



**ÇELİK KUTU PROFİL KESİTLİ KOLON-KİRİŞ
BİRLEŞİMLERİNİN DAVRANIŞININ ÇEVİRİMSEL
YÜKLEME**

Doğukan ARAS

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mahyar MAALI**

2024

Her hakkı saklıdır.



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇELİK KUTU PROFİL KESİTLİ KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN
DAVRANIŞININ ÇEVİRİMSEL YÜKLEME**

Doğukan ARAS

Tez Danışmanı: Doç. Dr. MAHYAR MAALI

Ana Bilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2024

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

28/ 04/ 2024

İmzası

Doğukan ARAS

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK KUTU PROFİL KESİTLİ KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN DAVRANIŞININ ÇEVİRİMSEL YÜKLEME

Doğukan ARAS

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mahyar MAALI

Çelik yapılar sismik performansları ve üretim süreçlerindeki avantajları nedeniyle tercih ediliyor. Özellikle ülkemiz gibi deprem riski yüksek bölgelerde, çelik yapılar daha güvenilir bir seçenek olarak öne çıkıyor. Kiriş-kolon birleşimlerinin mühendislik açısından önemi büyük. Bu birleşimlerin sağlam ve esnek olması, yapıların sismik yük altında sağlam kalmasını sağlar. Özellikle kutu kesitli elemanlarda birleşim zorluğu yaşanması, doğru tasarım ve üretim süreçlerinin önemini vurgular. Bu tür birleşimlerin kolay montajı için doğru tekniklerin ve malzemelerin kullanılması kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada kutu kesitli kolon kiriş birleşimlerinde alın levhası yardımıyla bulonlu bir birleşim türü oluşturulmuştur. Bu birleşim türüne bağlı olarak incelenmesi için 8 adet deney numunesi hazırlanmış çevrimsel yükler uygulanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapmak için ABAQUS(6.10) programı ile üç boyutlu olarak modellenmiştir. Alın levhasının kiriş üzerindeki konumu baz alınarak deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak alın levhasının kullanımı maksimum moment ve maksimum kuvveti artırmıştır. Alın levhasının kolondan olan uzaklığı kiriş boyunun 1/5 ve 2/5 mesafeleri arasında kalması tavsiye edilmektedir.

2024, 62 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kutu kesitli kolon kiriş birleşimleri, Çevrimsel yükleme, Alın levhası

ABSTRACT

MS. Thesis

CYCLING LOADING BEHAVIOR OF COLUMN BEAM CONNECTIONS OF STEEL BOX PROFILE SECTIONS

Doğukan ARAS

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mahyar MAALI

Steel structures are preferred due to their seismic performance and advantages in the production process. Especially in regions with high earthquake risk like our country, steel structures emerge as a more reliable option. The importance of beam-column connections is significant in terms of engineering. These connections being strong and flexible ensures the resilience of structures under seismic loads. Particularly, the difficulty in connections in box-section elements emphasizes the importance of correct design and production processes. The use of correct techniques and materials is crucial for the easy assembly of such connections. In this study, a bolted connection type with a stiffener plate in box-section column-beam connections has been created. For investigation based on this connection type, 8 test specimens were prepared and subjected to cyclic loads. Finite element analysis was carried out using the ABAQUS (6.10) program in three dimensions. Experiments were conducted based on the position of the stiffener plate on the beam. As a result, the use of the stiffener plate increased the maximum moment and maximum force. It is recommended that the position of the stiffener plate on the beam should be between $1/5$ and $2/5$ of the beam length.

2024, 62 page

Keywords: Box-section column-beam connections, Cyclic load, Stiffener plate

TEŞEKKÜR

Tez çalışma süreci boyunca tecrübelerini benimle paylaşan, deney çalışmalarında imkanlarını zorlayan ve tüm zorluklarda benden desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Mahyar MAALI'ya ve her zaman yanımda olan anne ve babama tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Doğukan ARAS
Nisan 2024



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Döngüsel Yükleme ve Yükleme Protokolleri	2
1.1.1. Atc- 24 yükleme protokolü	2
1.1.2. Fema 461 yükleme protokolü	3
1.1.3. Fema-350 yükleme protokolü	4
1.1.4. SPD yükleme protokolü (1987)	4
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM	18
3.1. Yöntem	18
3.2. Materyal	18
3.2.1. Veri toplama ve kaydetme sistemi (Data logger).....	18
3.2.2. Hidrolik aktuatör	19
3.2.3. Doğrusal yer değiştime sensörü (LVDT).....	20
3.2.4. Gerinim ölçerler (Strain gauge)	21
3.3. Deneylerin Yapılışı ve Deney Düzenegi.....	21
3.4. Deney Numuneleri	22
3.5. Malzemelerin Mekanik Özellikleri	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	29
4.1 Deney Sonuçları	29
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	33
4.3. Deformasyon Ölçme Cihazların Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	41
4.4. Enerji Yutma Kapasiteleri.....	43
4.5. Sonlu Eleman Sayısal Model Yöntemi	45

4.5.1. Sonlu elemanlar modeli.....	45
4.5.2. Mesh oluşturma.....	45
4.5.3. Malzeme �zellikleri.....	48
4.5.4. Yükleme protokolü.....	48
4.5.5. Sonlu elemanların sonuçlarının karşılaştırılması	48
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR	60



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
cm	Santimetre
E	Elastite modülü
F_u	Çekme dayanımı
F_y	Akma dayanımı
KN.m	Kilonewtonmetre
m	Metre
mm	Milimetre
rad	Radyan
Θ	Dönme
Δ	Yerdeğiştirme

Kısaltmalar

FEMA	Federal Emergency Management Agency
F_{max}	Maksimum kuvvet
LVDT	Deformasyon ölçme cihazı
M	Moment
Θ_{max}	Maksimum dönme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. ATC-24 yükleme protokolü (Tavlaşoğlu 2022)	3
Şekil 1.2. FEMA461 yükleme protokolü (Tavlaşoğlu 2022)	3
Şekil 1. 3. FEMA 350 yükleme protokolü (Tavlaşoğlu 2022)	4
Şekil 1. 4. SPD yükleme protokolü (Beyer 2015)	5
Şekil 2.1. Yükleme protokolü (Serror 2016)	7
Şekil 2.2. Birleşim detayları (Huajie 2021)	7
Şekil 2.3. Kolon giriş birleşim detayları (Huajie 2022).....	8
Şekil 2.4. Vectorbloc bağlantı detayı (Jothiarun Dhanapal 2019).....	10
Şekil 2.5. Birleşimin bağlantı aşaması (Lele Sun 2022).....	11
Şekil 2.6. Birleşim detayı (Liu 2017).....	12
Şekil 2.7. Deneysel kurulum taslağı (Liu 2017)	12
Şekil 2.8. Gholami et al. deney düzeneği (2013).....	13
Şekil 2.9. Deney numunesi birleşim detayı ve deney düzeneği (Zi-qin 2019).....	15
Şekil 2.10. Deney düzeneği ve yükleme protokolü (Xuesen Chen and Gang Shi 2018).....	16
Şekil 2.11. Alın levhalı kolon giriş birleşim detayı (Liu 2015).....	17
Şekil 2.12. Deney düzeneği (Liu 2015)	17
Şekil 3.1. Deneyde kullanılan data logger	19
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan hidrolik dinamik aktüatör	20
Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan LVDT'ler.....	20
Şekil 3.4. Deney düzeneği ve numunenin yerleşimi.....	21
Şekil 3.5. Deney düzeneği oluşturan materyaller	22
Şekil 3.6. Exp düz kaynak numunesinin geometrik şekli	23
Şekil 3.7. Exp-perfect numunesinin geometrik şekli	24
Şekil 3.8. Exp H200 numunesinin geometrik şekli.....	24
Şekil 3.9. Exp H300 numunesinin geometrik şekli.....	25
Şekil 3.10. Exp H400 numunesinin geometrik şekli	25
Şekil 3.11. Exp H500 numunesinin geometrik şekli.....	26
Şekil 3.12. Exp H600 numunesinin geometrik şekli	26
Şekil 3.13. Exp H750 numunesinin geometrik şekli	27
Şekil 3.14. Çekme kupası testi ve test numunesi	28

Şekil 4.32. FEM-Exp-H400 numunesinin moment-dönme grafiği	51
Şekil 4.33. FEM-Exp-H500 numunesinin moment-dönme grafiği	51
Şekil 4.34. FEM-Exp-H600 numunesinin moment-dönme grafiği	52
Şekil 4.35. FEM-Exp-H750 numunesinin moment-dönme grafiği	52
Şekil 4.36. Sonlu elemanlar yöntemine göre kutu kesitli kolon giriş birleşiminde berkitmenin momente etkisi	53
Şekil 4.37. Sonlu elemanlar yöntemine göre alın levhasının kutu kolon birleşiminin kuvvete etkisi.....	53
Şekil 4.38. Sonlu elemanlar yönteminde elde maksimum moment ile deneyler sonucunda elde edilen maksimum moment grafikleri.....	54
Şekil 4.39. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen maksimum momentin deneyler sonucunda elde edilen maksimum momente göre yüzdelik değişim	54
Şekil 4.40. Exp-Düz kaynak numunesinin göçme modu ve analiz sonucu.....	55
Şekil 4.41. Exp-perfect numunesinin göçme modu ve analiz sonucu	56
Şekil 4.42. Exp-H200 numunesinin göçme modu ve analiz sonucu	56
Şekil 4.43. Exp-H300 numunesinin göçme modu ve analiz sonucu	56
Şekil 4.44. Exp-H400 numunesinin göçme modu ve analiz sonucu	57
Şekil 4.45. Exp-H500 numunesinin göçme modu ve analiz sonucu	57
Şekil 4.46. Exp-H600 numunesinin göçme modu ve analiz sonucu	57
Şekil 4.47. Exp-H750 numunesinin göçme modu ve analiz sonucu	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. ATC-24 maksimum deformasyon değerleri ve döngü sayıları.....	2
Çizelge 3.1. Deney düzeneğini oluşturan materyaller	22
Çizelge 3.2. Deney numunelerinde kullanılan malzemelerin geometrik özellikleri ve adetleri	23
Çizelge 3.3. Yapısal çelikler için ortalama karakteristik değerler	28



1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada çelik yapılar hızlıca artmaktadır. Çelik çekme dayanımı ve basınç dayanımı açısından oldukça iyidir. Çelik yapıları sünekliği betonarme yapılara göre üstündür. Bu yüzden sismik yüklere karşın çelik yapılar iyi bir davranış gösterirler. Yakın tarihlerde ülkemizde meydana gelen deprem felaketlerinden sonra çelik yapılarda hızlı artış yaşanmaktadır. Çelik yapıların yatay yük altındaki davranışı, sahip oldukları malzeme özellikleri, kesit geometrileri, birleşim detaylarına bağlıdır. Bu durumda, kiriş kolon birleşimleri, kullanılan yapı elemanın malzeme ve kesit özellikleri birleşimin dönme kapasitesinin belirlenmesinde önemli yer tutmaktadır. Oluşturulan kiriş-kolon birleşim noktalarında gevrek kırılmaların olmaması, düğüm noktalarının sistem sünekliğine paralel bir davranış sergilemesi istenir (Bayraktar 2018). Ayrıca kutu kesitli kolon kiriş birleşiminin az olması ve sismik yükler altında birleşim bölgelerindeki gevrek kırılmalar yeni bir birleşim detayına itmektedir.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (DBYBHY-2007) EK-4A da moment aktaran kolon kiriş birleşimleri için I profillerden bahsedilmiş ancak kutu ve boru kesitli elemanlardan bahsedilmemiştir. Ek olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) EK-4 bölüm 14. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Hesaplar boru ve kutu kesitli elemanların birleşimine yer verilmiştir. Ancak bu kutu ve boru kesitli elemanların kolon kiriş birleşimleri K ve T kaynaklı birleşim olarak ele alınmıştır. Bunun nedeni kutu ve boru kesitli elemanların geometrik yapılarından dolayı bulonlu cıvatalı ve perçinli bir kolon kiriş birleşimi oldukça az ve zordur. Kutu kesitli kolon kiriş birleşimin geometrik yapısından dolayı birleşim zorluğu bulon yardımıyla daha kolay indirgenmek istenmektedir.

Bir diğer konu ise çelik yapılarda imalat ve montaj aşamalarının fabrikalarda yapılması çok iyi denetimden geçmesine ve işçilik hatalarını en aza indirmektedir. Bu durum kutu kesitli elemanlarda yerinde montaj olmasından kaynaklı işçilik hataları olmaktadır.

Bu çalışmada kutu kesitli elemanların kolon ve kiriş birleşimi alın levhası ve berkitme levhaları kullanılarak yeni bir birleşim elde edilip döngüsel yükler altında

1. GİRİŞ

deneysel olarak incelenmiştir. 8 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Bu deney numunelerin berkitme levhaları ve alın levhalarının konumuna bağlı olarak moment-dönme grafikleri elde edilmiştir. Deney numuneleri ABAQUS (6.10) programı ile 3 boyutlu numuneler oluşturulmuş ve sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir.

1.1. Döngüsel Yükleme ve Yükleme Protokolleri

Dünyada birden fazla yükleme protokolleri geliştirilmiştir. Bunun nedeni depremlerdir. Dünyada asırlardan beridir devam eden depremler olmaktadır. Bu depremlerin aynı olmamasının sebebi genlik ve frekanstır.

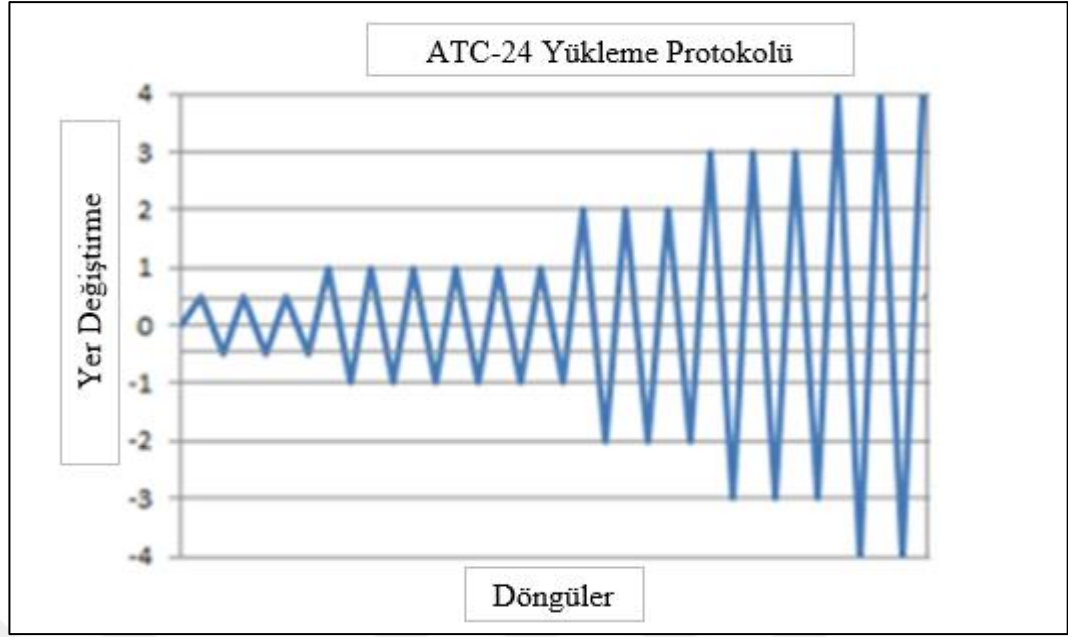
Yükleme protokollerini birbirinden ayıran en önemli özellikleri genlik ve döngü sayılarıdır.

1.1.1. Atc- 24 yükleme protokolü

Çelik yapıların bileşenleri için özel olarak geliştirilmiştir. Amerika'da geliştirilen ilk resmi protokollerdendir. Döngülerin genliği için referans olarak akma dayanımını ele alır. ATC-24 yükleme protokolünün maksimum deformasyon değerleri ve döngü sayıları Çizelge ve Şekil ile gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. ATC-24 maksimum deformasyon değerleri ve döngü sayıları

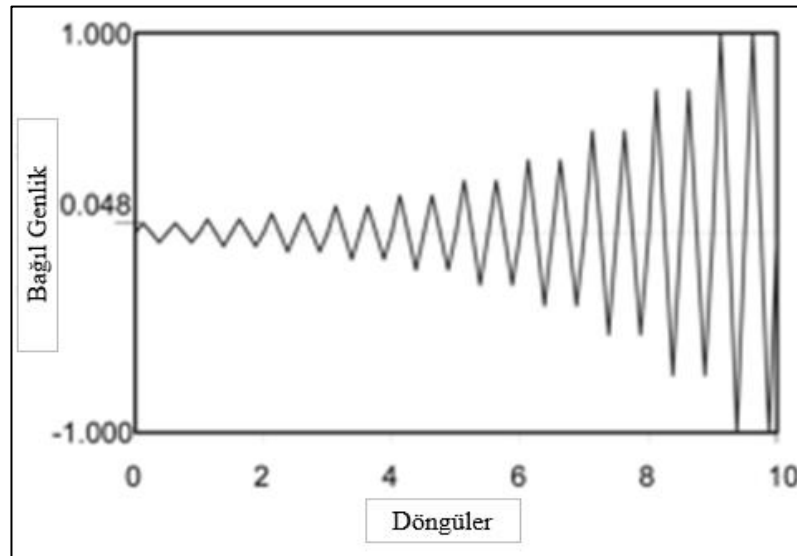
Yükleme Adımı	Maksimum Deformasyon Değeri	Döngü Sayısı (n)
1	$0.5\Delta_y$	3
2	$1 \Delta_y$	6
3	$2 \Delta_y$	3
4	$3 \Delta_y$	3
5	$4 \Delta_y$	3



Şekil 1.1. ATC-24 yükleme protokolü (Tavlaşoğlu 2022)

1.1.2. Fema 461 yükleme protokolü

Bu protokol sürüklenmeye dayalı yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerde uygulanır. Her genlik için iki döngü yürütülecektir. Hedeflenen en büyük ve en küçük genlik girilmelidir. Hedeflenen Δm (en büyük genlik) son hasar durumu henüz oluşmadıysa yükleme geçmişi $0,3 \Delta m$ 'lik (en büyük genlik) genlik artışları kullanılarak devam ettirilmelidir. (Tavlaşoğlu 2022)

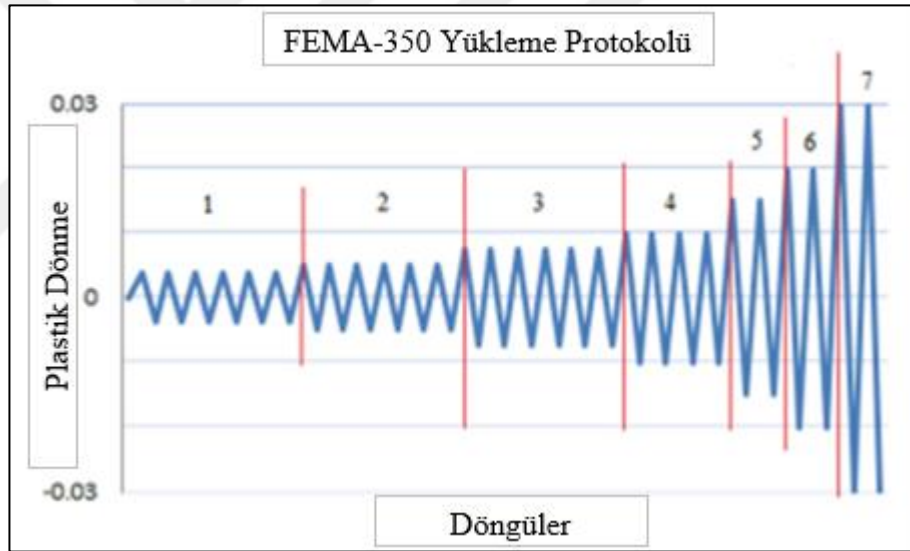


Şekil 1.2. FEMA461 yükleme protokolü (Tavlaşoğlu 2022)

1.1.3. Fema-350 yükleme protokolü

Bu protokol Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü tarafından çelik yapılarda kolon kiriş bağlantıları için önerilmiştir. Başlangıçtaki döngü sayılarının fazlalığı ve genlik arttıkça döngü sayısının azalması öne çıkmaktadır. Şekil 1.3.'de yükleme adımlarındaki deformasyonlar ve döngü sayıları verilmiştir.

