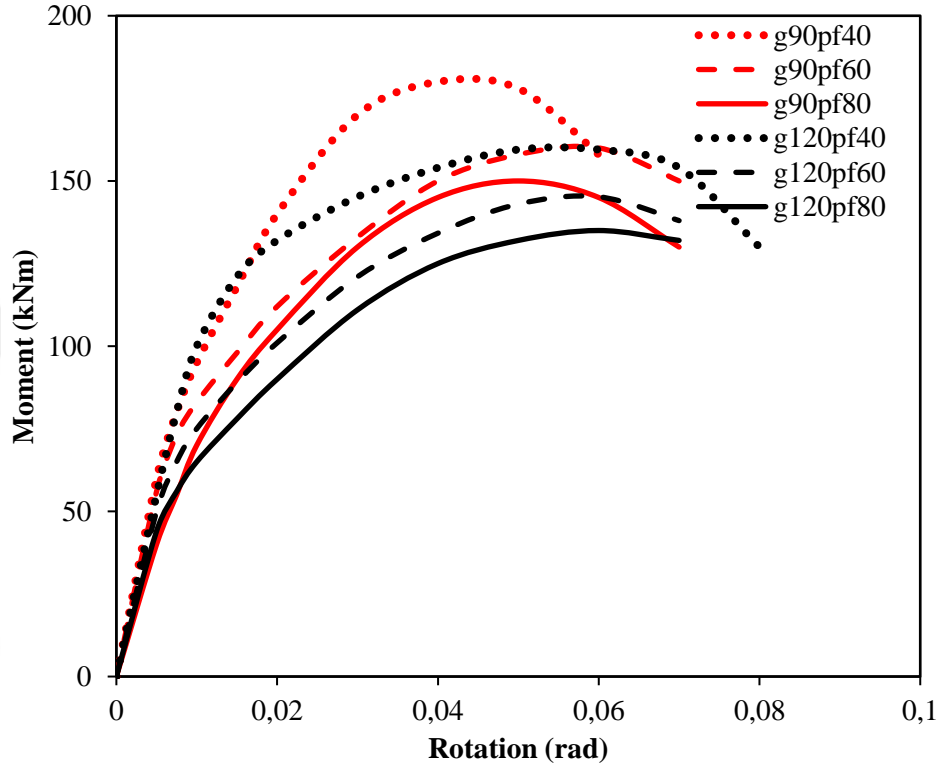


Şekil 5.1.4 Rijitlik Levhasız Deney Sonuçları ( $g=90$  mm)

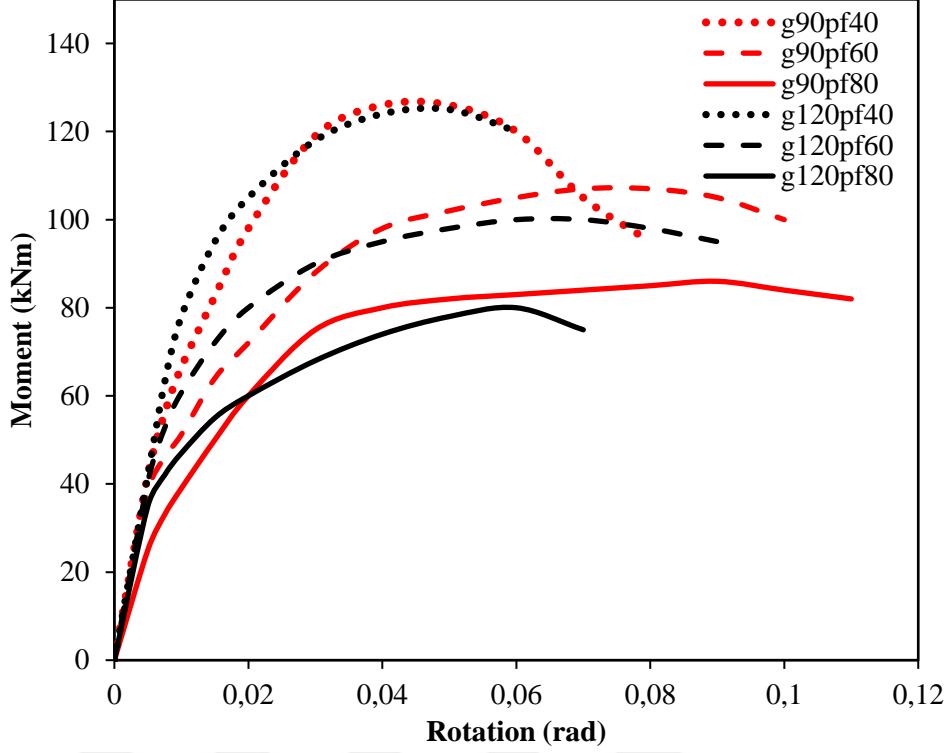
## 5.2. $g$ Mesafesinin etkileri

$g$  mesafesinin etkilerini incelemek için Şekil 5.2.1 ve 5.2.2 oluşturulmuştur. Şekil 5.2.1’de rijitlik levhalı alın levhalı birleşimlerin ve Şekil 5.2.2’de ise rijitlik levhasız

alın levhalı birleşimlerin karşılaştırılması verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü üzere  $g$  mesafesinin etkisi rijitlik levhalı durumda daha belirgindir.  $g$  mesafesi 120 mm'den 90 mm'e azaltıldığında plastik kapasite rijitlik levhalı durum için ortalama %18 artarken rijitlik levhasız durum için ortalama %10 artmaktadır. Maksimum taşıma kapasitesine bakıldığında bu değerler sırasıyla % 14 ve %4 olmaktadır.



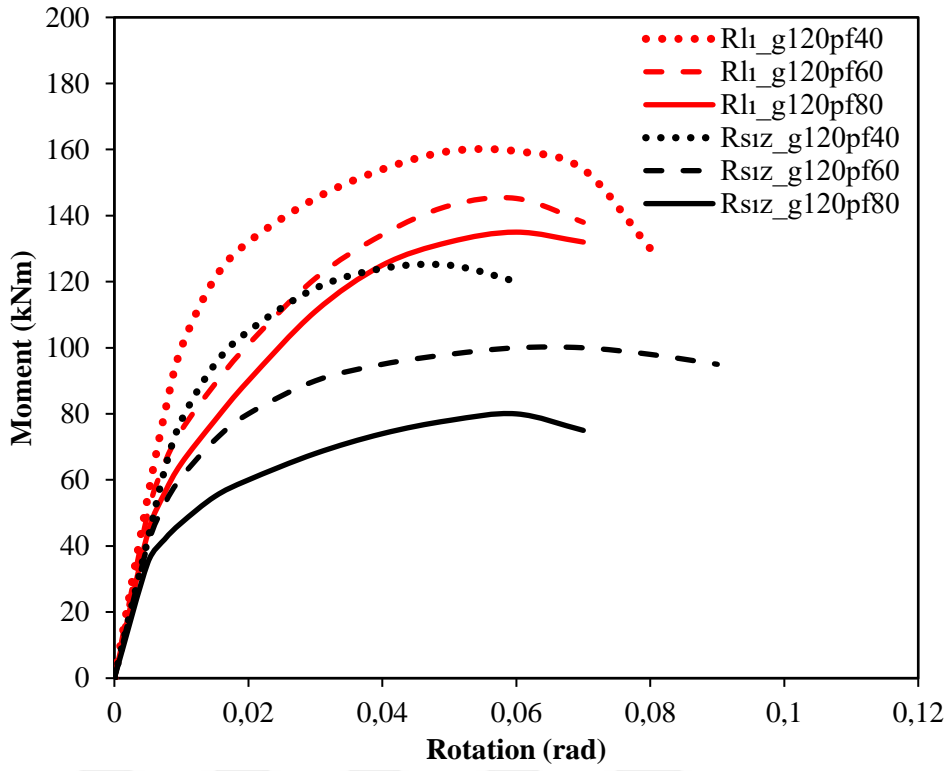
Şekil 5.2.1. Rijitlik levhalı alın levhalı birleşimlerde  $g$  mesafesinin etkisi



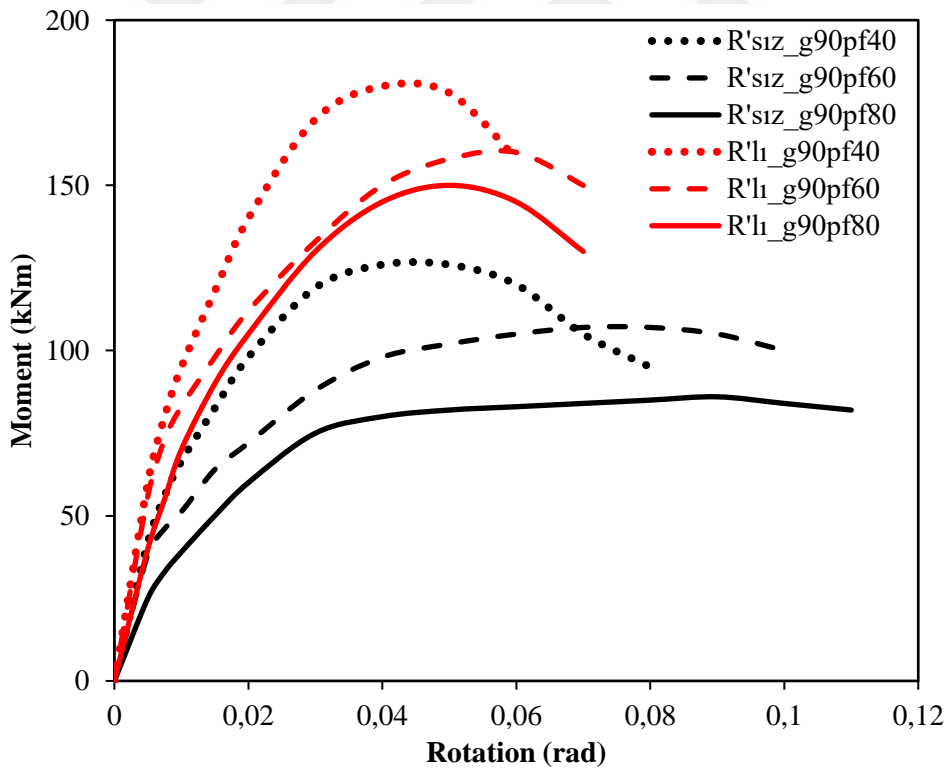
Şekil 5.2.2. Rijitlik levhasız alın levhalı birleşimlerde g mesafesinin etkisi

### 5.3. Rijitlik levhasının etkileri

Rijitlik levhanın etkileri göstermek için rijitlik levhalı ve levhasız numuneler  $g = 120\text{mm}$  ve  $g = 90\text{mm}$  için Şekil 5.3.1 ve 5.3.2’de sırasıyla gösterilmiştir. Grafiklerden görüldüğü üzere rijitlik levhası kapasiteyi ciddi şekilde arttırmıştır. Rijitlik levhalı numuneler rijitlik levhasız numunelere göre  $g=120\text{mm}$  ve  $g=90\text{mm}$  için ortalama %35 ve %26 daha fazla plastic kapasiteye sahiptir. Maksimum kapasiteye bakıldığı zaman bu değerler %63 ve %38’e ulaşmaktadır. Genel olarak bakıldığında rijitlik levhasız alın levhalı birleşimler daha fazla dönme kapasitesi sergilemiştir. Rijitlik levhalı alın levhalı birleşimler 0.04 rad – 0.06 rad dönme kapasitesi sergilerken, rijitlik levhasız birleşimler 0.06 rad ile 0.10 rad arasında dönme kapasitesi sergilemiştir.



Şekil 5.3.1. Rijitlik Levhasının etkileri (g=90 mm)



Şekil 5.3.2. Rijitlik Levhasının etkileri (g=120 mm)

#### 5.4. Kapasite hesaplarının değerlendirilmesi

Bu bölümde plastik moment kapasitesi farklı yönetmelikler ve Özkılıç (2023a, 2023b) tarafından önerilen yöntemler ile hesaplanmıştır. Yönetmelik olarak AISC 358 ve Eurocode 3 (EC3) kullanılmıştır. Eurocode yönetmeliğindeki Metot 1 ve Metot 2 kullanılmıştır. Deneylelerden elde edilen plastik moment kapasiteleri, AISC'den elde edilen kapasite, Eurocode'dan elde edilen kapasiteler ve Özkılıç tarafından önerilen metot ile hesaplanan kapasiteler rijitlik levhasız alın levhalı deneyler ve rijitlik levhalı alın levhalı deneyler için sırasıyla Tablo 5.4.1 ve 5.4.2'de verilmiştir.

$M_{j,Rd}/ M_{AISC}$  sonuçları rijitlik levhalı durumlar için 1.69 ile 2.15 arasında değişmektedir. Bu değer ortalama olarak 1.90'dur. Rijitlik levhasız durumlar içinse 2.10 ile 2.42 arasında değişmektedir. Bu değer ortalama olarak 2.10'dur. AISC şartnamesi rijitlik levhalı durumlar için daha iyi kapasite tahmini bulunmaktadır. Genel olarak g değeri artııkça kapasite tahmini daha iyi olmaktadır. Aynı şekilde pf değeri artııkça kapasite tahmini daha iyi olmaktadır.

$M_{j,Rd}/ M_{EC,1}$  sonuçları rijitlik levhalı durumlar için 2.15 ile 2.78 arasında değişmektedir. Bu değer ortalama olarak 2.48'dur. Rijitlik levhasız durumlar içinse 1.91 ile 2.34 arasında değişmektedir. Bu değer ortalama olarak 2.21'dur. Diğer bir yandan,  $M_{j,Rd}/ M_{EC,2}$  sonuçları rijitlik levhalı durumlar için 1.72 ile 2.24 arasında değişmektedir. Bu değer ortalama olarak 1.99'dur. Rijitlik levhasız durumlar içinse 1.91 ile 2.34 arasında değişmektedir. Bu değer ortalama olarak 2.21'dur. Eurocode şartnamesi rijitlik levhasız durumlar için daha iyi kapasite tahmini bulunmaktadır. Genel olarak g değeri artııkça kapasite tahmini daha iyi olmaktadır. Ama pf değeri ile kapasite tahmini arasında direk ilişki bulunamamıştır.