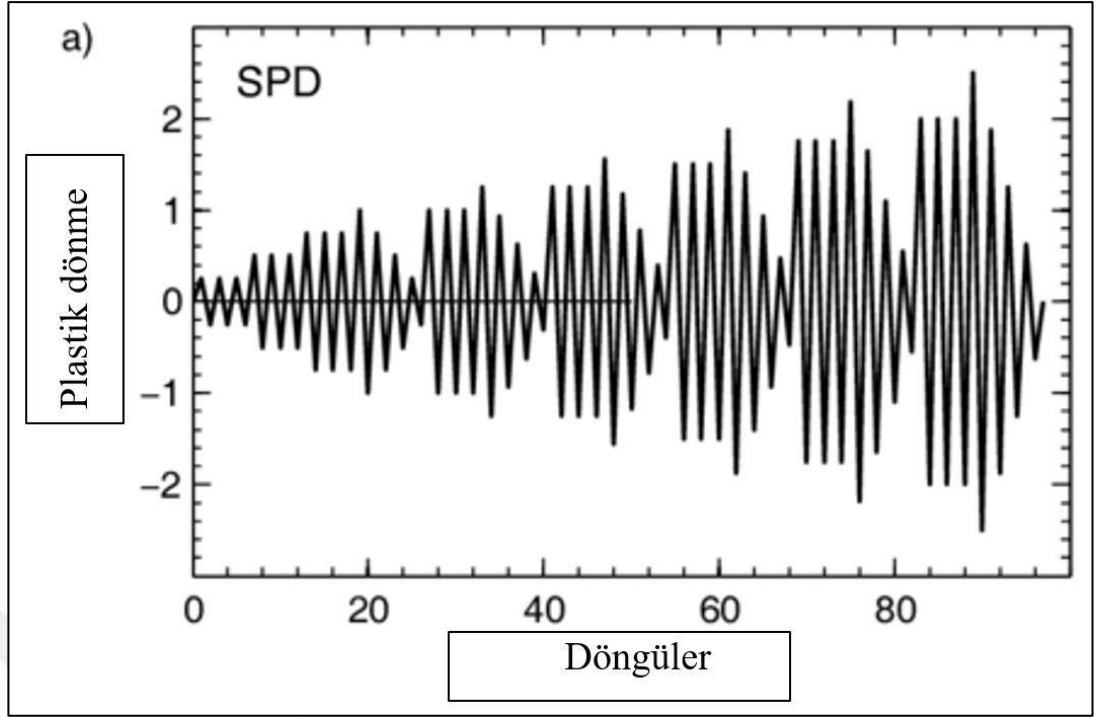
Deneylerde FEMA-350 yükleme protokolü seçilmiştir. Yüklemenin sistemde hata meydana gelene kadar 0,01 radyan artırımlarla devam edilmesi gerekmektedir. Her adımda, iki döngü gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Bu sayede, yapıların deprem sırasında nasıl davranacakları ve dayanıklılıkları hakkında bilgi edinilir. Ayrıca bu protokol Türkiye'deki deprem protokolüne benzerlik göstermektedir.



Şekil 1. 3. FEMA 350 yükleme protokolü (Tavlaşoğlu 2022)

1.1.4. SPD yükleme protokolü (1987)

Spd yükleme protokolü genlik aralığı dar ve büyük döngülerden oluşan bir yükleme protokolüdür. Döngü büyüklüğü belirli bir oranda artmaktadır. Başlangıçta duvar araştırmaları için oluşturuldu daha sonra ahşap yapıları için geliştirilmiştir.



Şekil 1.4. SPD yükleme protokolü (Beyer 2015)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

B. Calderoni et al. (2009) yapmış oldukları çalışmada soğukta şekillendirilmiş çelik kiriş monotonik ve döngüsel yükleme altında incelemişlerdir. Bu araştırmada amaç kirişin yapısal deformasyonları incelemektir. Deneyde kullanmak için dudaksız C profilleri arka arakaya vererek bir kiriş kesiti oluşturmuşlardır, orta noktada 20mm kalınlığında bir levha ile bağlanmışlardır. Monotonik yükler altında iki adet numune test edilmiş ve döngüsel yükler altında üç adet numune test edilmiştir. Yapılan testlerde kirişin yerel burkulmaya uğradığı gözlemlenmiştir. Yerel burkulmadan dolayı kirişte yük taşıma kapasitesinde ve eğilme sertliğinde kademeli olarak azalmalar gözlenmiştir.

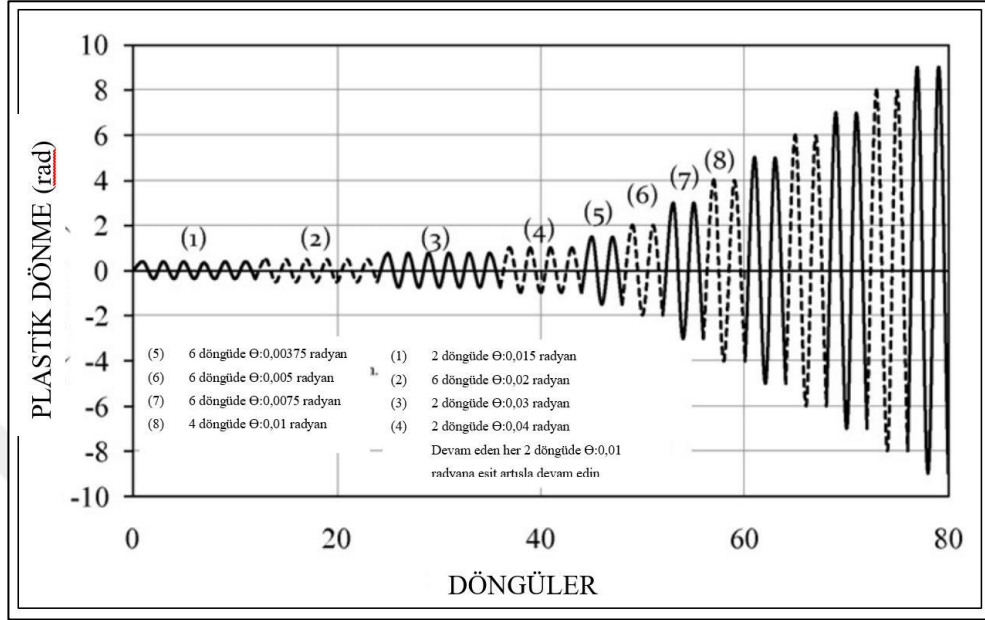
Castiglioni et al. (2009) yapmış olduğu çalışmada kaynaklı kolon kiriş birleşimlerini döngüsel yükler altında incelemişlerdir. Döngüsel yükler altındaki bağlantının hasar birikim kriteri ve göçme kriterleri araştırılmıştır. Döngüsel davranışı incelemek amacıyla Lizbon deneyi ve Milano deneyi protokolü uygulanmıştır. Deneylerde kullanılacak numunelere yer değiştirme kontrollü yükleme geçmişlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca monotonik temel yükleme geçmişine göre sabit ve adım adım artan döngü genlikleri ile değişken genlikli döngüsel yükleme geçmişleri benimsenmiştir.

F.Iannone et al. (2011) yapmış oldukları çalışmada döngüsel yükler altında bulonlu kiriş kolon birleşimlerini incelemişlerdir. Kolon ucunda berkitme levhası olup olması, uç plakanın geometrisi, kaynak geometrisi, kiriş alt ve üst plakalı olması gibi etmenler değiştirilerek 4 test numunesi hazırlandı. Tüm numunelerin birbirlerine çok yakın eğilme mukavemeti sağlamıştır. Enerji dağıtma kapasitesi en yüksek RBS (zayıflatılmış enkesitli kiriş) uygulanan numunede olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel test sonuçları, çelik yapıların sismik tasarımı çerçevesinde bile bileşen yaklaşımının güçlü bir araç olabileceğini doğrulamıştır.

H. Serron et al. (2016) soğukta şekillendirilmiş çelik kirişlerin monotonik ve döngüsel yükler altında davranışını incelemiştir. Monotonik yükler altında 6, döngüsel yükler altında 4 numune hazırlanmış toplamda 10 deney yapmışlardır. C profil ve kavisli profil olmak üzere 2 farklı profil kullanılmıştır. Bağlantı için geçiş plakası ve gövdeli bulon kullanılarak momente dayanıklı birleşim türü seçilmiştir. Monotonik ve döngüsel

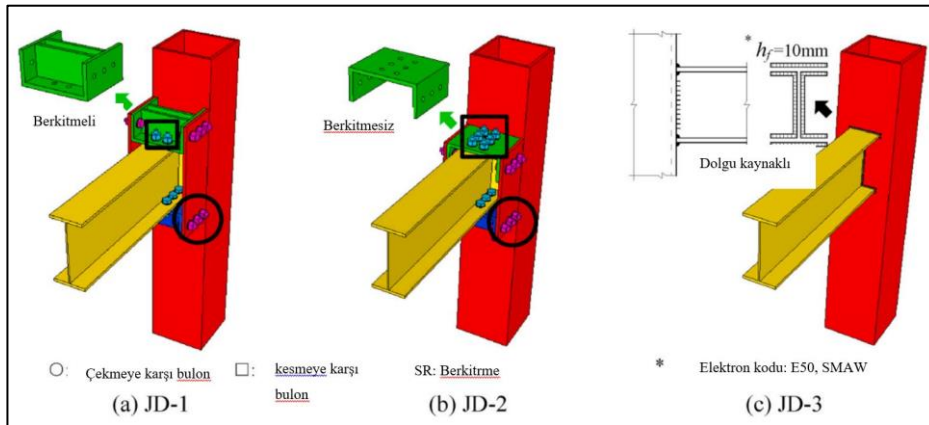
2. KAYNAK ÖZETLERİ

yükler altında birleşimde kullanılan alın levhası erken burkulmayı büyük bir ölçüde geciktirmiştir. Kavisli profil erken burkulmasını geciktirir ancak erken bükülmeye neden olur. Bu yüzden C profil, kavisli profile göre daha üstün bir davranış göstermiştir.



Şekil 2.1. Yükleme protokolü (Serror 2016)

Huajie et al. (2021) saha kaynağı olmadan prefabrik çelik çerçeve bağlantısı geliştirerek deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Bu çalışmadaki amaç sahada uygulanması zor olan kaynak birleşimini kaldırarak, sahada oluşabilecek hataları en aza indirmek. Bunun için yapılan bu çalışmada: kolon için kutu profil, kiriş için I profil kullanılmıştır. Kolon kiriş bağlantısı için 3 farklı birleşim uygulanmıştır. Uygulanan birleşim detayları şekilde gösterilmiştir.

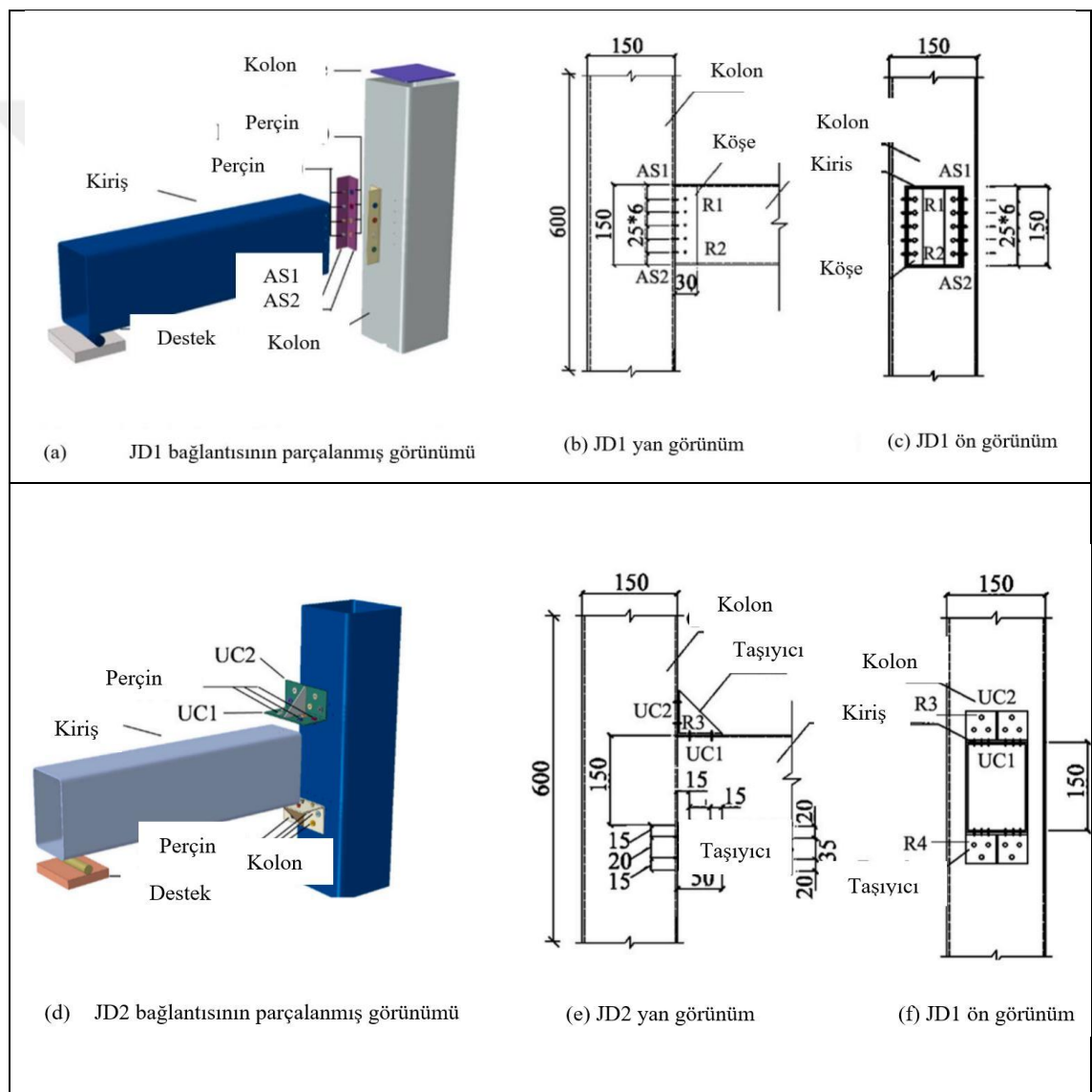


Şekil 2.2. Birleşim detayları (Huajie 2021)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Uygulanan bulonlu birleşimler kaynaklı birleşim ile karşılaştırılmış ve bulonlu birleşimler kaynaklı birleşime yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Sertlik bakımından kaynaklı birleşim bulonlu birleşimlerden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Huajie et al. (2022) soğukta şekillendirilmiş çelik çerçevelerde önceden tasarlanmış kapalı kesitli kolon-kiriş birleşimlerini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada 2 tip kolon kiriş bağlantısını kendinden kılavuzlu vida ve perçin kullanılarak 13 numune üzerinde deneyler yapmışlardır.