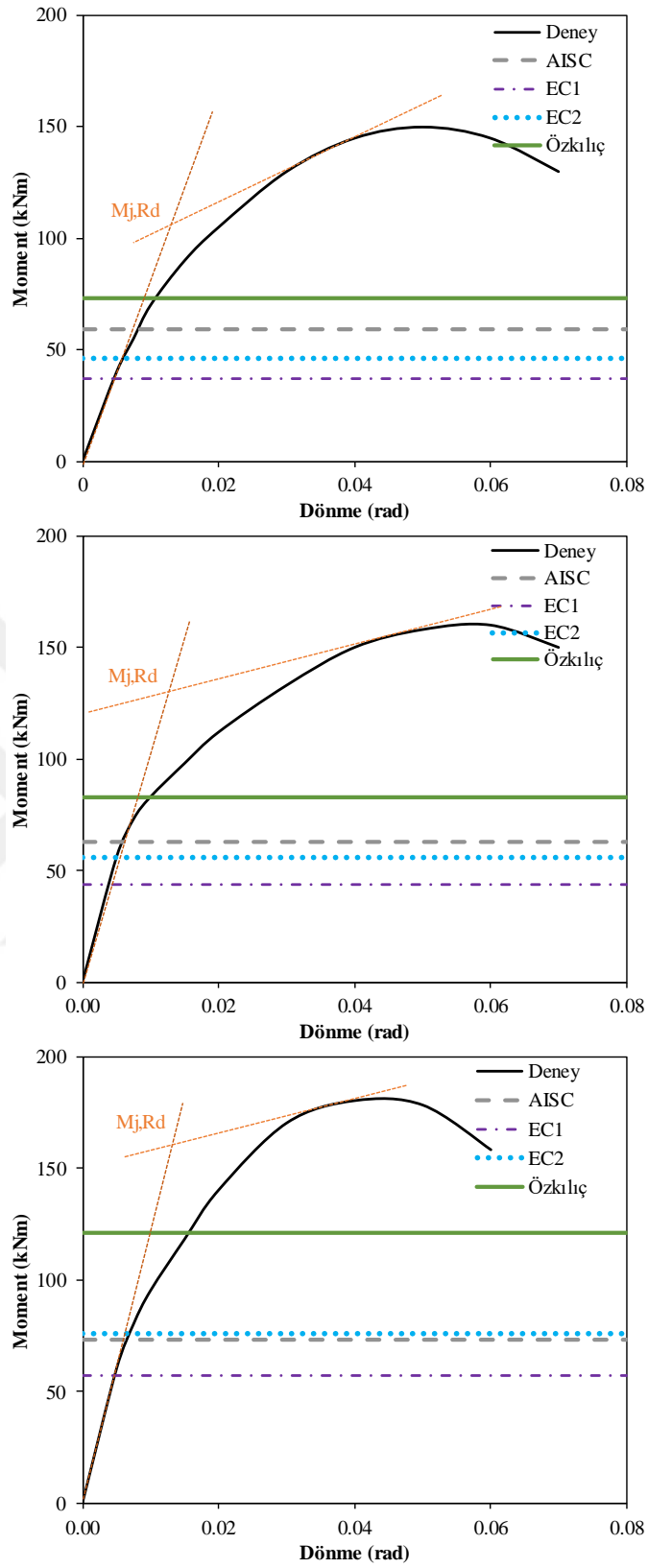
$M_{j,Rd}/ M_{Özkılıç}$  sonuçları rijitlik levhalı durumlar için 1.30 ile 2.69 arasında değişmektedir. Bu değer ortalama olarak 1.84'dur. Rijitlik levhasız durumlar içinse 1.10 ile 2.08 arasında değişmektedir. Bu değer ortalama olarak 1.69'dur. Özkılıç tarafından önerilen metot rijitlik levhasız durumları daha iyi tahmin etmektedir. Genel olarak g değeri azaldıkça kapasite tahmini daha iyi olmaktadır. Daha önemlisi, pf değeri azaldıkça oldukça iyi tahminler bulunurken pf değeri artııkça kapasite tahmini kötüleşmektedir.

**Tablo 5.4.1** Rijitlik Levhasız Deneş Sonuçlarının Karşılaştırılması

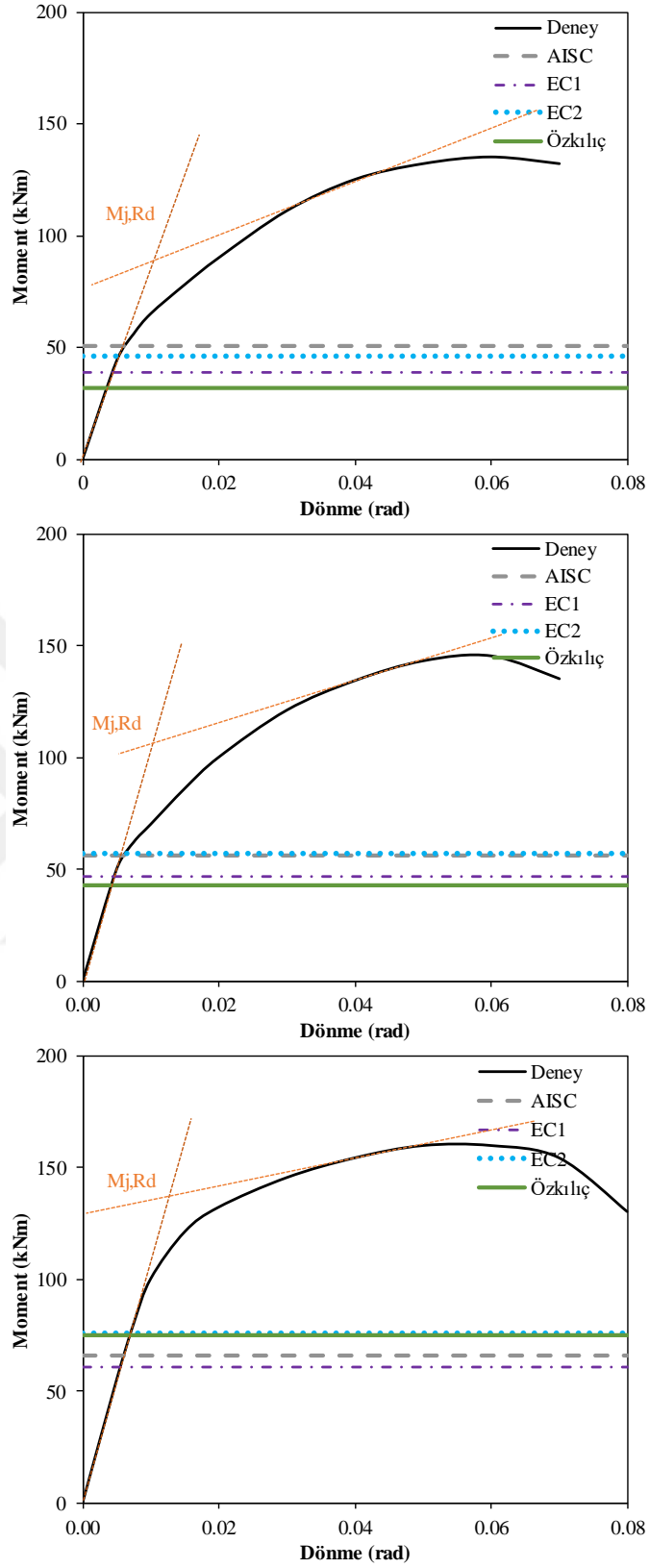
g	Pf	M <sub>j,Rd</sub> (kNm)	M <sub>AISC</sub> (kNm)	M <sub>EC,1</sub> (kNm)	M <sub>EC,2</sub> (kNm)	M <sub>Özkılıç</sub> (kNm)	M <sub>j,Rd</sub> / M <sub>AISC</sub>	M <sub>j,Rd</sub> / M <sub>EC,1</sub>	M <sub>j,Rd</sub> / M <sub>EC,2</sub>	M <sub>j,Rd</sub> / M <sub>Özkılıç</sub>
90	80	75	33	33	40	36	2.27	2.27	1.88	2.08
90	60	90	39	39	49	51	2.31	2.31	1.84	1.76
90	40	117	51	50	65	106	2.29	2.34	1.80	1.10
120	80	63	30	33	39	31	2.10	1.91	1.62	2.03
120	60	87	36	39	47	44	2.42	2.23	1.85	1.98
120	40	109	48	50	63	94	2.27	2.18	1.73	1.16