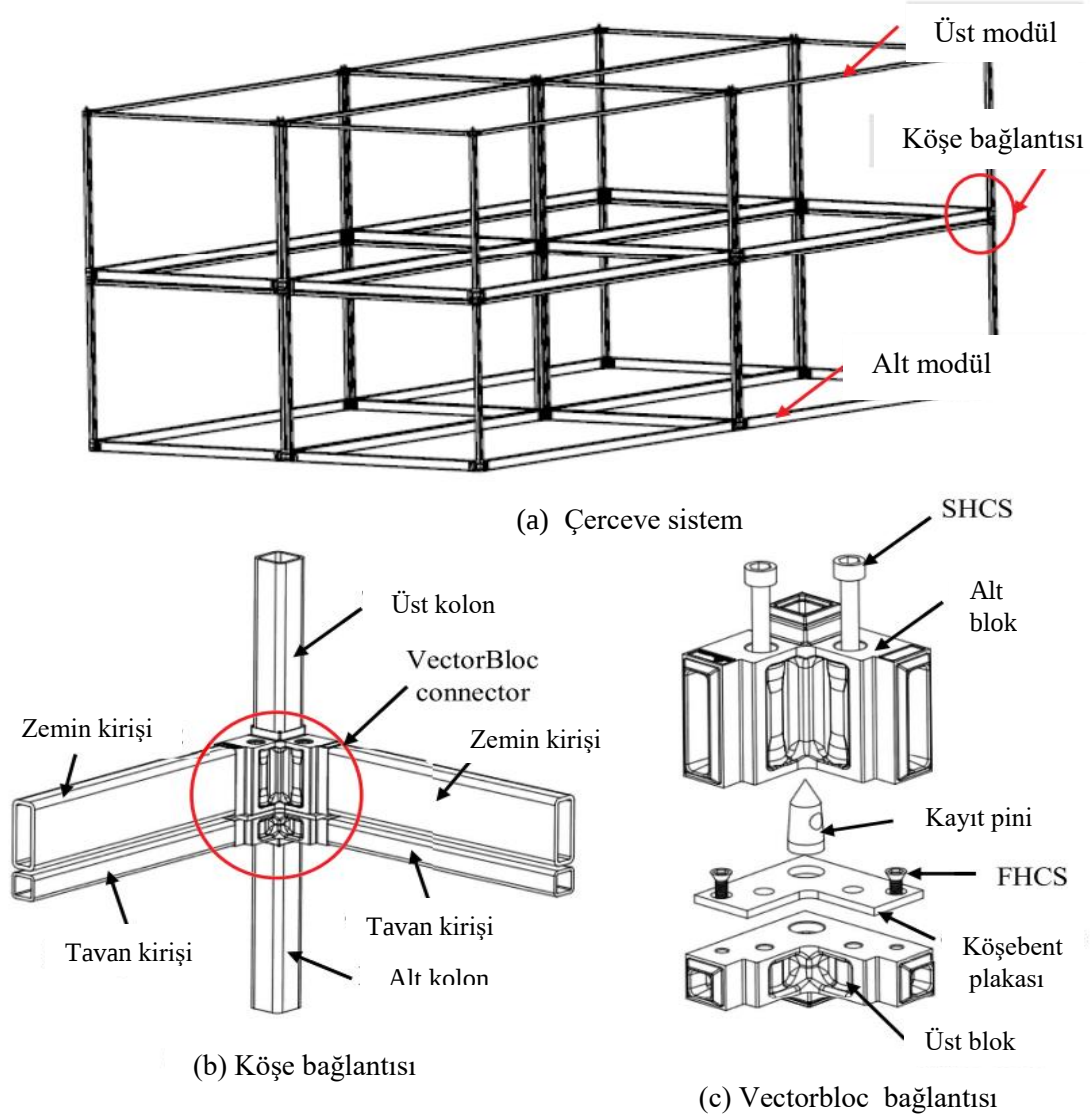
Şekil 2.3. Kolon kiriş birleşim detayları (Huajie 2022)

Deneyler reaksiyon çerçevesi kullanılarak yapılmıştır. Kendinden kılavuzlu vidalı birleşimlerde kirişteki yer değiştirme oldukça köşebent çeliği ile kolon arasında açılmalar

gözlemlenmiş, kirişteki yer değiştirme belirli bir seviyeye geldiğinde vida dışında kırılma meydana gelerek deneyler başarısız olmuştur. Birleşimin taşıma kapasitesinin, kendinden kılavuzlu vida çap genişliği doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir. Perçinli birleşimler taşıma kapasitesi ise kendinden kılavuzlu vidalı birleşimlere göre %79,3 oranında daha fazla olmuştur. JD2 bağlantısının JD1 bağlantısına göre taşıma kapasitesinin %45, başlangıç rijitliğinin ise %71 daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Ikhlaz S. Sheet et al. (2013) döngüsel yükleme altında CFT kolonunun çelik kiriş bağlantılarına deneysel olarak incelemişlerdir. Dikdörtgen ve dairesel olmak üzere 2 farklı kesitli kolon kullanmışlardır. Toplamda 4 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Birleşimlerde uzatılmış uç plaka ve kavisli genişletilmiş uç plaka kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda uygulanan döngüsel yüklere karşı birleşimler sünek bir davranış göstermiştir. Deney numuneleri benzer performanslar göstermiştir.

Jothiarun Dhanapal et al. (2019) bükme yüküne bağlı ince duvarlı kiriş-kolon modüler bağlantısının davranışı deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Kolon kiriş birleşimini vectorbloc (ince duvarlı HSS kirişleri ve HSS kolonlarından yapılmış tipik bir köşe bağlantısı) bağlantısı ile sağlanmıştır. Vektorbloc bağlantısı ile hem tek eksenli hem de çift eksenli olarak bükme davranışı incelenmiştir.



Şekil 2.4. Vectorbloc bağlantı detayı (Jothiarun Dhanapal 2019)

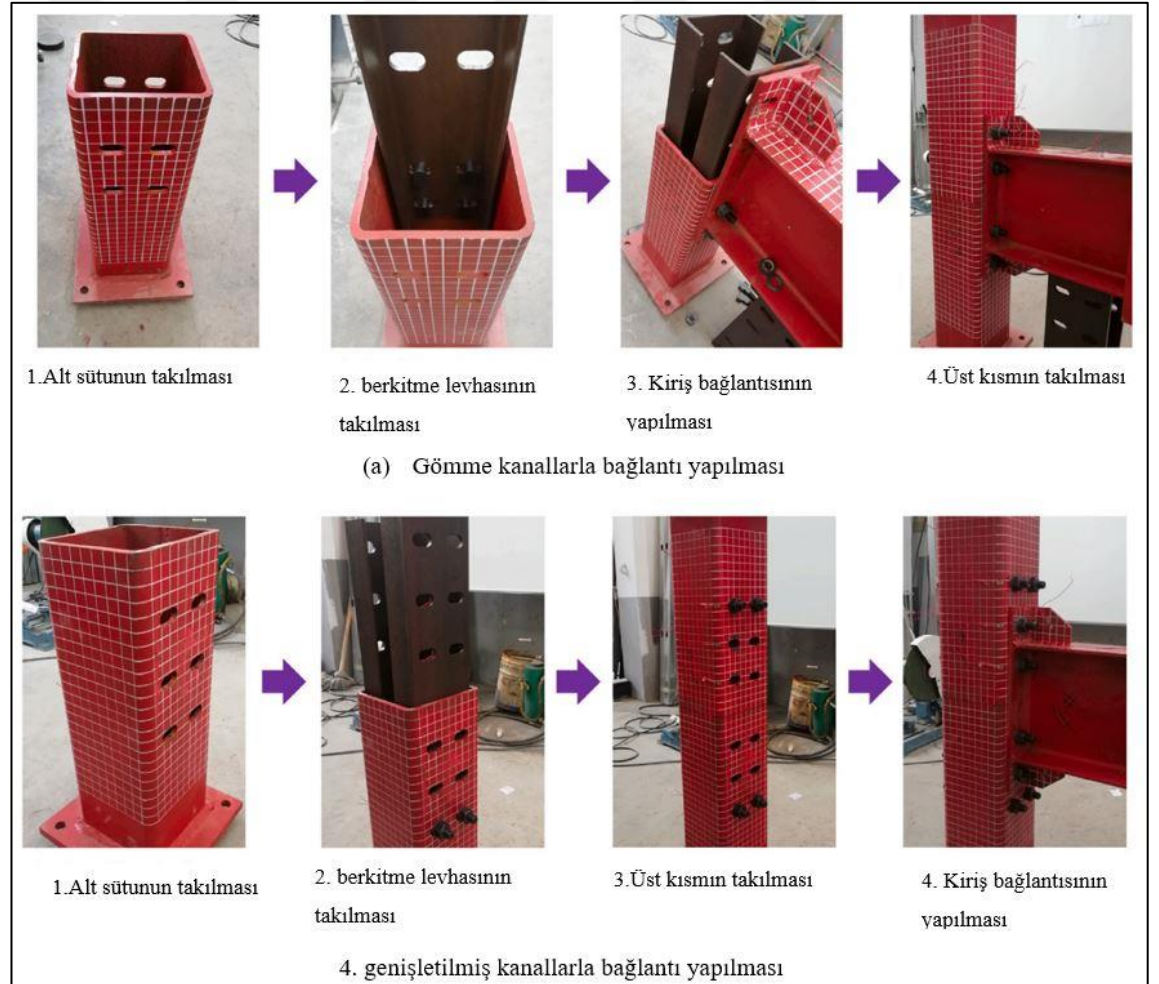
Zemin kirişlerine uygulanan bükme yükleri, zemin ve tavan kirişlerinde eğilme sapmalarına neden olmuştur. Kirişlerin bu sapmaları, kolonların bükülme deformasyonuna neden olmuştur. Kolonların eğilme deformasyonu üst ve alt blokları ayırmaya çalışmış, ancak vidalar tarafından engellenmiştir. Bu çalışma sonunda vektorbloc'un rijit bir bağlantı olarak kabul edileceği yargısına varılmıştır.

Keyang Ning et al. (2019) kaynaklı paslanmaz çelik kutu kesitli kiriş kolonları eğilme burkulma davranışı incelemiştir. İki farklı kalitedeki çelikten profilin kesiti, genişliği ve uzunluğu değiştirilerek toplamda 10 numune hazırlanmış ve deneye tabi tutulmuştur. Deney için kullanılan numuneler sıcakta haddelenmiş çelikten üretilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Elde edilen sonuçlar geliştirilmiş FE numunesinin doğruluğu kontrol edilmiştir ve doğrulanmıştır. Test edilen tüm kiriş ve kolonlar eğilme burkulmasıyla başarısız olmuştur.

Lele Sun et al. (2022) yapmış olduğu çalışmada içi boş kesitli kare kolon ve I kirişi bulon ve iç berkitme (rijitlik levhası) ile bir birleşim yapmış olup döngüsel yükler altında incelemişlerdir. Birleşimde kullanılan bulon sıkma zorluğundan dolayı tek taraflı bulon seçilmiştir. Bulonlar yatay olarak açılan bulon deliğine dışardan koyularak sıkılmaktadır. Berkitme kolonun içine yerleştirilerek bulon ile hem kolonları birbirine hem de kirişi kolona bağlama görevi görmektedir. İç berkitmenin uzunluğunu, kalınlığını ve bulon sayısını değiştirerek 4 farklı test numunesi hazırlanmıştır.

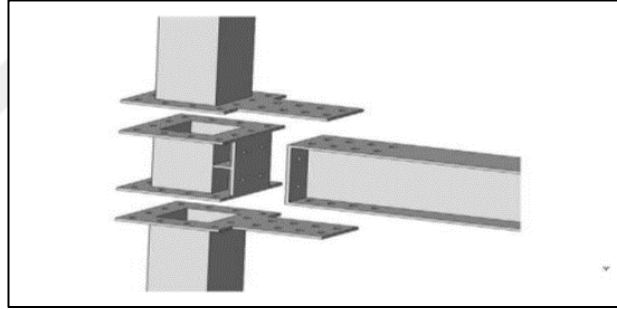


Şekil 2.5. Birleşimin bağlantı aşaması (Lele Sun 2022)

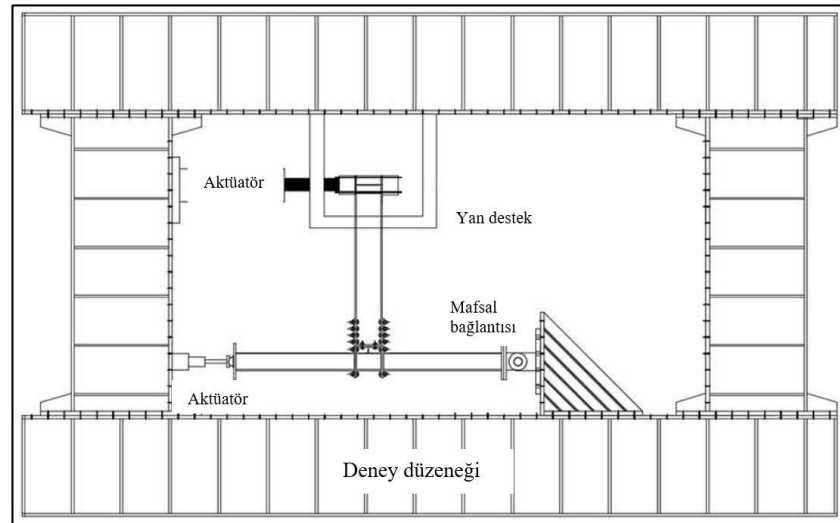
2. KAYNAK ÖZETLERİ

Test bağlantılarının sismik performansı, güçlendirilmemiş bağlantıninkilerle karşılaştırılarak, kırılma modu, dönme sertliği, eğilme taşıma kapasitesi, deformasyon kapasitesi, sertliği ve enerji dağıtma kapasitesi açısından değerlendirilmiştir. H çelik rijitliği, taşıma kapasitesini ve eğilme momentini artırmıştır. Deneye ek olarak birleşim sonlu eleman numuneleri ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Liu et al (2017) yapmış olduğu çalışmada H şekilli bir çelik kirişi kare HSS kolonuna bağlamak için yeni bir bağlantı tipi oluşturmuşlardır. Plaka kalınlığı, bulon sayısı ve bulon delik genişliği parametreleri değiştirilerek 9 numune hazırlanmıştır. Testlerde döngüsel yükleme yapılmıştır. Bulon sayısının artması, kayma bölümündeki yükü azaltmış, bağlantının enerji yayma kabiliyetinin artmıştır. Bulon sayısının azalması bulon deliklerinin duvarında ve kirişin civata deliklerinin bulunduğu bölümde daha yüksek strese, bulon deliğinin daha fazla uzamasına ve altında daha büyük kaymalara yol açmasıdır.



Şekil 2.6. Birleşim detayı (Liu 2017)



Şekil 2.7. Deneysel kurulum taslağı (Liu 2017)

M. Gholami et al. (2013) yapmış oldukları bu çalışmada çelik kiriş ve kaynaklı kutu kolon arasında levha bağlantılarını döngüsel yükler altında incelemişlerdir. Kolon (kutu profil) ve kiriş (I profil) boyutları sırasıyla 400*400*20*20 mm, 380*200*8*12mm şeklindedir. Deneyin yapılması için üç büyük ölçekli numuneler hazırlanmıştır. Deneyde kullanılacak numunelerdeki değişken parametreleri alın levhasının kalınlığı, kolona gelen taraftaki levha genişliği ve kaynak geometrisidir. Alın levhasının boyunun uzun olması kaynakta yırtılmalara sebep olmuştur. Bunun için alın levhası uzatma yerine kısa levhalar kullanıp kaynak mukavemetini artırmak sonucuna varılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.8. Gholami et al. deney düzeneği (2013)

Maalı et al. (2018) yapmış oldukları bu çalışmada soğuk şekillendirilmiş çelik yapıda vidalı kolon kiriş bağlantılarının deneysel olarak incelemişler. Kolon için sıcakta haddelenmiş HEB280 kesitli çelik seçilmiş, kiriş sırt sırda verilmiş C profil seçilmiş ve uç bağlantı plakaları ile kolona bağlanmıştır. Uç bağlantı plakası kolona cıvatalar ile bağlanmıştır. Testlerde tam ölçekli farklı kalınlıklardaki kiriş kullanılarak 3 adet test yapmışlardır. Deneyler bağlantı vidaların kayması ve kırılması ile sonlanmıştır. Kiriş kalınlığı arttıkça plastik ve maksimum deformasyonun azaldığını, maksimum moment ve rijitliğin arttığını göstermiştir.

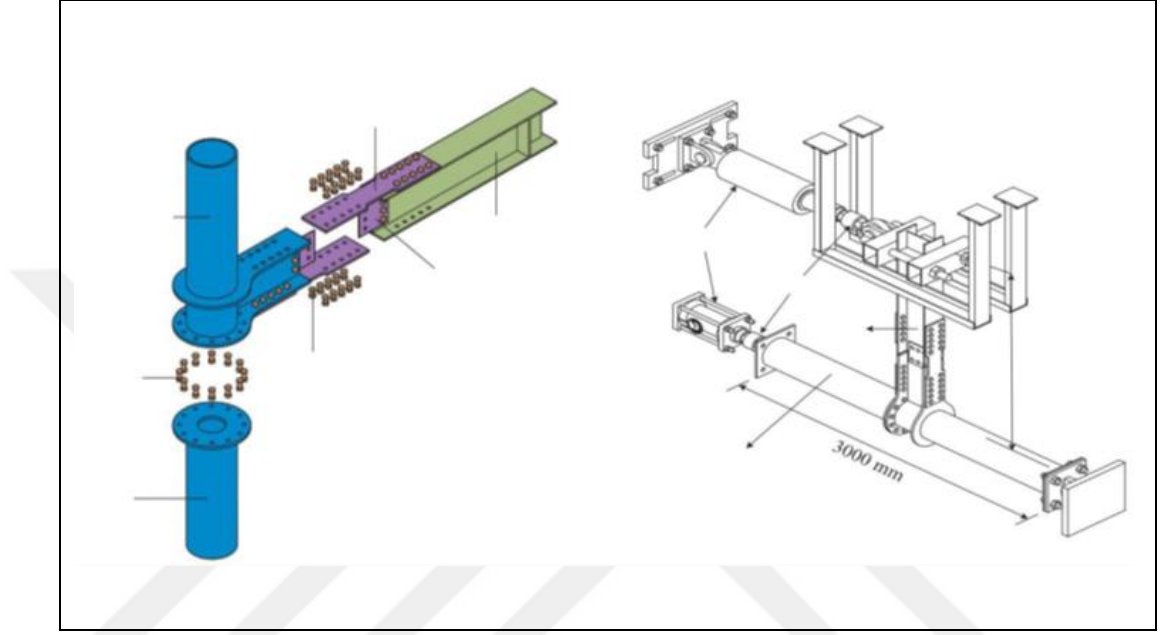
Ricardo Costa et al. (2019) yapmış oldukları çalışmada 3D uç plaka kirişten kolona cıvatalı çelik bağlantılarını deneysel olarak incelemişlerdir. Ana (majör) eksen ve (minör) küçük eksenlerde yapılan birleşimlerde gerçek boyutlarda 5 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Yapılan bu çalışmada ana eksenlerin dışında yapılan küçük eksenlerdeki bağlantılar kolon kiriş birleşiminin rijitliğini büyük ölçüde artırmıştır. Küçük eksen doğrultusundaki birleşim çift taraflı olması tek taraflı birleşime göre sertliği ve elastik momenti açısından daha iyi performans göstermiştir.

Yazıcı (2018) yapmış olduğu çalışmada hafif çelik yapılarda vidalı kolon kiriş birleşimlerini deneysel olarak incelemiştir. Sırt sırta birleştirilmiş olan C profilleri vida ile bayrak levhasına birleştirilmiş. Birleşim davranışını inceleyebilmek için kolon kesitini HEA200 seçilmiştir. Bayrak levhası M20 bulonlar ile kolona birleştirilmiştir. Değişkenler olarak; kirişin cidar kalınlığı (sırt sırta birleştirilmiş C profil), bayrak levhası kalınlığı, berkitmeli ve berkitmesiz olarak toplamda 14 deney yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda birleşimin moment-dönme eğrilerine ulaşılmıştır. Kiriş ve levha kalınlığının artırılması moment dayanımı, rijitlik oranını ve dönme kapasitesini artırmıştır. Berkitme kullanımı rijitlik ve dönme kapasitesini artırmıştır. Pr kalınlığını artırmak göçme şeklini etkilememiştir.