**Tablo 5.4.2** Rijitlik Levhalı Deneş Sonuçlarının Karşılaştırılması

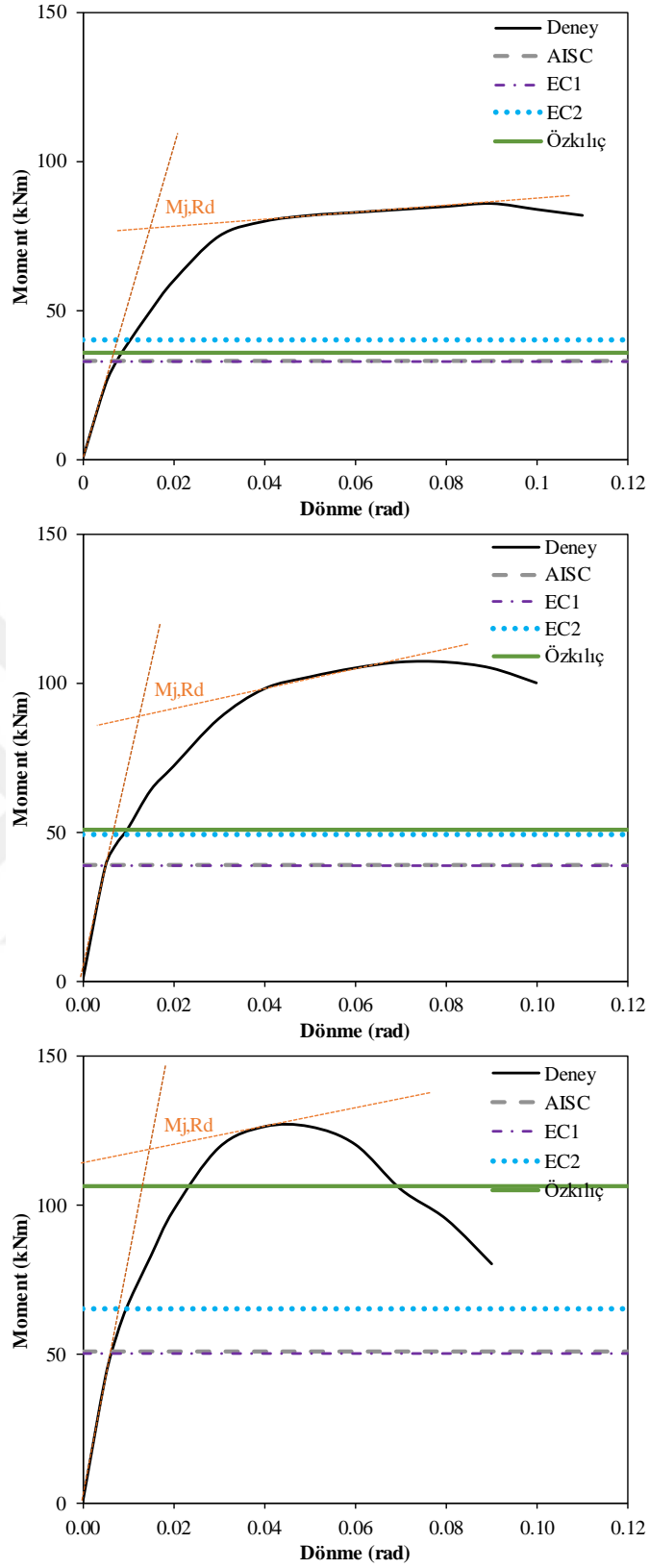
g	Pf	M <sub>j,Rd</sub> (kNm)	M <sub>AISC</sub> (kNm)	M <sub>EC,1</sub> (kNm)	M <sub>EC,2</sub> (kNm)	M <sub>Özkılıç</sub> (kNm)	M <sub>j,Rd</sub> / M <sub>AISC</sub>	M <sub>j,Rd</sub> / M <sub>EC,1</sub>	M <sub>j,Rd</sub> / M <sub>EC,2</sub>	M <sub>j,Rd</sub> / M <sub>Özkılıç</sub>
90	80	103	59	37	46	73	1.75	2.78	2.24	1.41
90	60	121	63	44	56	83	1.92	2.75	2.16	1.46
90	40	157	73	57	76	121	2.15	2.75	2.07	1.30
120	80	86	51	39	46	32	1.69	2.21	1.87	2.69
120	60	106	56	47	57	43	1.89	2.26	1.86	2.47
120	40	131	66	61	76	75	1.98	2.15	1.72	1.75



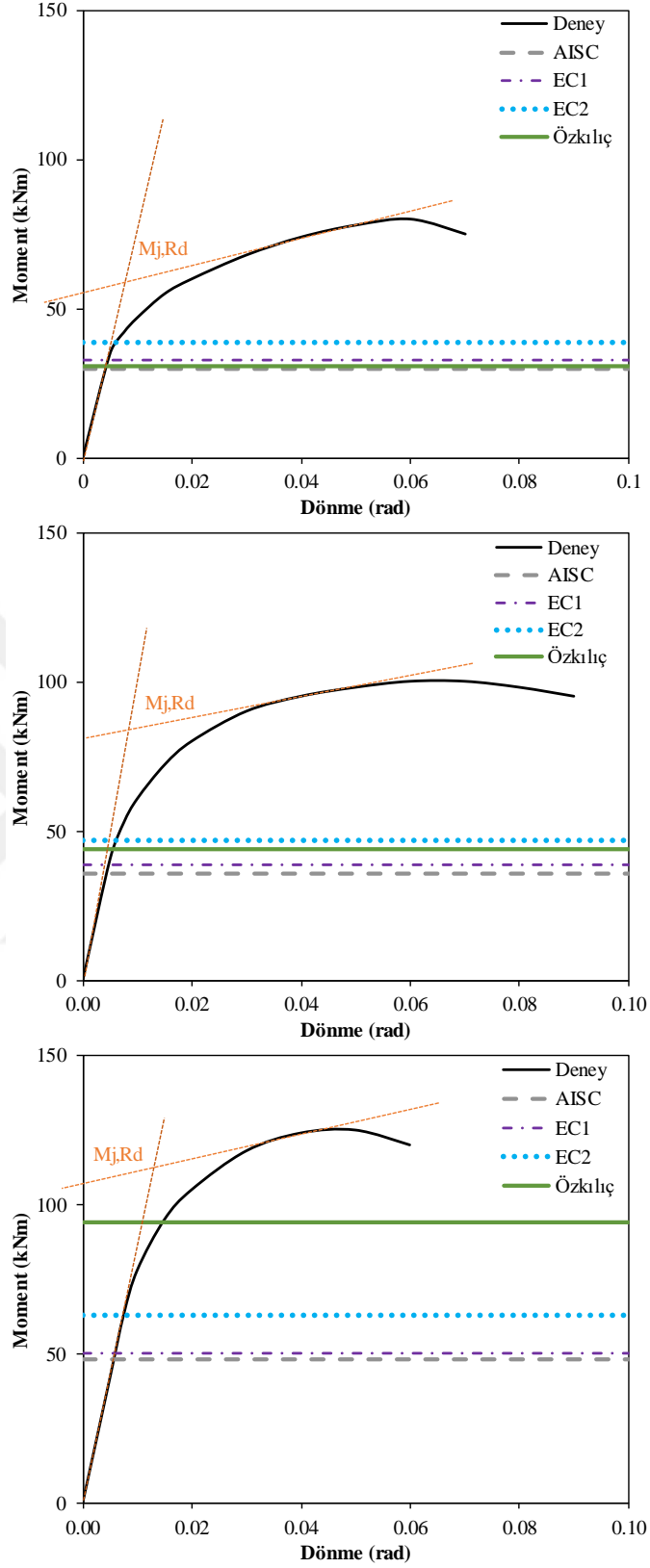
Şekil 5.4.1. Rijitlik levhalı alın levhalı birleşimlerin sonuçlarının yönetmeliklerle karşılaştırılması ( $g=90$  mm)