Yu Chen et al. (2022) yaptıkları çalışmada kaynaklı H kesitli paslanmaz çelik elemanların sabit sıkıştırma ve tek eksenli döngüsel eğilme altında davranışını inceledi. Çelik kalitesi kesit boyutları ve genişliği (levha kalınlığı), eksenel sıkıştırma oranı ve yükleme protokolleri değiştirilerek toplamda 24 deney yapılmıştır (numunelerde düz kaynak yapılmıştır). Çalışmada ele alınan kaynaklı H kesitin artık gerilmeleri ölçülmüştür. Deney sonucunda yapılan testlerden kiriş kolonların arıza modu, süneklik katsayısı, histerik tepkisi ve enerji yutma kapasitesi elde edilmiştir. İnce cidarlı ve yüksek sıkıştırma oranına sahip numunelerde döngüsel yükler altında burkulmaya duyarlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

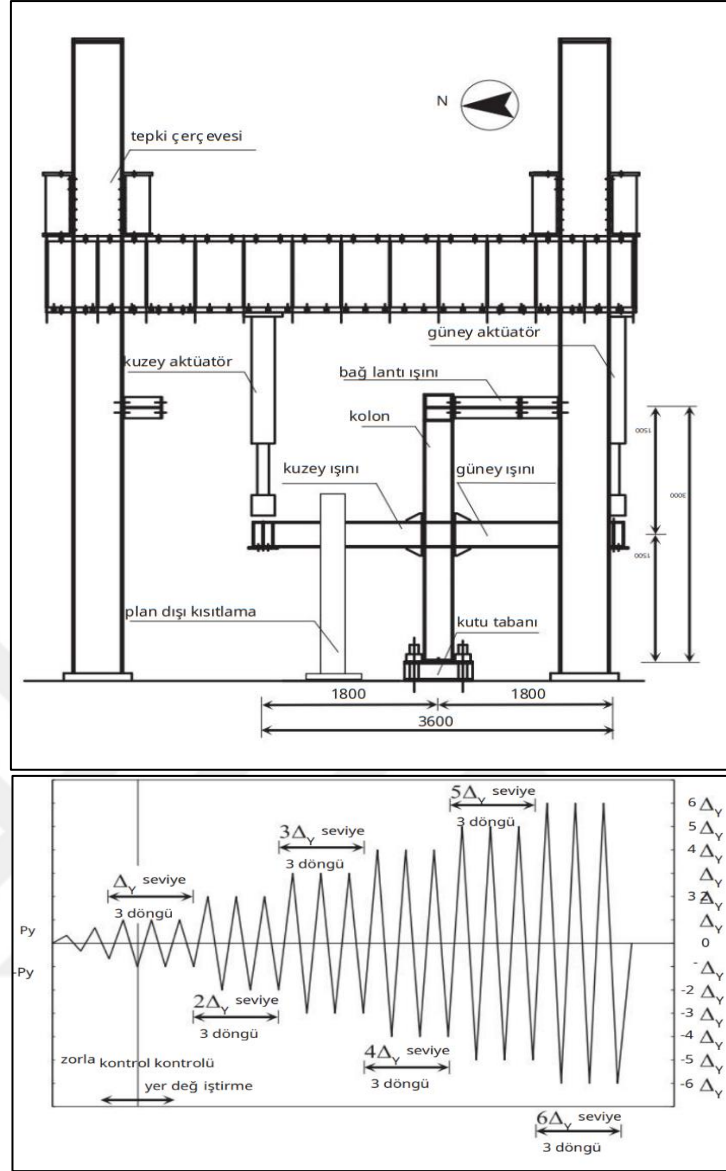
Zi-qin Jianga et al. (2019) depreme dayanıklı prefabrik yeni kolon kiriş bağlantısı yapıp deneysel olarak test etmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada daire şeklinde çelik kolon ve I profil kirişi, levha ve bulonlar yardımıyla yüksek mukavemetli bir birleşim oluşturmuşlardır. Beş farklı deney yapılmıştır. Deneydeki esas değişken parametreler

levha kalınlığı, bulon sayısı ve kirişler arası uzaklık olmuştur. Test elde edilen veriler sonlu eleman numuneleri ile de karşılaştırılmıştır. Bu araştırmada birleşimin taşıma kapasitesine, sünekliğine, enerji yutma kapasitesine ve sismik performansa bakılmıştır. Levha ve bulonlar sürtünerek enerji tüketir ve deformasyona uğrar, depremden sonra levha ve bulonların değiştirilmesini yeterli görmüşlerdir.



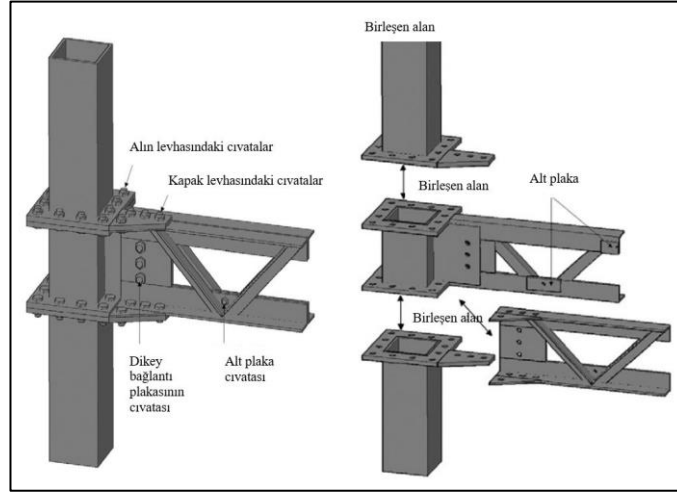
Şekil 2.9. Deney numunesi birleşim detayı ve deney düzeneği (Zi-qin 2019)

Xuesen Chen and Gang Shi (2018) kutu kolonlarda uç bağlantıları deneysel olarak incelemiştir. Yapmış olduğu bu çalışmada içi boş kutu kesitli kolon ile I kesitli kiriş ile yeni bir birleşim türü geliştirmişlerdir. Birleşimde kiriş ile kolon arasında bağlantıyı cıvata ve berkitme levhası sağlanmıştır. Dört tam ölçekli deney numunesi monotonik ve döngüsel yüklere tabi tutulmuştur. Bu çalışmada rijitlik, dönme kapasitesi, enerji dağıtma kapasitesi ve göçme modlarına bakılmıştır. Monotonik testen sonra numunede hiçbir çatlağa rastlanmamış, kuzey kiriş levhası yerel burkulmaya maruz kalmıştır. Döngüsel testlerde kolon ile levha arasında çatlaklıklar gözlenmiştir.

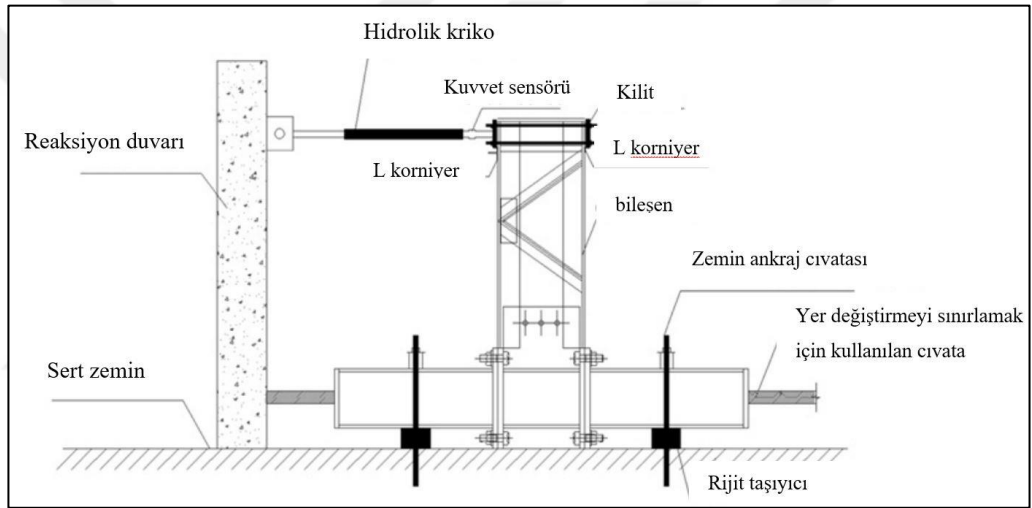


Şekil 2.10. Deney düzeneği ve yükleme protokolü (Xuesen Chen and Gang Shi 2018)

X.C. Liu et al. (2015) Yaptıkları bu çalışmada modüler prefabrik çelik yapıda yeni bir cıvatalı ve kaynaklı birleşim oluşturup, statik ve döngüsel yükler altında davranışı incelenmişlerdir. Deneyler sonucunda kaynak birleşimlerinde ani kırılmalar yaşanırken bulonların mukavemeti ve plastik deformasyon yüksek olması birleşiminin plastik deformasyonunun az bir düşüş yaşamasını sağladı. Bulonlu ve kaynaklı birleşimi; dönme kapasitesi, sünek ve enerji dağılımı kapasitesi bakımından iyi bir performans sergilediği vurgulanmıştır. Döngüsel yükler altında kaynakların yorulması ve kırılması statik yüke göre daha fazla olmuştur ancak bulonların varlığı taşıma kapasitesi bakımından küçük bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2.11. Alın levhali kolon kiriş birleşim detayı (Liu 2015)



Şekil 2.12. Deney düzeneği (Liu 2015)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, soğukta şekillendirilmiş çelik kutu kesitli kolon-kiriş birleşiminin döngüsel yükler altında davranışı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan yöntem ve materyaller anlatılmaktadır.

3.1. Yöntem

Deneyde kullanılan numuneler 1 adet alın levhasız ve berkitme levhasız kutu kesitli kolon kiriş birleşimi, 1 adet alın levhasız ve berkitme levhalı kutu kesitli kolon kiriş birleşimi, 6 adet alın levhalı kutu kesitli kolon kiriş birleşimi olmak üzere toplamda 8 adet numune döngüsel yükler altında kolon kiriş birleşiminin davranışı incelenmiştir. Alın levhalarının kolon uzaklığı 200mm, 300mm, 400mm, 500mm, 600mm, 750 mm olmak üzere 6 farklı numune hazırlanıp döngüsel yükler altında deforme oluncaya kadar yükler uygulanmıştır.

Alın levhası boyutları ve birleşim tipi sabit tutularak uygulanan kuvvetten doğacak kolon kiriş birleşimindeki alın levhasının kolondan olan uzaklığına bağlı olarak oluşabilecek deformasyonlar gözlemlenmek istenmiştir.

3.2. Materyal

3.2.1. Veri toplama ve kaydetme sistemi (Data logger)

Veri toplayıcılar istenilen bilgileri belirli aralıklarda ve belirli sürede kayıt eder ve kayıt ettiği verileri bilgisayar ortamına aktarır. Deneylerde TestBOX1001 marka veri toplama cihazı kullanılmıştır. Her bir TestBOX1001 üzerinde birden sekize kadar numaralandırılmış sekiz adet kanal girişi bulunmaktadır. Her kanala sadece bir adet algılayıcı bağlanabilmektedir. Aynı anda sekiz adet algılayıcıdan okunan veriler eş zamanlı olarak bilgisayar ortamına aktarılabilir. Kanallara bağlanan algılayıcının özelliklerine göre her kanalın üzerinde bulunana ayar anahtarları ayarlanmalıdır.



Şekil 3.1. Deneyde kullanılan data logger

3.2.2. Hidrolik aktüatör

Aktüatörler, elektrikle, elle veya hava, hidrolik vb. çeşitli akışkanlarla çalıştırılan kontrollü ve bazen sınırlı hareketler veya konumlandırma sağlayan mekanik veya elektro-mekanik cihazlardır.

Hidrolik aktüatörler ise sıvı, gaz veya diferansiyel hava basıncı aracılığıyla doğrusal yer değiştirme üreten silindir ve piston mekanizmalarından oluşan mekanik cihazlardır. Akışkan gücüyle çalışan hidrolik aktüatörler, bir öge belirli bir konuma kontrollü bir hareket gerektirdiğinde kullanılır. Sistem ileri ve geri yönde doğrusal hareket ettirilmek istenildiği zaman mekanizma tarafında pistonu sıvı basıncını artırıp azaltarak hareket sağlanır.

Deneylerde kullanılan hidrolik aktüatör Besmak markadır. Kontrollü olarak uygulayabildiği maksimum yükleme 150 ton kadardır.



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan hidrolik dinamik aktüatör

3.2.3. Doğrusal yer değıştirme sensörü (LVDT)

Doğrusal konum sensörleridir. Doğrusal yer değıştirmeyi ölçmek için kullanılır ve ölçüm mesafesi nispeten kısadır. Serbestçe hareket eden bir boru ve onu içeren bir tüpten oluşur. Tüp hareketsiz kalan bir nesneye sabitlenir uç kısmı ise hareket edecek olan nesneye temas ettirilir. Deformasyon ölçme cihazı deneyden çıkacak verileri bilgisayara aktarır. Deneylerde 50mm ve 100mm olacak şekilde 2 farklı deformasyon ölçme cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan LVDT'ler

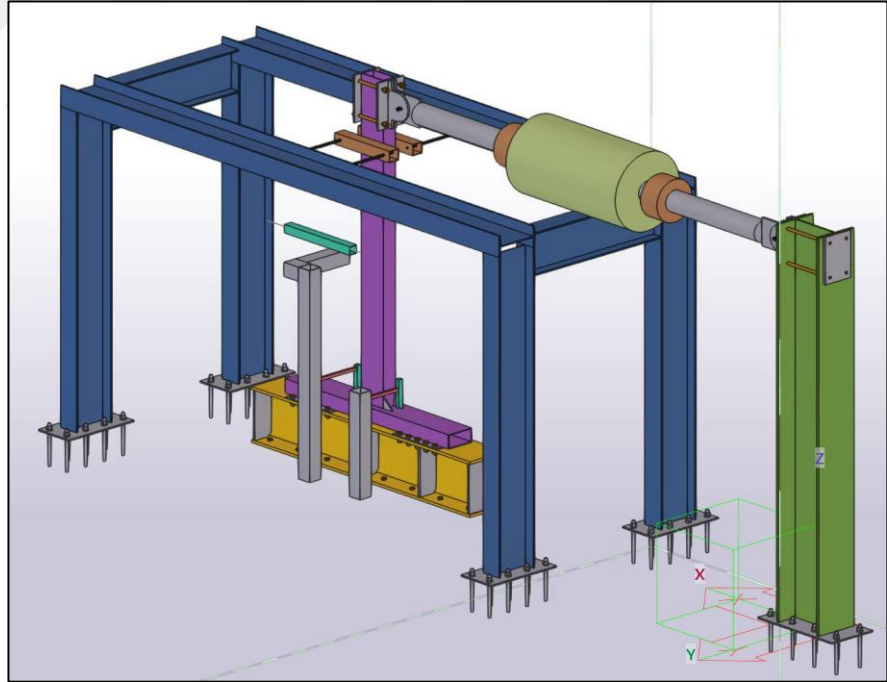
3.2.4. Gerinim ölçerler (Strain gauge)

Gerinim ölçerler, malzemede meydana gelecek uzama ve kısalmaları ölçmek için kullanılır. Küçük kesitli olan bu pullar içindeki şeridin üzerine çekilmiş iletken teller aracılığıyla birim uzamaları ölçmektedir. Gerinim ölçerler istenilen bölgeye yapıştırılır ve üstü ince özel bir plastik ile kapatılır. Gerinim pulları yüzeyde oluşan birim uzamaları veri toplayıcıya aktarır ve orada verilerin toplanmasını sağlar.

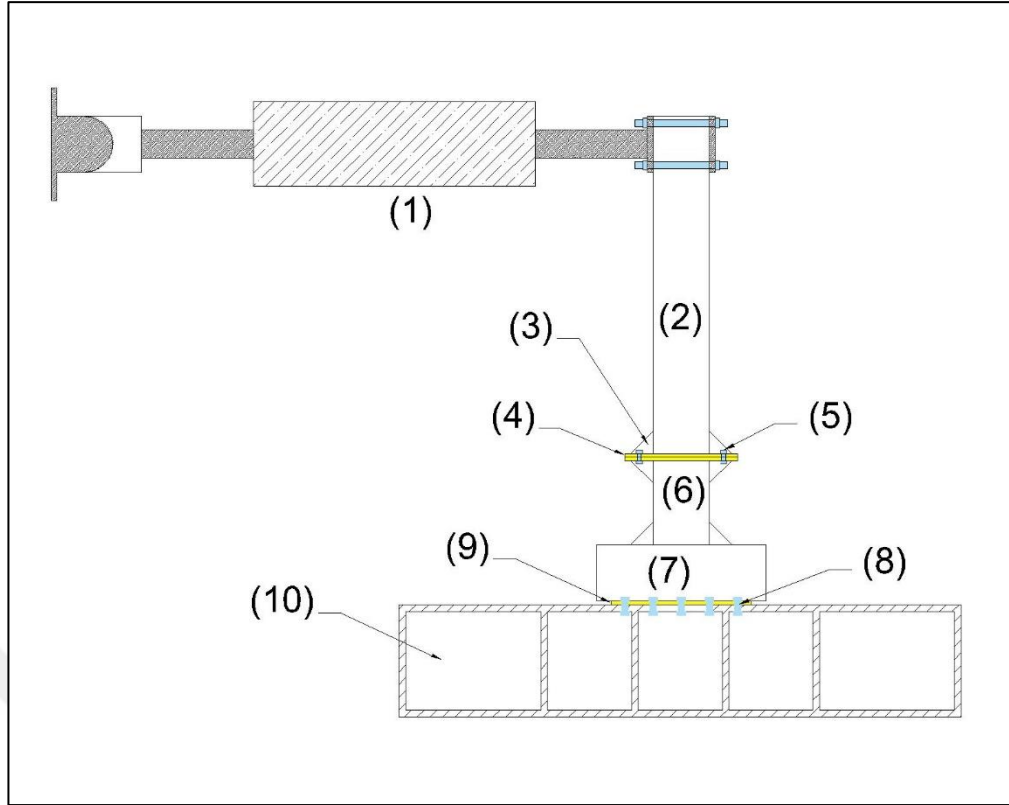
3.3. Deneylerin Yapılışı ve Deney Düzenegi

Deneyler Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümün de bulunan Yapı Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Aşağıda deney düzenegi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deney düzenegi ve numunenin yerleşimi



Şekil 3.5. Deney düzeneği oluşturan materyaller

Çizelge 3.1. Deney düzeneğini oluşturan materyaller

Numara	Eleman adı
1	Hidrolik aktüatör
2	Kiriş(120cm)
3	Berkitme levhası
4	Alın levhası
5	M12 bulon
6	Kiriş(30cm)
7	Kolon
8	M22 bulon
9	Kolon plakası
10	Rijit kolon