Şekil 5.4.2. Rijitlik levhalı alın levhalı birleşimlerin sonuçlarının yönetmeliklerle karşılaştırılması ( $g=120$  mm)



Şekil 5.4.3. Rijitlik levhasız aln levhalı birleşimlerin sonuçlarının yönetmeliklerle karşılaştırılması (g=90 mm)



Şekil 5.4.4. Rijitlik levhasız aln levhalı birleşimlerin sonuçlarının yönetmeliklerle karşılaştırılması (g=120 mm)

### 5.5. Göçme Modları

Deney numuneleri çevrimsel yükleme sırasında aktıktan sonra plastik deformasyon göstermiştir. Alın levhanın dış kaynak bitiminin ortasında yırtılma başlayarak başlıklara paralel ilerleyerek gerçekleşmiştir. şekil 5.5.1 ve şekil 5.5.2 de gösterilmiştir.





Şekil 5.5.1. Rijitlik levhasız uzatılmış alın levhalı numunelerin göçme modları



Şekil 5.5.2. Rijitlik levhalı uzatılmış alümin levhalı numunelerin göçme modları

## 5. SONUÇLAR

Alın levhalı birleşimlerde cıvata mesafelerinin etkilerini incelemek için rijitlik levhalı ve rijitlik levhasız olmak üzere toplam 12 adet deney yapılmıştır. Deney numuneleri çevrimsel yüklere maruz bırakılmıştır. Çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- pf değerinin azalmasıyla maksimum yük ve plastik taşıma kapasiteleri artmıştır. Rijitlik levhalı birleşimlerde, rijitlik levhasız olan birleşimlere göre nispeten daha fazla artış olmuştur. En az pf değerinde dönme kapasitesi en düşüktür.
- g mesafesinin etkisi rijitlik levhalı birleşimlerde etkin rol oynamaktadır. g mesafesinin azalmasıyla plastik kapasite artmıştır. Rijitlik levhalı birleşimde, rijitlik levhasıza göre plastik kapasite ve maksimum taşıma kapasitesi daha fazla artmıştır.
- Rijitlik levhası kapasiteyi ciddi şekilde arttırmıştır. Genel olarak bakıldığında rijitlik levhasız alın levhalı birleşimler daha fazla dönme kapasitesi sergilemiştir.
- AISC şartnamesi alın levhasının kapasitesini rijitlik levhalı durumlar için daha iyi tahmin etmektedir. Genel olarak pf ve g değeri artıkça bu tahmin daha iyi olmaktadır.
- Eurocode şartnamesi ise alın levhasının kapasitesini rijitlik levhasız durumlar için daha iyi tahmin etmektedir. Bu tahmin g değeri artıkça daha iyi olmakla beraber pf değeri ile doğrudan bir ilişki kurulamamıştır.
- Özkılıç tarafından önerilen yöntem ile alın levhasının kapasitesi rijitlik levhasız durumlar için daha iyi tahmin etmektedir. Genel olarak bu tahmin g ve pf değeri azaldıkça daha iyi olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Abidelah, A., Bouchaïr, A., ve Kerdal, D. E. (2012). Experimental and analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*, 76, 13-27.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.04.004>
- Abolmaali, A., Matthys, J. H., Farooqi, M., ve Choi, Y. (2005). Development of moment-rotation model equations for flush end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 61(12), 1595-1612.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2005.05.004>
- Adey, B., Grondin, G., ve Cheng, J. (2000). Cyclic loading of end plate moment connections. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27(4), 683-701.
- Adey, B. T., Grondin, G. Y., ve Cheng, J. J. R. (1998). Extended End Plate Moment Connections Under Cyclic Loading. İçinde *J. Construct. Steel Res* (C. 46).
- Ahmed Ghobarah, B., Korol, R. M., Osman, A., ve Member, A. (1992). Cyclic Behavior of Extended End-Plate Joints. *Journal of Structural Engineering*, 185(5), 1333-1353.
- Akgönen, A. İ., ve Güneş, B. (2017). Finite Element Analysis of End-Plate Moment Connections. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 17(2), 646-657. <https://doi.org/10.5578/fmbd.57564>
- Akgönen, A. I., Yorgun, C., ve Vatansever, C. (2015). Cyclic behavior of extended end-plate connections with European steel shapes. *Steel and Composite Structures*, 19(5), 1185-1201. <https://doi.org/10.12989/scs.2015.19.5.1185>
- Arul Jayachandran S., M. V. , P. P. , S. S. and P. N. (2009). Investigations on the behaviour of semi-rigid endplate connections. *Advanced Steel Construction*, 5(4), 432-451. [www.hkisc.org](http://www.hkisc.org)
- Ataei, A., Valipour, H. R., Bradford, M. A., ve Chiniforush, A. A. (2019). Experimental study of steel-timber composite beam-to-column joints with extended end plates. *Construction and Building Materials*, 226, 636-650.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.154>
- Bahaari, M. R., ve Sherbourne, A. N. (1994). Computer modelling of an extended end-plate bolted connection. *Computers ve structures*, 52(5), 879-893.
- Bahaari, M. R., ve Sherbourne, A. N. (1996). 3D Simulation of Bolted Connections to Unstiffened Columns II. Extended Endplate Connections. *Steel Research International*, 40(3), 189-223.
- Bai, R., Chan, S. L., ve Hao, J. P. (2015). Improved design of extended end-plate connection allowing for prying effects. *Journal of Constructional Steel Research*, 113, 13-27. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.05.008>
- Barmaki, S., Sheidaii, M. R., ve Azizpour, O. (2020). Progressive Collapse Resistance of Bolted Extended End-Plate Moment Connections. *International Journal of Steel Structures*, 20(4), 1165-1179. <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00349-x>
- Bayülke Nejat. (2003). 1994 Northridge kaliforniya depremi sonrasında moment taşıyan çelik kolon-kiriş birleşim yerleri üzerinde yapılan deneyler, araştırmalar ve geliştirmeler. *Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı*, 425.
- Bu, Y., Wang, Y., ve Zhao, Y. (2019). Study of stainless steel bolted extended end-plate joints under seismic loading. *Thin-Walled Structures*, 144.  
<https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106255>
- Bursi, O. S., ve Jaspert, J. P. (1997). Calibration of a Finite Element Model for Isolated Bolted End-Plate Steel Connections. *J. Construct. Steel Res*, 44(3), 225-262.

- Bursi, O. S., ve Jaspart, J. P. (1998). Basic issues in the Finite element simulation of extended end plate connections. *Computers and Structures*, 69(3), 361-382.
- Butterworth, J. (1999). Finite Element Analysis of Structural Steelwork Beam to Column Bolted Connections. *School of Science ve Technology*, 1.
- Chen, S., Zhou, C., ve Wang, Z. (2015). Experimental study and comparative numerical analysis of the mechanical behavior of extended end-plate connections with end-plate stiffeners. *The Open Mechanical Engineering Journal*, 9(1).
- Chen, Y., ve Wang, S. (2009). Research on end-plate connection with non-completely penetrated welds. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(1), 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.02.009>
- Choi, C.-K., ve Chung, G.-T. (1996). Refined Three-Dimensional Finite Element Model for End-Plate Connection. *Journal of Structural Engineering*, 122(11), 1307-1316.
- D'Aniello, M., Tartaglia, R., Costanzo, S., Campanella, G., Landolfo, R., ve De Martino, A. (2018). Experimental tests on extended stiffened end-plate joints within equal joints project. *Key Engineering Materials*, 763, 406-413. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.763.406>
- D'Aniello, M., Tartaglia, R., Costanzo, S., ve Landolfo, R. (2017). Seismic design of extended stiffened end-plate joints in the framework of Eurocodes. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 512-527. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.09.017>
- Dessouki, A. K., Youssef, A. H., ve Ibrahim, M. M. (2013). Behavior of I-beam bolted extended end-plate moment connections. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(4), 685-699. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.03.004>
- Donald Paul Kline. (1989). *Performance of snug tight bolts in moment end plate connections*.
- Eldin, M. M. (2009). *Modeling of beam-column joints for seismic response od steel frames*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1272.7927>
- ElSabbagh, A., Sharaf, T., Nagy, S., ve ElGhandour, M. (2019). Behavior of extended end-plate bolted connections subjected to monotonic and cyclic loads. *Engineering Structures*, 190, 142-159. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.04.016>
- Emmett A. Sumner. (2003). *Unified of Extended End-Plate Moment Connections Subjected to Cyclic Loading*.
- Fahmy, A. S., Khalifa, A., ve Mohamed, Y. M. (2014). Behavior of end-plate steel connections stiffened with stiffeners of different geometrical dimensions. *Global Advanced Research Journal of Engineering*, 3(3), 055-069. <https://www.researchgate.net/publication/261711168>
- Fang, C., Yam, M. C. H., Lam, A. C. C., ve Xie, L. (2014). Cyclic performance of extended end-plate connections equipped with shape memory alloy bolts. *Journal of Constructional Steel Research*, 94, 122-136. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.11.008>
- Farsi, A., Keshavarzi, F., Pouladi, P., ve Mirghaderi, R. (2016). Experimental study of a replaceable steel coupling beam with an end-plate connection. *Journal of Constructional Steel Research*, 122, 138-150. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.03.018>
- Gang Shi, Yongjiu Shi, Yuanqing Wang, Shaofu Li, ve Hong Chen. (2004). Finite element analysis and tests on bolted end-plate connections in steel portal frames. *Advances in Structural Engineering*, 7(3), 245-256.
- Gao, J. D., Du, X. X., Yuan, H. X., ve Theofanous, M. (2021). Hysteretic performance of stainless steel double extended end-plate beam-to-column joints subject to

- cyclic loading. *Thin-Walled Structures*, 164.  
<https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.107787>
- Gao, J. D., Yuan, H. X., Du, X. X., Hu, X. B., ve Theofanous, M. (2020). Structural behaviour of stainless steel double extended end-plate beam-to-column joints under monotonic loading. *Thin-Walled Structures*, 151.  
<https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106743>
- Ghaderi, M., Gerami, M., ve Vahdani, R. (2020). Performance Assessment of Bolted Extended End-Plate Moment Connections Constructed from Grade St-37 Steel Subjected to Fatigue. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(5).  
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0003066](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003066)
- Ghassemieh, M., ve Nasser, M. (2012). Evaluation of Stiffened End-Plate Moment Connection through Optimized Artificial Neural Network. *Journal of Software Engineering and Applications*, 05(03), 156-167.  
<https://doi.org/10.4236/jsea.2012.53023>
- Ghobarah, A., Osman, A., ve Korol, R. M. (1990). Behaviour of extended end-plate connections under cyclic loading. *Engineering Structures*, 12.
- Ghobarah, A., ve Ramadan, T. (1987). Bolted link-column joints in eccentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 8, 137-157.
- Girão Coelho, A. M., Bijlaard, F. S. K., ve Simões da Silva, L. (2004). Experimental assessment of the ductility of extended end plate connections. *Engineering Structures*, 26(9), 1185-1206. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2000.09.001>
- Grogan, W., ve Surtees, J. O. (1999). Experimental behaviour of end plate connections reinforced with bolted backing angles. *J. Surtees / Journal of Constructional Steel Research*, 50(1), 71-96.
- Guo, B., Qiang Gu, ve Liu, F. (2000). Experimental Behavior of Stiffened and Unstiffened End-Plate Connections under Cyclic Loading. *Journal of Structural Engineering*, 132(9), 683-701. <https://doi.org/10.1061/ASCE0733-94452006132:91352>
- Ismail, R. E. S., Fahmy, A. S., Khalifa, A. M., ve Mohamed, Y. M. (2016). Numerical study on ultimate behaviour of bolted end-plate steel connections. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 13(1), 1-22. <https://doi.org/10.1590/1679-78251579>
- Jia, L., Li, Q., Bi, R., ve Dong, Y. (2021). Behaviour of castellated beam-to-column end-plate connection under monotonic load. *Structures*, 34, 4616-4633.  
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.10.064>
- Jonathan C. Ryan. (1999). *Evaluation of Extended End-Plate Moment Connections Under Seismic Loading*.
- Kalogeropoulos, A., Drosopoulos, G. A., ve Stavroulakis, G. E. (2012). Thermal-stress analysis of a three-dimensional end-plate steel joint. *Construction and Building Materials*, 29, 619-626. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.012>
- Kaziolas, D., Abdalla, K., ve Baniotopoulos, C. (2011). Numerical and experimental investigation of the behavior of extended end-plate connections in steel structures. *Pollack Periodica*, 6(3), 17-32. <https://doi.org/10.1556/Pollack.6.2011.3.2>
- Keh-Chyuan Tsai, B., Member, A., Popov, E. P., ve Member, H. (1990). *Cyclic Behavior of End-Plate Moment Connections*.
- Kiamanesh, R., Abolmaali, A., ve Razavi, M. (2013). Effect of Circular Bolt Pattern on Behavior of Extended End-Plate Connection. *Journal of Structural Engineering*, 139(11), 1833-1841. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000765](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000765)