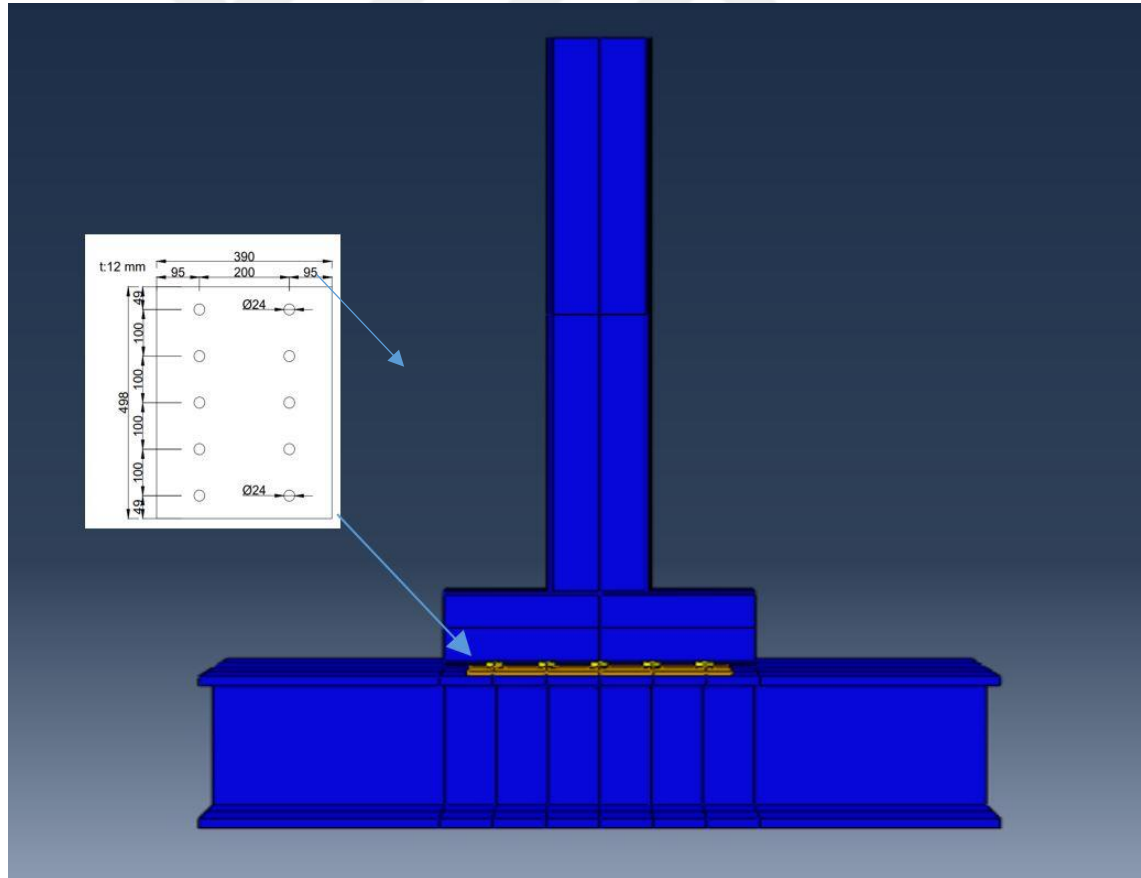
3.4. Deney Numuneleri

Deneyler için hazırlanan numunelerde kullanılan malzemelerin detayları aşağıdaki Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

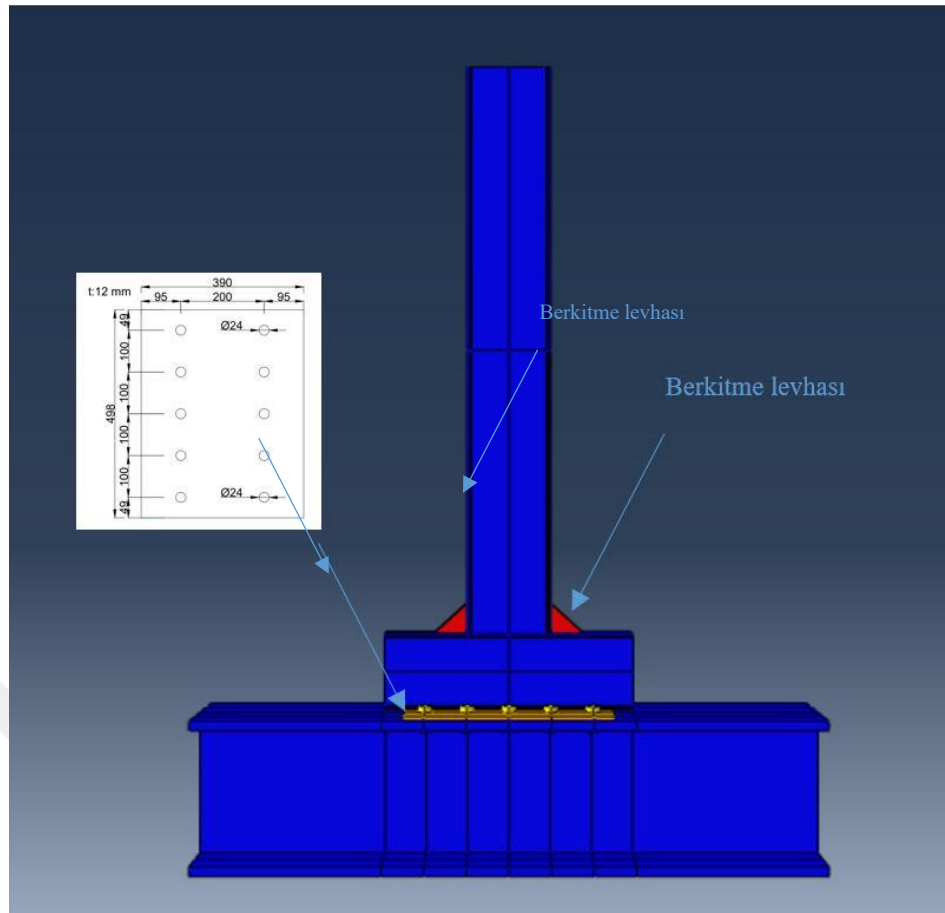
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.2. Deney numunelerinde kullanılan malzemelerin geometrik özellikleri ve adetleri

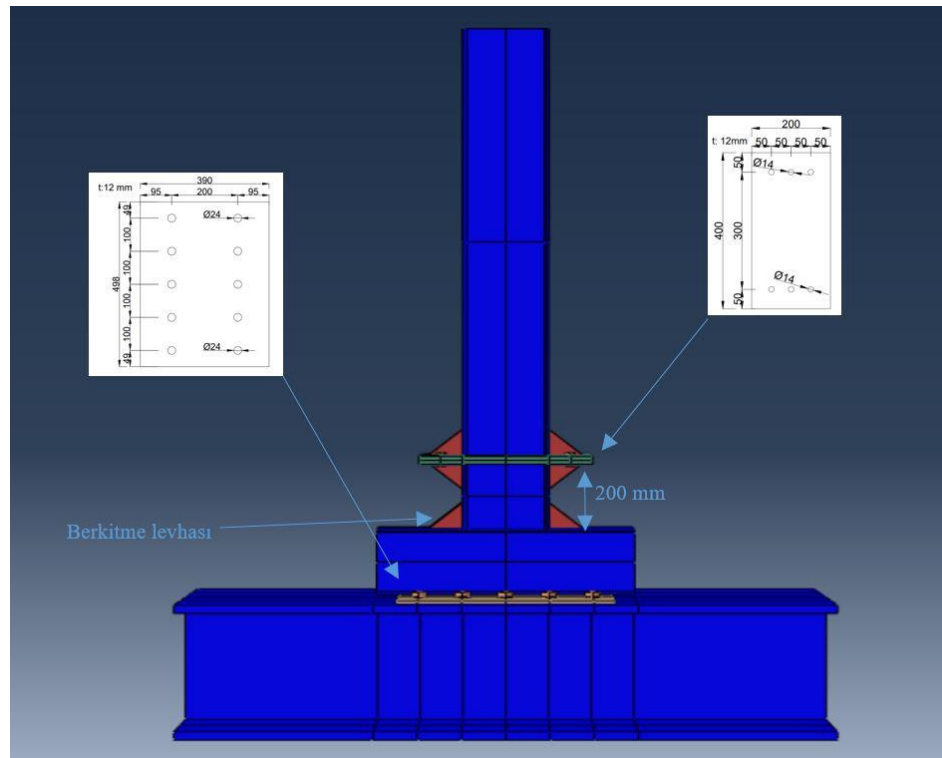
DENEY NUMUNESİ ADI	Kolon (mm)	Kiriş(mm)	Alın levhası(mm)	Başlık levhası(mm)	Berkitme levhası(mm)	M14 bulon adeti	M24 bulon adeti
Exp-düz kaynak	200*100*600	200*100*1500	-	390*498*12		-	-
Exp-perfect	200*100*600	200*100*1500	-	390*498*12	80*80*10	-	-
Exp-h200	200*100*600	200*100*200 200*100*1300	200*400*12	390*498*12	80*80*10	6	10
Exp-h300	200*100*600	200*100*300 200*100*1200	200*400*12	390*498*12	80*80*10	6	10
Exp-h400	200*100*600	200*100*400 200*100*1100	200*400*12	390*498*12	80*80*10	6	10
Exp-h500	200*100*600	200*100*500 200*100*1000	200*400*12	390*498*12	80*80*10	6	10
Exp-h600	200*100*600	200*100*600 200*100*900	200*400*12	390*498*12	80*80*10	6	10
Exp-h750	200*100*600	200*100*750 200*100*750	200*400*12	390*498*12	80*80*10	6	10



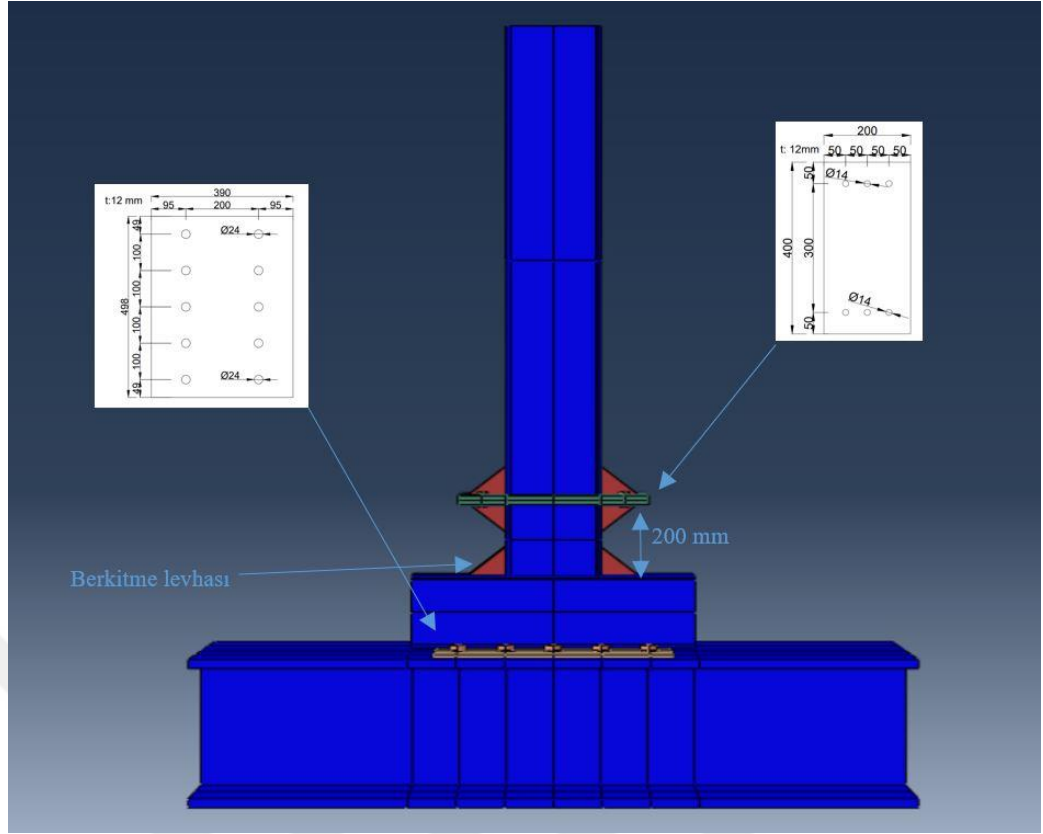
Şekil 3.6. Exp düz kaynak numunesinin geometrik şekli



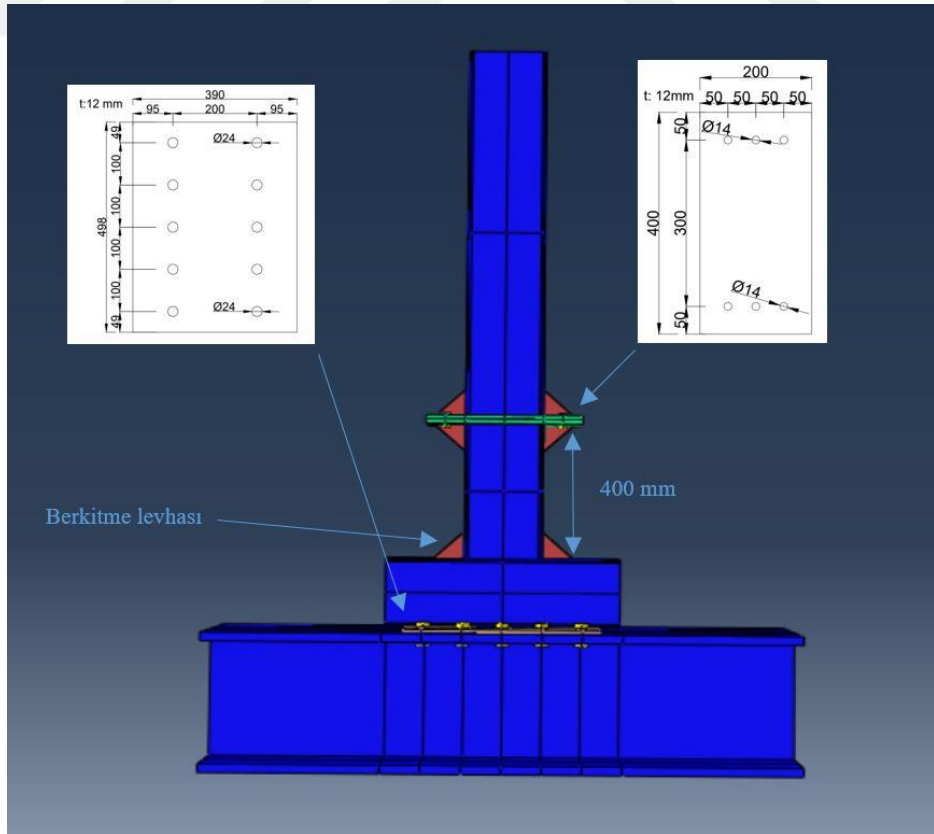
Şekil 3.7. Exp-perfect numunesinin geometrik şekli



Şekil 3.8. Exp H200 numunesinin geometrik şekli

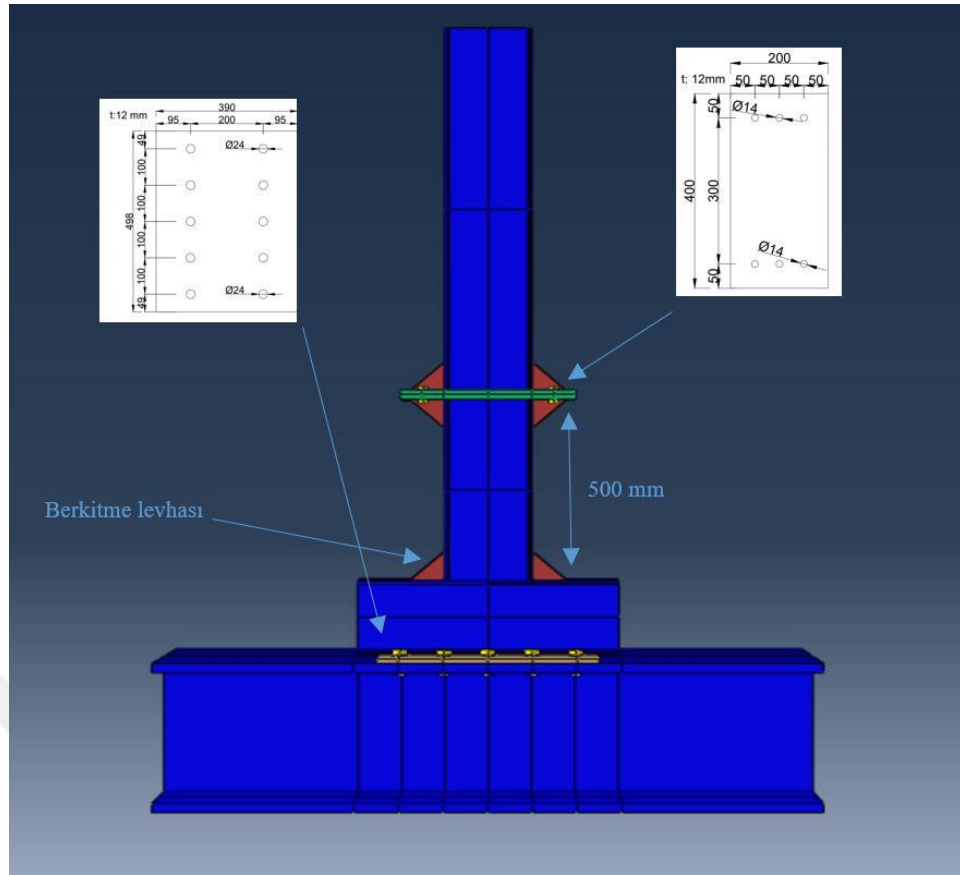


Şekil 3.9. Exp H300 numunesinin geometrik şekli

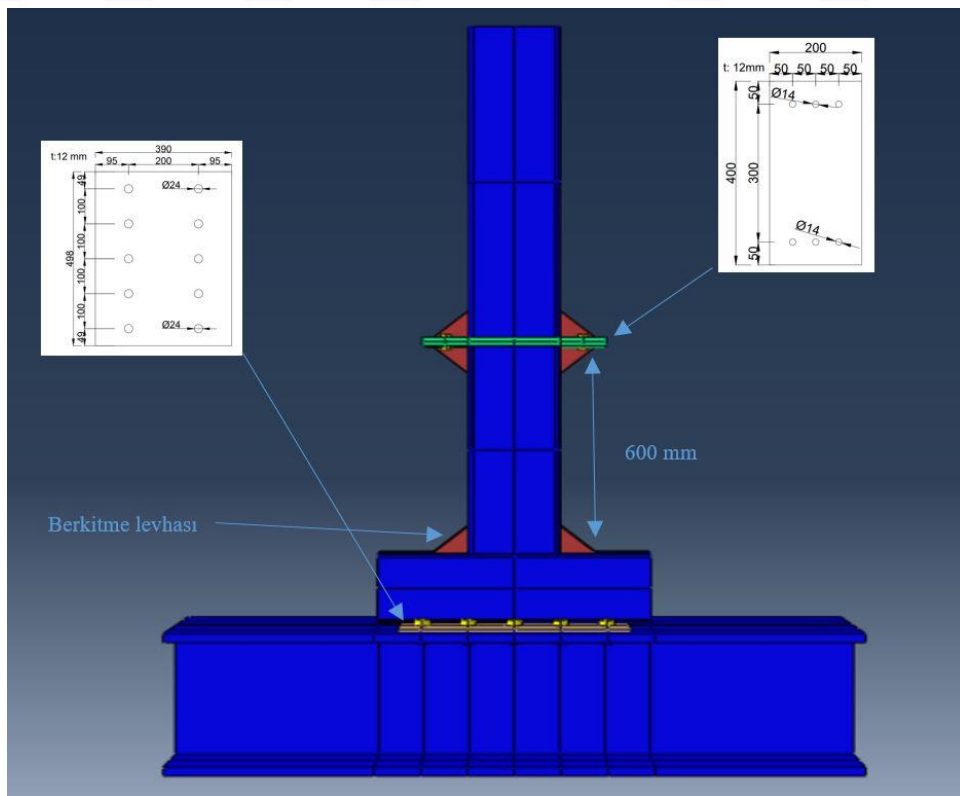


Şekil 3.10. Exp H400 numunesinin geometrik şekli

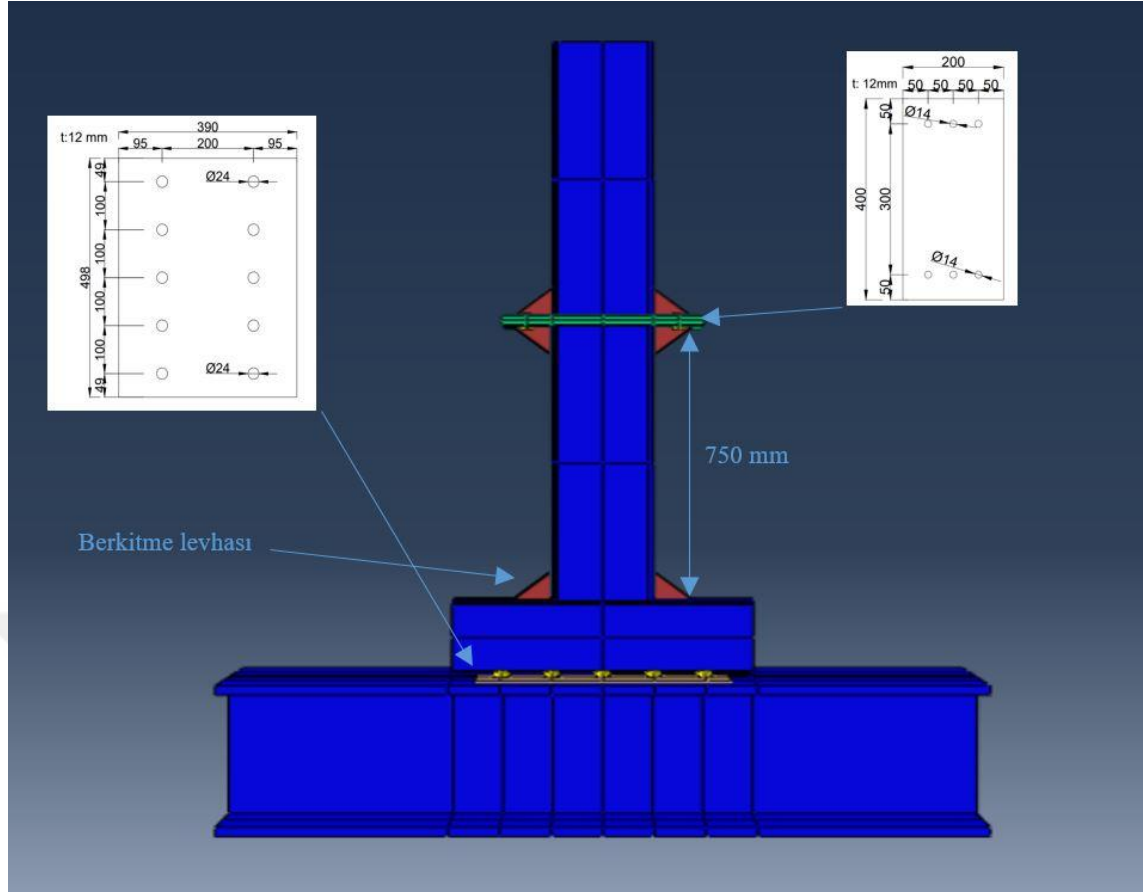
3. MATERYAL ve YÖNTEM



Şekil 3.11. Exp H500 numunesinin geometrik şekli



Şekil 3.12. Exp H600 numunesinin geometrik şekli



Şekil 3.13. Exp H750 numunesinin geometrik şekli

3.5. Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Deney numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla toplamda 6 çekme kupası testi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, yapısal çelik malzemesinin kupada gerilme testi UNE-EN 10002-11504-2 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Daha sonra, bu testler 150 kN kapasiteli Instron makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan eksenle çekme testlerinin sonuçları Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.3. Yapısal çelikler için ortalama karakteristik değerler

	RHS200 *100*5-1	RHS200 *100*5-1	RHS200 *100*5-1	Avrage	PF- RHS200 *100*5-1	PF- RHS200 *100*5-1	PF- RHS200 *100*5-1	Avrage
E (MPa)	195550	199555	198911	198005.3	189911	187199	188243	188451
f_y (MPa)	349.19	343.08	326.56	339.61	282.42	278.43	274.69	278.51
f_u (MPa)	508.53	512.86	513.87	511.75	440.71	394.21	381.43	405.45
$\rho_y = \frac{f_y}{f_u}$	0.68	0.67	0.64	0.66	0.64	0.71	0.72	0.69

E= Elastite Modülü, **f_y**= Akma Dayanımı, **f_u**= Çekme Dayanımı

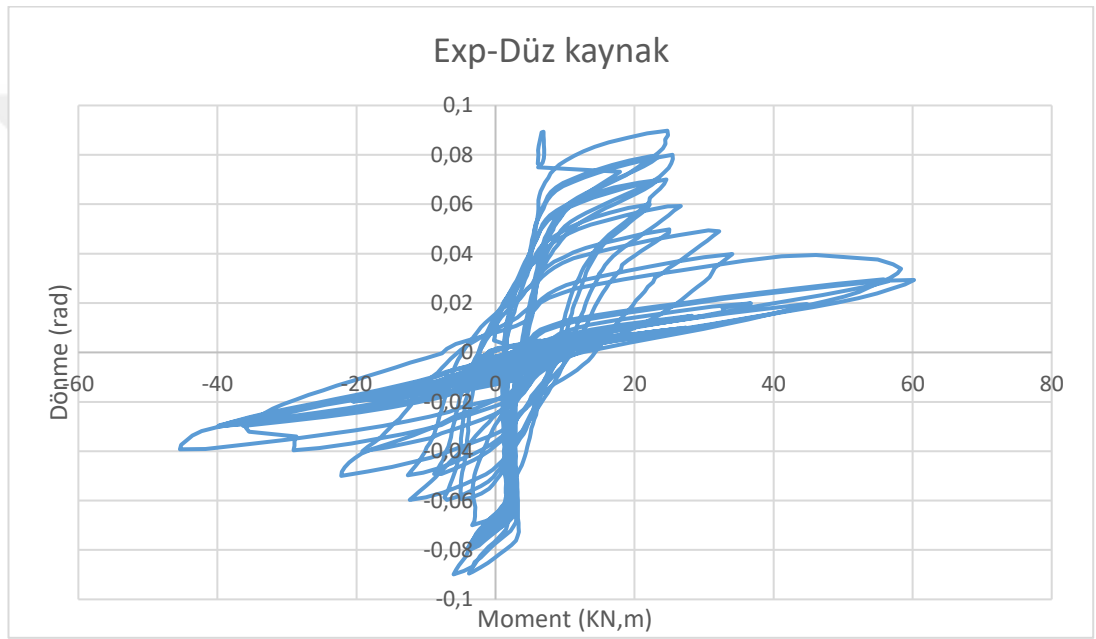


Şekil 3.14. Çekme kupası testi ve test numunesi

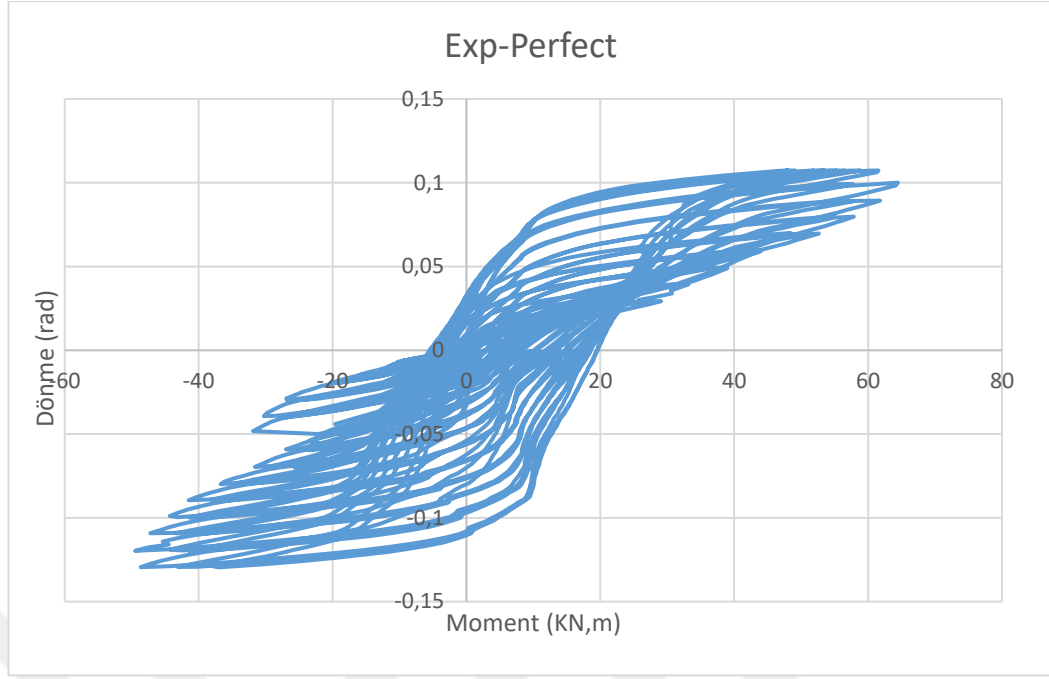
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1 Deney Sonuçları

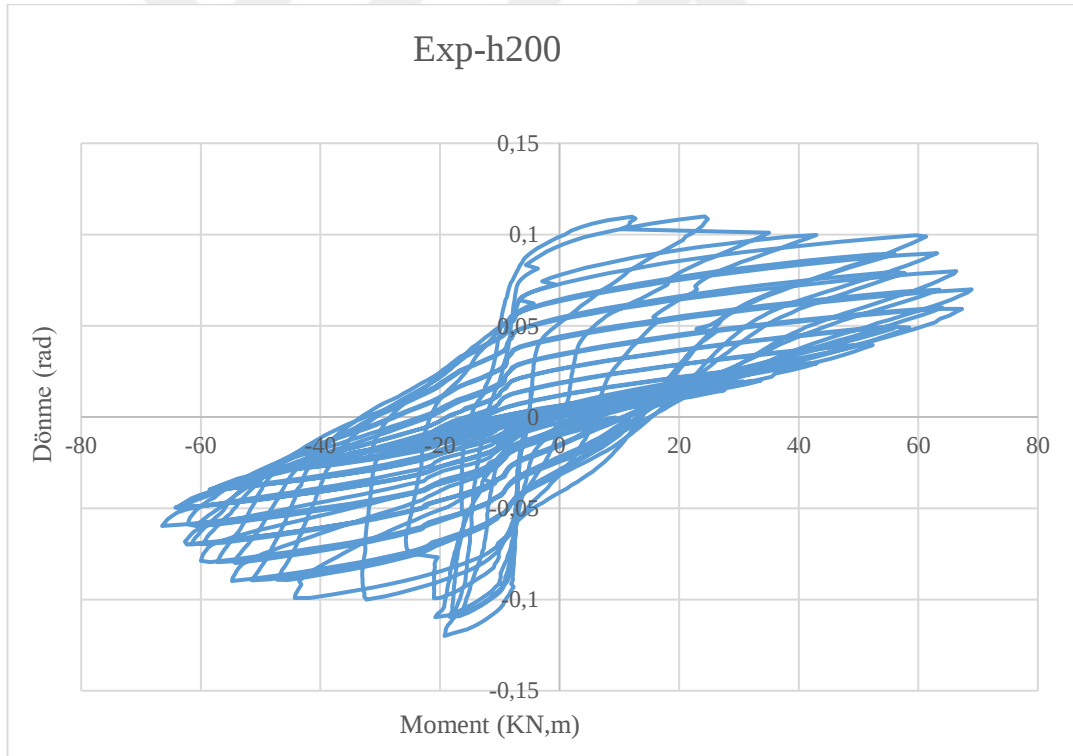
Bu çalışmada kutu kesitli kolon kiriş elemanların döngüsel yükler altında davranışları incelenmiştir. Toplamda 8 deney yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda moment-dönme eğrileri çizilmiş, maksimum moment dayanımları ve maksimum yer değiştirmeleri incelenmiştir.



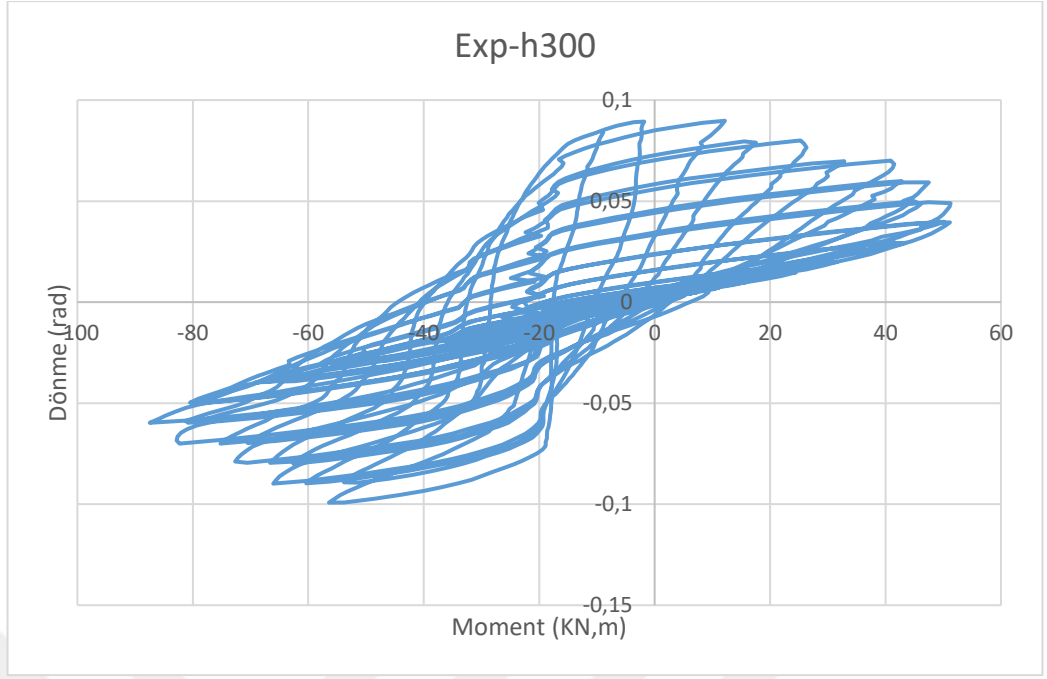
Şekil 4.1. Dene EXP-Düz kaynak deney numunesinin moment-dönme grafiği



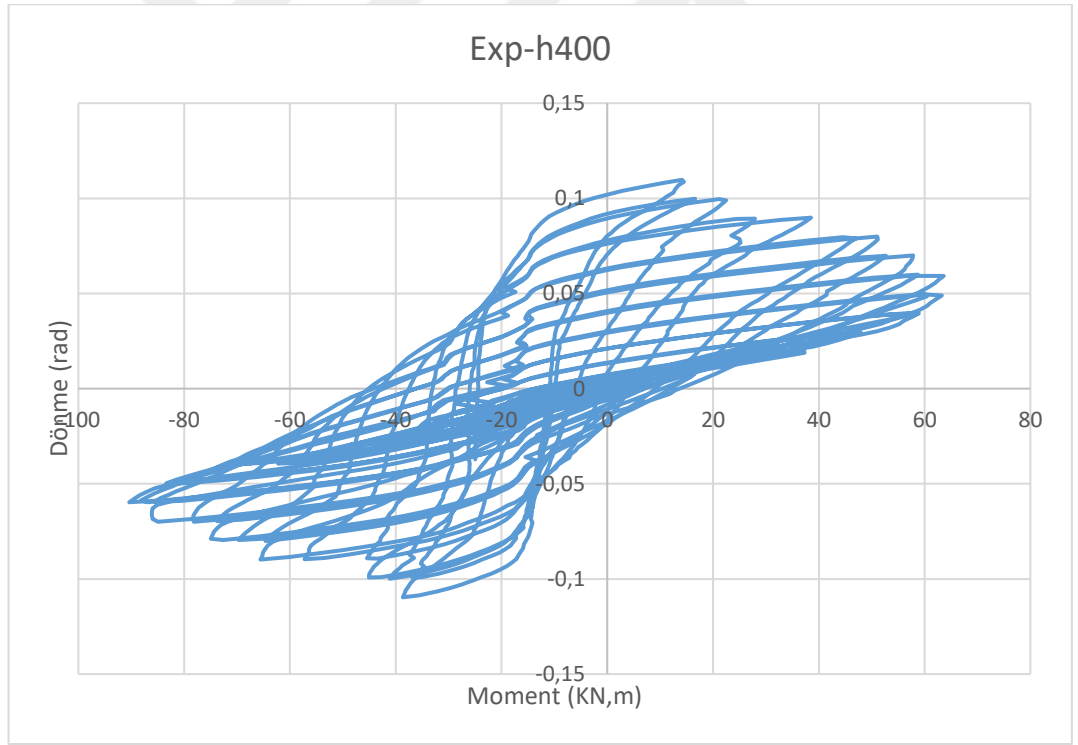
Şekil 4.2. EXP-PERFECT deney numunesinin moment-dönme grafiği