- Kishi, N., ve Chen, W. F. (2004). Four-parameter power model for M– $\theta$  curves of end-plate connections. *Connections in Steel Structures V*.  
<https://www.researchgate.net/publication/264878912>
- Liew, J. Y. R., Yu, C. H., Ng, Y. H., ve Shanmugam, N. E. (1997). Testing of Semi-rigid Unbraced Frames for Calibration of Second-order Inelastic Analysis. *J. Construct. Steel Res*, 41(3), 159-195.
- Lim, C., Choi, W., ve Sumner, E. A. (2012). Low cycle fatigue life prediction using a four-bolt extended unstiffened end plate moment connection. *Engineering Structures*, 41, 373-384. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.03.039>
- Lin, T., Wang, Z., Hu, F., ve Wang, P. (2022). Finite-Element Analysis of High-Strength Steel Extended End-Plate Connections under Cyclic Loading. *Materials*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/ma15082912>
- Liu, W. (2019). Shape Coefficient Study of the Extended End-plate Connections Base on Three Parameters Power Model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 330(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/330/3/032096>
- Lu, S., Wang, Z., Pan, J., ve Wang, P. (2021). Experimental and numerical research on the multi-stage seismic failure modes of steel frame with end-plate connection. *Structures*, 33, 3495-3514. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.06.049>
- Lu, S., Wang, Z., Pan, J., ve Wang, P. (2022). The Seismic Performance Analysis of Semi-rigid Spatial Steel Frames Based on Moment-Rotation Curves of End-plate Connection. *Structures*, 36, 1032-1049.  
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.12.064>
- Luo, L., Du, M., Yuan, J., Shi, J., Yu, S., ve Zhang, Y. (2020). Parametric analysis and stiffness investigation of extended end-plate connection. *Materials*, 13(22), 1-30.  
<https://doi.org/10.3390/ma13225133>
- Luo, L., Qin, J., Zhao, D., ve Wu, Z. (2020). Seismic behavior of extended end-plate connections subjected to cyclic loading on the top-side of the column. *Materials*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/MA13173724>
- Mahmood Md Tahir and Md Azman Hussein. (2008). Experimental Tests on Extended End-Plate Connections with Variable Parameters. *Steel Structures*.
- Mashaly, E., El-Heweity, M., Abou-Elfath, H., ve Osman, M. (2011). Behavior of four-bolt extended end-plate connection subjected to lateral loading. *Alexandria Engineering Journal*, 50(1), 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2011.01.011>
- Miryahyavi, M., Khani, R., ve Hosseinzadeh, Y. (2023). Evaluating the Cyclic Behavior of the Sloped Extended End-plate Beam-to-column Connections. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 67(2), 552-560.  
<https://doi.org/10.3311/PPci.21260>
- Mofid, M., Ghorbani Asl, M., ve McCabe, S. L. (2001). On the analytical model of beam-to-column semi-rigid connections, using plate theory. *Thin-Walled Structures*, 39(4), 307-325. [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)
- Mohammadi-Shoreh, M. R., ve Mood, M. (2004). Basic Issues in the Analytical Simulation of Unstiffened Extended End Plate Connection. *Scientia Iranica*, 11(4), 302-311. [www.SID.ir](http://www.SID.ir)
- Mohammed Bahaari, B. R., ve Sherbourne, A. N. (1996). Structural Behavior of End-Plate Bolted Connections to Stiffened Columns. İçinde *Journal of Structural Engineering*.
- Moore, D. B., ve Sims, P. A. C. (1986a). Preliminary Investigations into the Behaviour of Extended End-plate Steel Connections with Backing Plates. İçinde *J. Construct. Steel Research* (C. 6).

- Moore, D. B., ve Sims, P. A. C. (1986b). Preliminary Investigations into the Behaviour of Extended End-plate Steel Connections with Backing Plates. İçinde *J. Construct. Steel Research* (C. 6).
- Morrison, M., Quayyum, S., ve Hassan, T. (2017). Performance enhancement of eight bolt extended end-plate moment connections under simulated seismic loading. *Engineering Structures*, 151, 444-458.  
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.040>
- Mourad, S., Ghobarah, A., ve Korol, R. M. (1995). Dynamic response of hollow section frames with bolted moment connections. *Engineering Structures*, 17(10), 737-748.
- Mureşan, I. C., ve Bâlc, R. (2017a). Extended end-plate connection subjected to monotonic loading: Experimental analysis and FEM simulation. *AIP Conference Proceedings*, 1863. <https://doi.org/10.1063/1.4992740>
- Mureşan, I. C., ve Bâlc, R. (2017b). Parametric study of extended end-plate connection using finite element modeling. *AIP Conference Proceedings*, 1863.  
<https://doi.org/10.1063/1.4992741>
- Murray, T. M. (1988). Recent Developments for the Design of Moment End-Plate Connections. *J. Construct. Steel Research*, 10, 133-162.
- Murray', T. M., ve Meng, R. L. (1996). *Seismic loading of moment end-plate connections Some preliminary results*.
- Muto, M., ve Krishnan, S. (2011). Hope for the best, prepare for the worst: Response of tall steel buildings to the ShakeOut Scenario earthquake. *Earthquake Spectra*, 27(2), 375-398. <https://doi.org/10.1193/1.3563621>
- Ng, Y. H., Shanmugam, N. E., Yu, C. H., ve Liew, J. Y. R. (2012). Experimental Investigation of The Behavior of end-plate connections. *Thin-Walled Structures*, 60, 54-68.
- Osman, A. A., ve Mourad, S. A. (2021). Performance of extended end-plate bolted connections subjected to static and blast-like loads. *Journal of Engineering and Applied Science*, 68(1). <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00001-3>
- Özkılıç, Y. O. (2021a). A comparative study on yield line mechanisms for four bolted extended end-plated connection. *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 7(2), 93. <https://doi.org/10.20528/cjsmec.2021.02.005>
- Özkılıç, Y. O. (2021b). Investigation of the effects of bolt diameter and end-plate thickness on the capacity and failure modes of end-plated beam to-column connections. *Research on Engineering Structures and Materials*, 7(3), 445-463.  
<https://doi.org/10.17515/resm2021.275st0315>
- Özkılıç, Y. O. (2021c). The capacities of thin plated stiffened T-stubs. *Journal of Constructional Steel Research*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106912>
- Özkılıç, Y. O. (2023a). Cyclic and monotonic performance of stiffened extended end-plate connections with large-sized bolts and thin end-plates. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20(13), 7441-7475. <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01496-8>
- Özkılıç, Y. O. (2023b). Cyclic and monotonic performance of unstiffened extended end-plate connections having thin end-plates and large-bolts. *Engineering Structures*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115794>
- Özkılıç, Y. O. (2023c). Cyclic and monotonic performance of unstiffened extended end-plate connections having thin end-plates and large-bolts. *Engineering Structures*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115794>
- Özkılıç, Y. O., ve Topkaya, C. (2021a). Extended end-plate connections for replaceable shear links. *Engineering Structures*, 240.  
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112385>