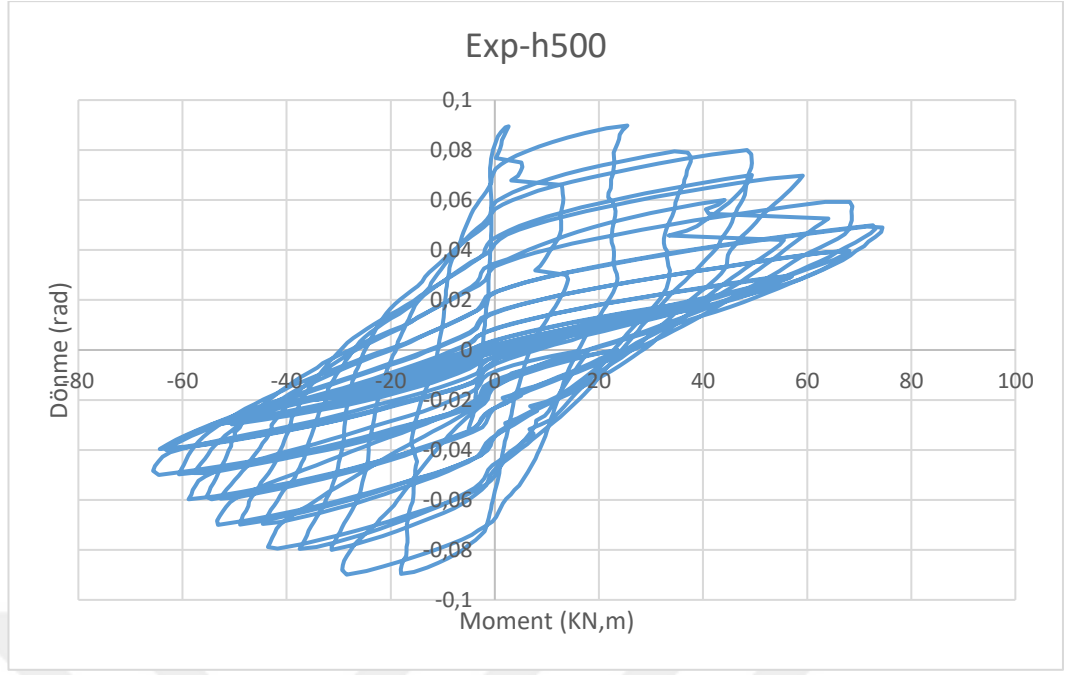
Şekil 4.3. EXP-H200 deney numunesinin moment-dönme grafiği



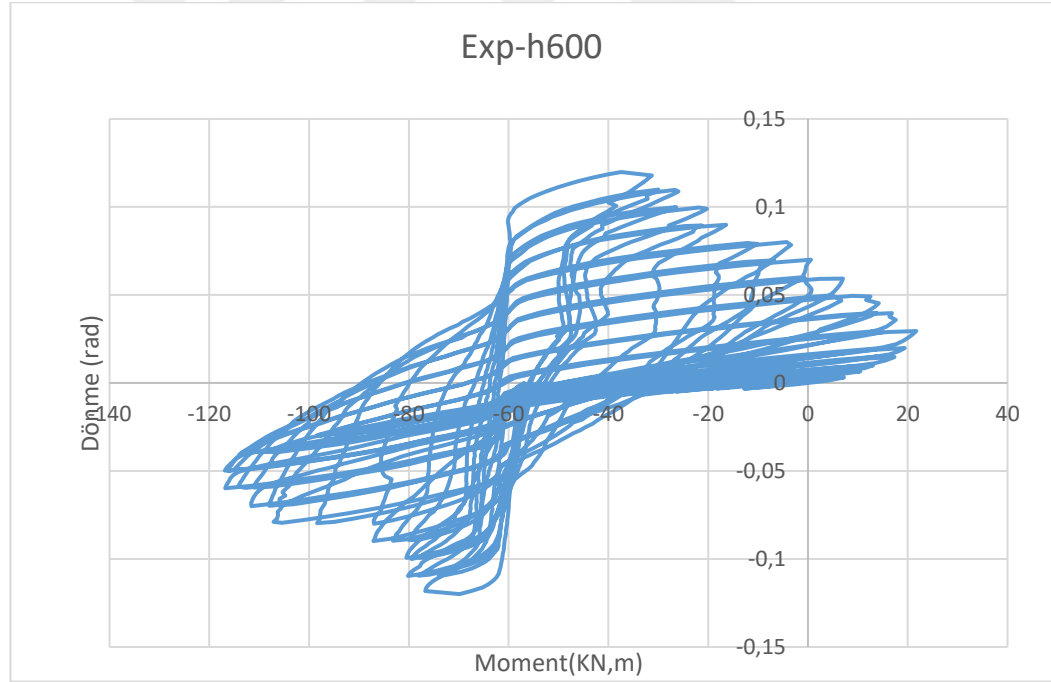
Şekil 4.4. EXP-H300 deney numunesinin moment-dönme grafiği



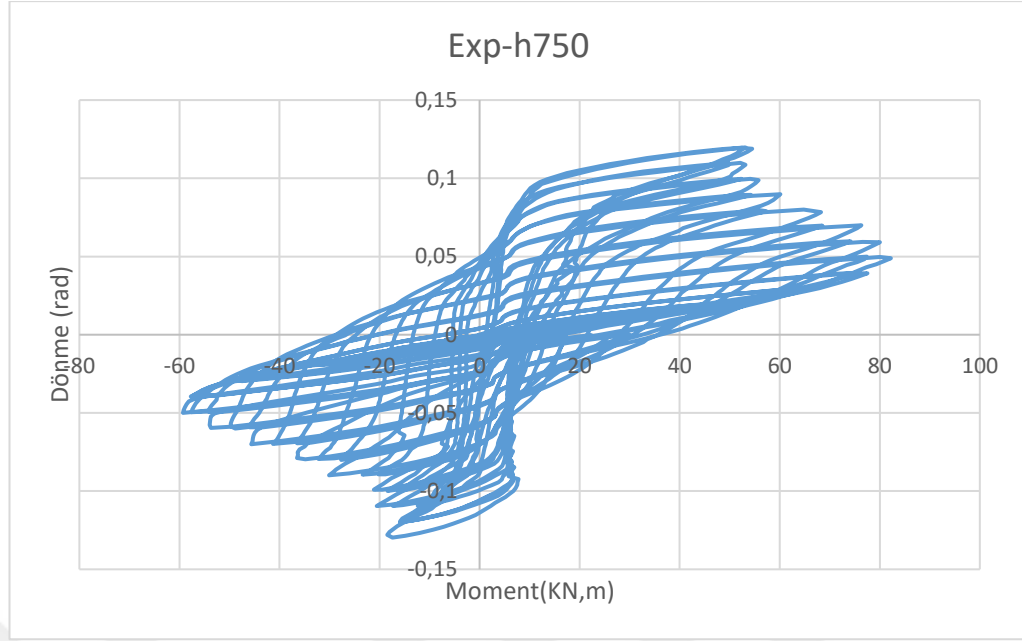
Şekil 4.5. EXP-H400 deney numunesinin moment-dönme grafiği



Şekil 4.6. EXP-500 deney numunesinin moment-dönme grafiği



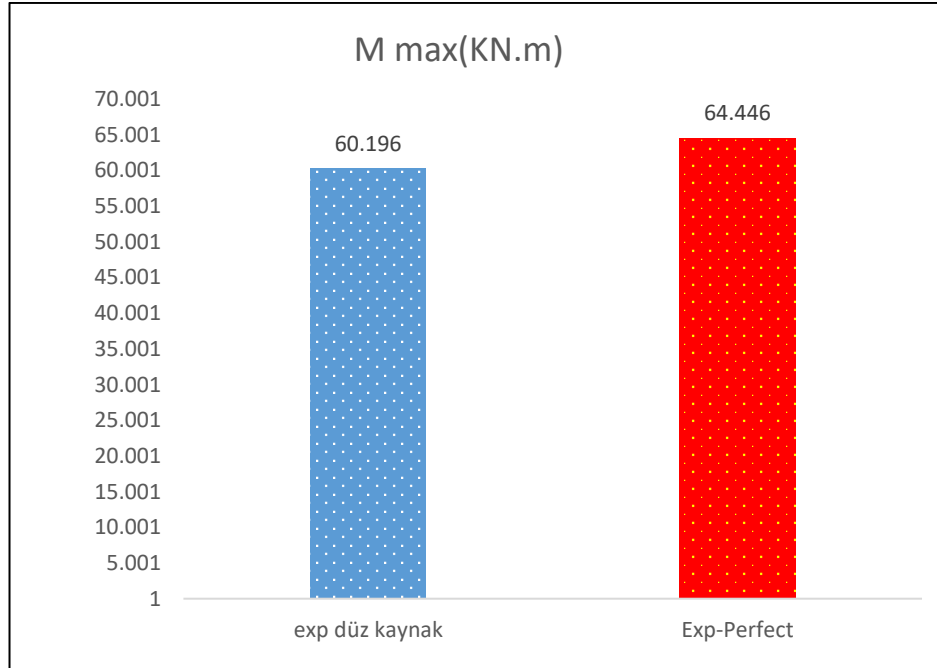
Şekil 4.7. EXP-600 deney numunesinin moment-dönme grafiği



Şekil 4.8. EXP-750 deney numunesinin moment-dönme grafiği

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

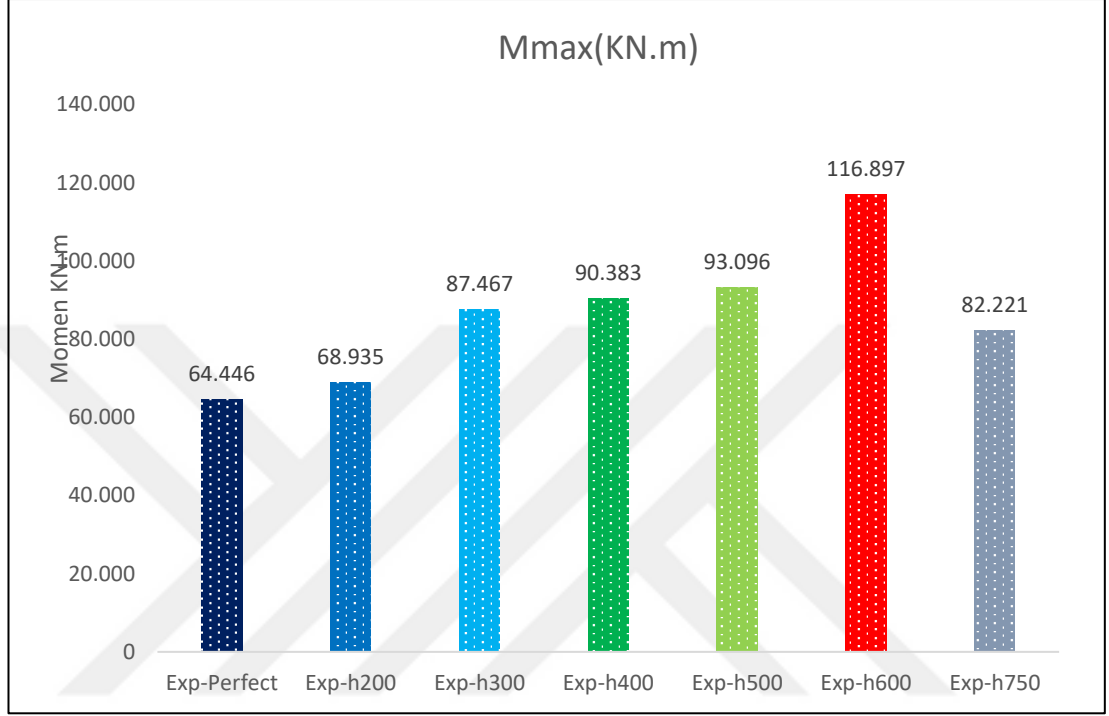
Deneyler numunelerinde berkitme levhası ve alın levhasının moment-dönme ve kuvvet etkileri aşağıdaki tablolarda karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.9. Kutu kesitli kolon kiriş birleşiminde berkitmenin momente etkisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.9'a bakıldığında birleşimde berkitme levhasının kullanılmadığı exp düz kaynak numunesinin M_{max} 60,196 KN.m'dir. Berkitme levhası kullanılan exp perfect numunesi M_{max} değeri kullanılmayan exp düz kaynak numunesine göre %7,06 oranında artışla 64,446 KN.m olmuştur.



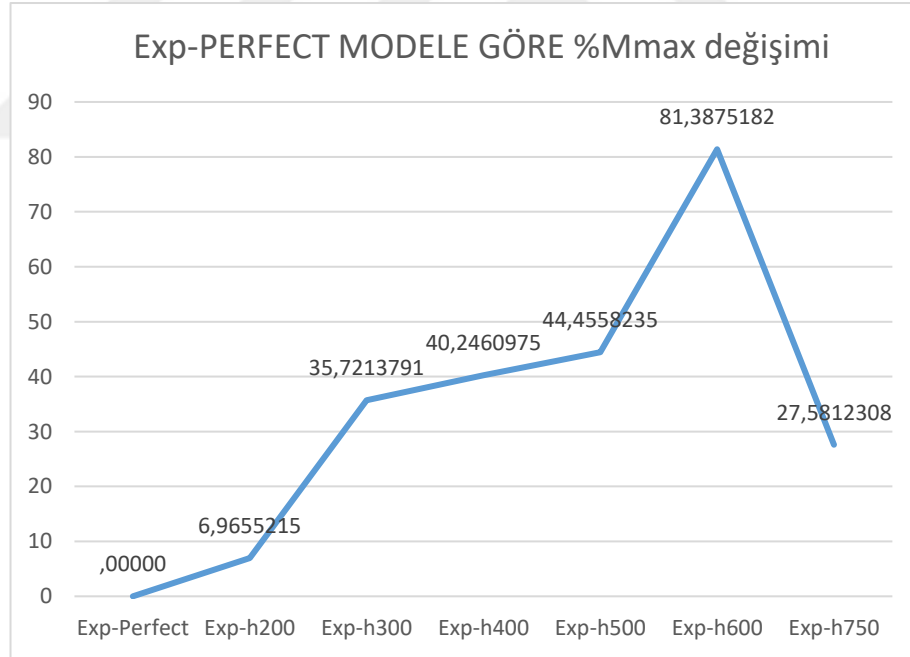
Şekil 4.10. Alın levhasının kutu kolon birleşiminin momente etkisi

Şekil 4.10'a bakıldığında maksimum momentin en düşük olduğu 64,446 KN.m değerle exp perfect numunesine aittir. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 200mm uzakta olan exp h200 numunesi exp perfect numunesine göre maksimum moment %6,96 artarak 68,935 KN.m olmuştur. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 300mm uzakta olan exp h200 numunesi exp perfect numunesine göre maksimum moment %35,7 artarak 87,467 KN.m olmuştur. Ayrıca exp h300 numunesi exp h200 numunesine göre de maksimum moment %26,8'lik artış göstermiştir. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 400mm uzakta olan exp h400 numunesi exp perfect numunesine göre maksimum moment %40,2 artarak 90,383 KN.m olmuştur. Ayrıca exp h400 numunesi exp h300 numunesine göre de maksimum moment %3,34 lük artış göstermiştir. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 500mm uzakta olan exp h500 numunesi exp perfect numunesine göre maksimum moment

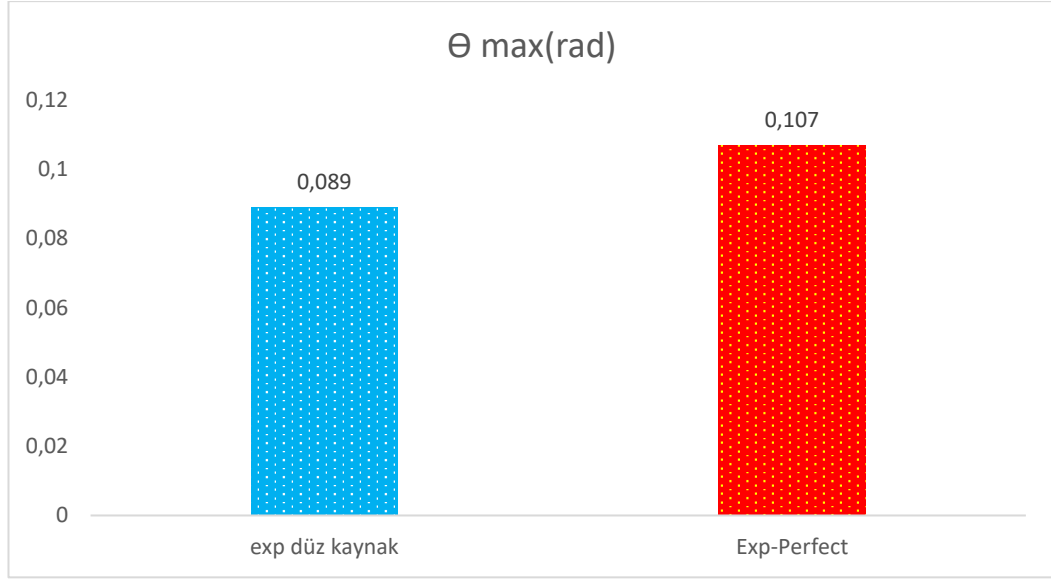
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

%44,4 artarak 93,096 KN.m olmuştur. Ayrıca exp h500 numunesi exp h400 numunesine göre de maksimum moment %3,00 lük artış göstermiştir. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 600mm uzakta olan exp h600 numunesi exp perfect numunesine göre maksimum moment %81,4 artarak 116,897 KN.m olmuştur. Ayrıca exp h600 numunesi exp h500 numunesine göre de maksimum moment %25,5'lik artış göstermiştir. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 750mm uzakta olan exp h750 numunesi exp perfect numunesine göre maksimum moment %27,6 artarak 82,221 KN.m olmuştur. Ayrıca exp h750 numunesi exp h600 numunesine göre de maksimum moment %29,7 azalmıştır.

Sonuç olarak Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'a bakıldığında berkitme levhasının ve alın levhasının varlığı maksimum momenti artırmıştır. Alın levhasının kolon kiriş birleşiminden olan uzaklığı 600 mm ya kadar artırıldığında maksimum momente artmaktadır ancak 600mm geçtikten sonra maksimum moment azalmıştır.