- Özkılıç, Y. O., ve Topkaya, C. (2021b). Extended end-plate connections for replaceable shear links. *Engineering Structures*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112385>
- Özkılıç, Y. O., ve Topkaya, C. (2021c). The plastic and the ultimate resistance of four-bolt extended end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106614>
- Qiang, X., Wu, N., Jiang, X., Luo, Y., ve Bijlaard, F. (2018). Experimental and Numerical Analysis on Full High Strength Steel Extended Endplate Connections in Fire. *International Journal of Steel Structures*, 18(4), 1350-1362. <https://doi.org/10.1007/s13296-018-0130-y>
- Qiang, X., Wu, N., Luo, Y., Jiang, X., ve Bijlaard, F. (2018). Experimental and Theoretical Study on High Strength Steel Extended Endplate Connections After Fire. *International Journal of Steel Structures*, 18(2), 609-634. <https://doi.org/10.1007/s13296-018-0020-3>
- Qin, J. G., Pan, J. R., Wang, Z., Wang, P., ve Chen, S. Z. (2021). Initial rotational stiffness of end-plate connections based on the theory of plates and shells. *Journal of Building Engineering*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102764>
- Radmehr, M., ve Homami, P. (2020). The seismic reliability analysis of moment resisting frames with bolted end-plate connection. *Journal of Constructional Steel Research*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106134>
- Saberi, V., Gerami, M., ve Kheyroddin, A. (2014). Comparison of bolted end plate and T-stub connection sensitivity to component thickness. *Journal of Constructional Steel Research*, 98, 134-145. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.02.012>
- Samaan, R. A., El-Serwi, A. A. I., ve El-Hadary, R. A. (2017). Experimental and theoretical study of large capacity extended end-plate moment connection. *ce/papers*, 1(2-3), 205-214. <https://doi.org/10.1002/cepa.51>
- Shaker Fattouh M.F., ve Abdelrahman Waseem M. (2014). Behavior of flush and extended end-plate beam-to-column joints under bending and axial force. *World Applied Sciences Journal*, 30(6), 685-695. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.30.06.14092>
- Shi, G., Chen, X., ve Wang, D. (2017). Experimental study of ultra-large capacity end-plate joints. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 354-361. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.09.001>
- Shi, G., Shi, Y. J., ve Wang, Y. Q. (2005). Experimental research on tightening sequences and strain relaxation of high strength bolts in end-plate connections. *Proceedings of the Fourth International Conference on Advances in Steel Structures*, 855-860.
- Shi, G., Shi, Y., ve Wang, Y. (2007). Behaviour of end-plate moment connections under earthquake loading. *Engineering Structures*, 29(5), 703-716. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.06.016>
- Shi, G., Shi, Y., Wang, Y., ve Bijlaard, F. S. K. (2010). Monotonic Loading Tests on Semi-Rigid End-Plate Connections with Welded I-Shaped Columns and Beams. İçinde *Advances in Structural Engineering* (C. 13, Sayı 2).
- Shi, G., Shi, Y., Wang, Y., ve Bradford, M. A. (2008). Numerical simulation of steel pretensioned bolted end-plate connections of different types and details. *Engineering Structures*, 30(10), 2677-2686. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.02.013>
- Shi, Y., Shi, G., ve Wang, Y. (2007). Experimental and theoretical analysis of the moment-rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections. *Journal of*

- Constructional Steel Research*, 63(9), 1279-1293.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.11.008>
- Sumner, E. A., Mays, T. W., ve Murray, T. M. (2000). End-plate moment connections test results and finite element method validation. *Connections in Steel Structures IV*.
- Sumner, E. A., ve Murray, T. M. (2002). Behavior of Extended End-Plate Moment Connections Subject to Cyclic Loading. *Journal of Structural Engineering*, 128(4), 501-508. <https://doi.org/10.1061/ASCE0733-94452002128:4501>
- Sun, F. F., Xue, X. Y., Jin, H. J., Sun, M., Tang, Z. M., Xiao, Y., ve Li, G. Q. (2019). Hysteretic behavior and simplified simulation method of high-strength steel end-plate connections under cyclic loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 158, 429-442. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.03.014>
- Tartaglia, R., D'Aniello, M., ve Landolfo, R. (2018). The influence of rib stiffeners on the response of extended end-plate joints. *Journal of Constructional Steel Research*, 148, 669-690. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.06.025>
- Tartaglia, R., D'Aniello, M., Rassati, G. A., Swanson, J., ve Landolfo, R. (2017). Influence of composite slab on the nonlinear response of extended end-plate beam-to-column joints. *Key Engineering Materials*, 763, 818-825. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.763.818>
- Tomăscu, I. C., ve Muresan, I. C. (2013, Mart 17). Research on analysis and design philosophy of the connections in steel structures. *C60 International Conference*. <https://www.researchgate.net/publication/273638999>
- Wang, J., ve Chen, L. (2012). Experimental investigation of extended end plate joints to concrete-filled steel tubular columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 79, 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.07.016>
- Wang, J., ve Guo, S. (2012). Structural performance of blind bolted end plate joints to concrete-filled thin-walled steel tubular columns. *Thin-Walled Structures*, 60, 54-68. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2012.07.006>
- Wang, J., Uy, B., Thai, H. T., ve Li, D. (2018). Behaviour and design of demountable beam-to-column composite bolted joints with extended end-plates. *Journal of Constructional Steel Research*, 144, 221-235. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.02.002>
- Wang, J., Zhang, L., ve Spencer, B. F. (2013). Seismic response of extended end plate joints to concrete-filled steel tubular columns. *Engineering Structures*, 49, 876-892. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.01.001>
- Wang, M., Shi, Y., Wang, Y., ve Shi, G. (2013). Numerical study on seismic behaviors of steel frame end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 90, 140-152. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.07.033>
- Wang, S., ve Chen, Y. (2009). Initial stiffness and moment resistance of reinforced joint with end-plate connection. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 3(4), 345-351. <https://doi.org/10.1007/s11709-009-0054-x>
- Wang, W., Chen, Z., ve Zhang, L. (2023). Numerical Studies and Practical Design Suggestions on Fire Resistance of Unprotected High-Strength Steel Extended End-Plate Connections. *Fire Technology*, 59(4), 1585-1612. <https://doi.org/10.1007/s10694-023-01397-5>
- Wang, W. Y., Li, G. Q., ve Dong, Y. L. (2007). Experimental study and spring-component modelling of extended end-plate joints in fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 63(8), 1127-1137. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.10.006>

- Wang, W. Y., Li, G. Q., ve Dong, Y. li. (2008). A practical approach for fire resistance design of extended end-plate joints. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(12), 1456-1462. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.01.008>
- Wang, Y., Wang, Z., Pan, J., Wang, P., Qin, J. G., ve Chen, S. (2020). Cyclic behavior of anchored blind-bolted extended end-plate joints to CFST columns. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/app10030904>
- Xu, J., Wang, J., Mohamed, H. S., Han, J., Han, Z., Tu, J., ve Li, Z. (2021). Post-earthquake fire resistance of bolted end-plate connection joint with end-plate and web stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106835>
- Yoganata, Y. S., Suswanto, B., Iranata, D., ve Irawan, D. (2020). Analysis study of extended end plate connection due to cyclic load using finite element method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 930(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/930/1/012050>
- Yorgun, C., ve Bayramoğlu, G. (2001). Cyclic tests for welded-plate sections with end-plate connections. İçinde *Bayramoğlu / Journal of Constructional Steel Research* (C. 57). [www.elsevier.com/locate/jcsr](http://www.elsevier.com/locate/jcsr)
- Yuan, H., Gao, J., ve Theofanous, M. (2022). Numerical Modelling and Design of Stainless Steel Double Extended End-Plate Beam-to-Column Joints. *International Journal of Steel Structures*, 22(6), 1743-1759. <https://doi.org/10.1007/s13296-022-00654-7>
- Zhang, S. Q., ve Wu, L. (2014). Numerical analysis of the influence of the padding-plate on the extended end-plate connection. *Applied Mechanics and Materials*, 578-579, 505-508. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.578-579.505>
- Zhao, J. L. (2013). Model of the initial stiffness in extended end-plate connection. *Applied Mechanics and Materials*, 321-324, 1766-1769. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.321-324.1766>
- Zhao, W., ve Liu, Q. (2011). Design approach of stiffeners and model of the initial stiffness in extended end-plate connection. *Advanced Materials Research*, 243-249, 942-947. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.942>
- Zhu, C., Rasmussen, K. J. R., Yan, S., ve Zhang, H. (2019). Experimental Full-Range Behavior Assessment of Bolted Moment End-Plate Connections. *Journal of Structural Engineering*, 145(8), 04019079. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0002368](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0002368)