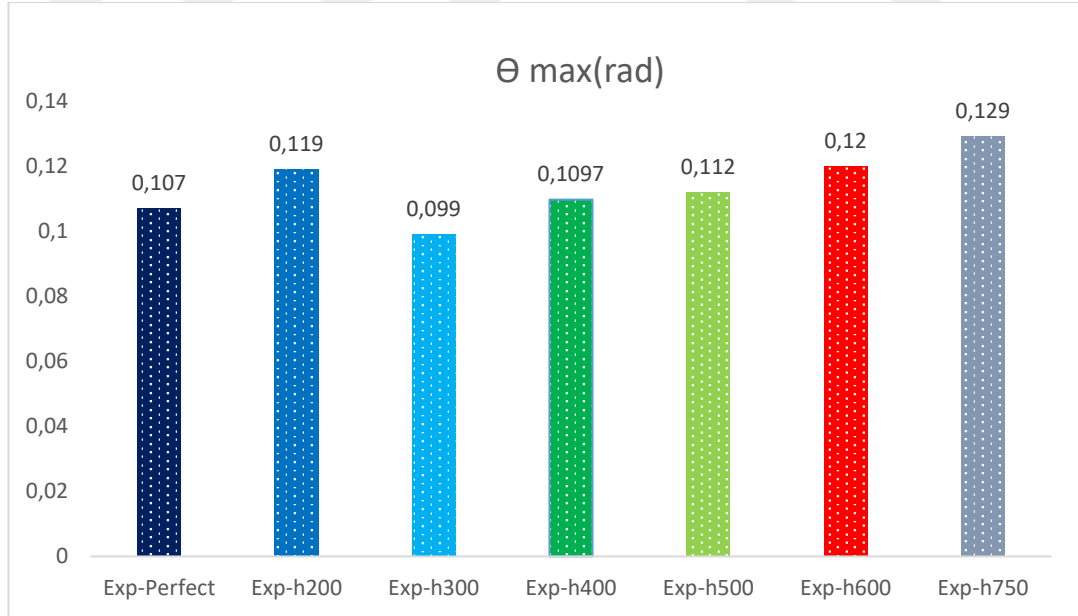


Şekil 4.11. Maksimum momentin perfect modele göre yüzde değişimi



Şekil 4.12. Kutu kesitli kolon kiriş birleşiminde berkitmenin dönmeye etkisi

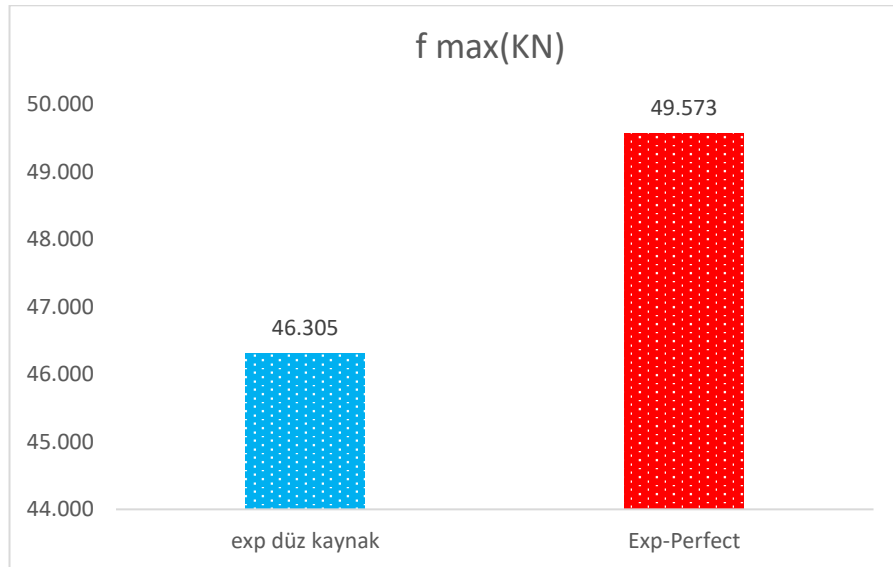
Şekil 4.12’ye bakıldığında birleşimde berkitme levhasının kullanılmadığı exp düz kaynak numunesinin maksimum dönmesi 0,089 radyandır. Berkitme levhası kullanılan exp perfect numunesi maksimum dönme değeri kullanılmayan exp düz kaynak numunesine göre %20,2 oranında artışla 0,107 radyan olmuştur.



Şekil 4.13. Alın levhasının kutu kolon birleşiminin dönmeye etkisi

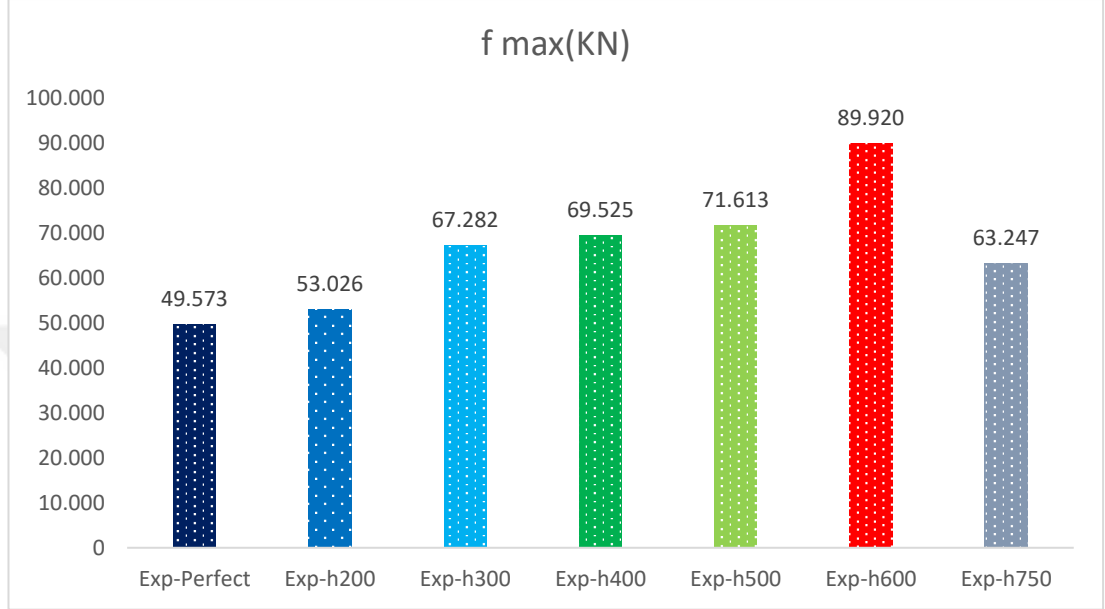
Şekil 4.13’e bakıldığında exp perfect numunesinin maksimum dönmesi 0,107radyandır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 200mm uzakta olan exp h200 numunesinin exp perfect numunesine göre maksimum

dönmesi %11,2 artarak 0,119 radyan olmuştur. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 300mm uzakta olan exp h300 numunesinin exp perfect numunesine göre maksimum dönmesi %7,5 azalarak 0,099 radyan olmuştur. Ayrıca exp h300 numunesi exp h200 numunesine göre de maksimum dönmesi %20,2 azalmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 400mm uzakta olan exp h400 numunesinin exp perfect numunesine göre maksimum dönmesi %2,5 artarak 0,1097radyan olmuştur. Ayrıca exp h400 numunesinin exp h300 numunesine göre de maksimum dönmesi %11,03 artmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 500mm uzakta olan exp h500 numunesi exp perfect numunesine göre maksimum dönmesi %4,67 artarak 0,112 radyan olmuştur. Ayrıca exp h500 numunesinin exp h400 numunesine göre de maksimum dönmesi %2,09 artmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 600mm uzakta olan exp h600 numunesi exp perfect numunesine göre maksimum dönmesi %12,1 artarak 0,120 radyan olmuştur. Ayrıca exp h600 numunesinin exp h500 numunesine göre de maksimum dönmesi %7,14 artmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 750mm uzakta olan exp h750 numunesi exp perfect numunesine göre maksimum dönmesi %20,5 artarak 0,129 radyan olmuştur. Ayrıca exp h750 numunesinin exp h600 numunesine göre de maksimum dönmesi %7,5 artmıştır.



Şekil 4.14. Kutu kesitli kolon kiriş birleşiminde berkitmenin kuvvete etkisi

Şekil 4.14'e bakıldığında birleşimde berkitme levhasının kullanılmadığı exp düz kaynak numunesinin taşıdığı maksimum kuvveti 46,305 KN'dir. Berkitme levhası kullanılan exp perfect numunesinin taşıdığı maksimum kuvvet değeri kullanılmayan exp düz kaynak numunesine göre %6,6 oranında artarak 49,573 KN olmuştur.



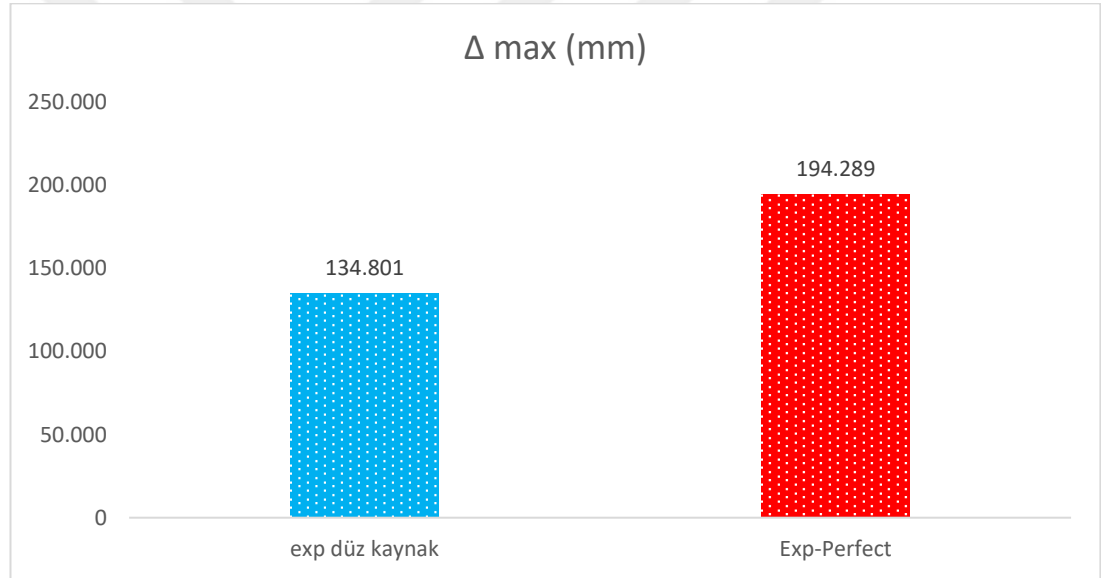
Şekil 4.15. Alın levhasının kutu kolon birleşiminin kuvvete etkisi

Şekil 4.15'e bakıldığında exp perfect numunesinin taşıdığı maksimum kuvvet 49,573 KN'dir. Exp h200 numunesinin taşıdığı maksimum kuvveti 53,026 KN'dir. Exp h200 numunesi exp perfect numunesine göre taşıdığı maksimum kuvvet %6,96 daha fazladır. Exp h300 numunesinin taşıdığı maksimum kuvveti 67,282 KN'dir. Exp h300 numunesi exp perfect numunesine göre taşıdığı maksimum kuvvet %35,7 daha fazladır. Ayrıca exp h300 numunesi exp h200 numunesine göre de taşıdığı maksimum kuvvet %26,8 fazladır. Exp h400 numunesinin taşıdığı maksimum kuvveti 69,525 KN'dir. Exp h400 numunesi exp perfect numunesine göre taşıdığı maksimum kuvvet %42,84 daha fazladır. Ayrıca exp h400 numunesi exp h300 numunesine göre de taşıdığı maksimum kuvvet %3,34 daha fazladır. Exp h500 numunesinin taşıdığı maksimum kuvveti 71,613 KN'dir. Exp h500 numunesi exp perfect numunesine göre taşıdığı maksimum kuvvet %44,4 daha fazladır. Ayrıca exp h500 numunesi exp h400 numunesine göre de taşıdığı maksimum kuvvet %3,00 daha fazladır. Exp h600 numunesinin taşıdığı maksimum kuvveti 89,920 KN'dir. Exp h600 numunesi exp perfect numunesine göre taşıdığı maksimum kuvvet %81,4 daha fazladır. Ayrıca exp

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

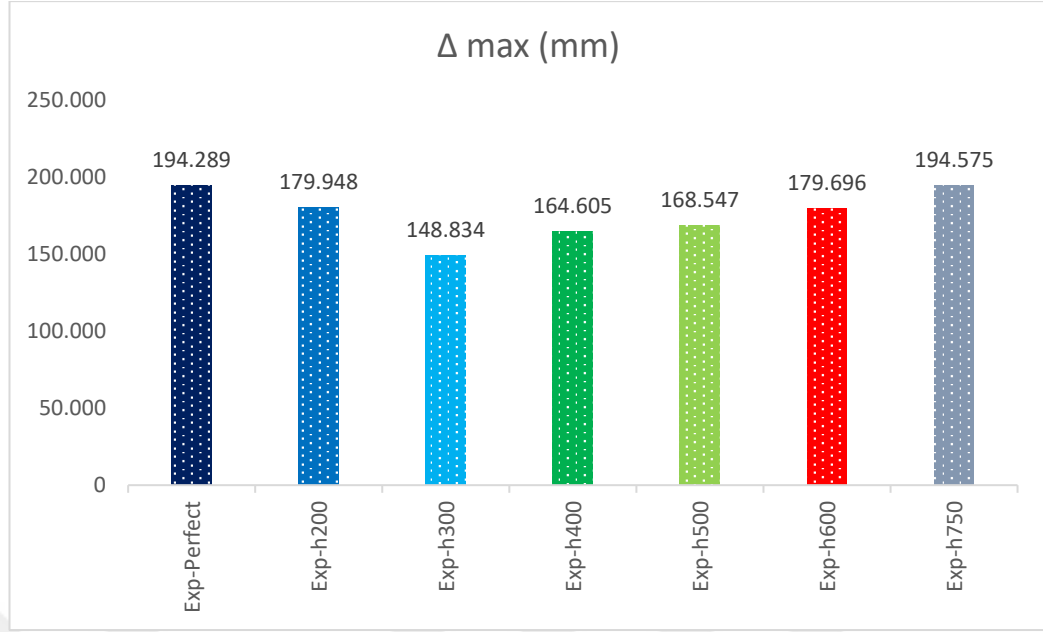
h600 numunesi exp h500 numunesine göre de taşıdığı maksimum kuvvet %25,5 daha fazladır. Exp h750 numunesinin taşıdığı maksimum kuvveti 63,247 KN'dir. Exp h750 numunesi exp perfect numunesine göre taşıdığı maksimum kuvvet %27,6 daha fazladır. Ayrıca exp h750 numunesi exp h600 numunesine göre de taşıdığı maksimum kuvvet %29,7 azalmıştır.

Sonuç olarak Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'e bakıldığında berkitme levhasının ve alın levhasının numunelerin taşıdığı maksimum yükü artırmıştır. Alın levhasının kolon kiriş birleşiminden olan uzaklığı 600 mm ya kadar artırıldığında numunelerin taşıdığı maksimum kuvvet artmaktadır ancak 600mm geçtikten sonra numunenin taşıdığı maksimum kuvvet azalmıştır.



Şekil 4.16. Kutu kesitli kolon kiriş birleşiminde berkitmenin yer değiştirmeye etkisi

Şekil 4.16'ya bakıldığında birleşimde berkitme levhasının kullanılmadığı exp düz kaynak numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirmesi 134,801mm'dir. Berkitme levhası kullanılan exp perfect numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirmesi 194,289 mm'dir. Berkitme levhası kullanılan exp perfect numunesi ile kullanılmayan exp düz kaynak numunesi karşılaştırıldığında %44,1 oranla exp perfect numunesi maksimum yük altında daha fazla yer değiştirmiştir.



Şekil 4.17. Alın levhasının kutu kolon birleşiminin yer değiştirmeye etkisi

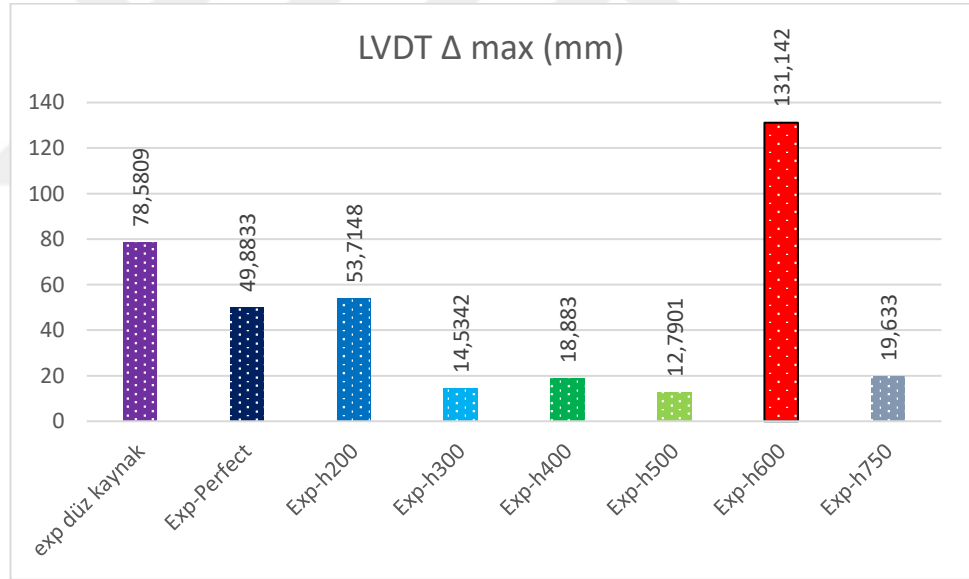
Şekil 4.17'ye bakıldığında exp perfect numunesi maksimum yük altındaki yer değiştirmesi 194,289 mm'dir. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 200mm uzakta olan exp h200 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirmesi 179,948mm'dir. Exp h200 numune exp perfect numunesi göre maksimum yük altında yer değiştirmesi %7,4 azalmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 300mm uzakta olan Exp h300 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirmesi 148,834 mm'dir. Exp 300 numune exp perfect numunesi göre maksimum yük altında yer değiştirmesi %23,4 azalmıştır. Ayrıca exp h300 numunesi exp h200 numunesine göre de maksimum yük altında yer değiştirmesi %17,3 azalmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 400mm uzakta olan Exp h400 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirmesi 164,605 mm'dir. Exp h400 numune exp perfect numunesi göre maksimum yük altında yer değiştirmesi %15,3 azalmıştır. Ayrıca exp h400 numunesi exp h300 numunesine göre de maksimum yük altında yer değiştirmesi %10,6 artmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 500mm uzakta olan Exp h500 numunesinin maksimum yük altındaki yer değiştirmesi 168,547 mm'dir. Exp h400 numune exp perfect numunesi göre maksimum yük altında yer değiştirmesi %13,2 azalmıştır. Ayrıca exp h500 numunesi exp h400 numunesine göre de maksimum yük altında yer değiştirmesi %2,4 artmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 600mm uzakta olan Exp h600 numunesinin maksimum yük

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

altındaki yer değıştirmesi 179,696 mm'dir. Exp h600 numune exp perfect numunesi göre maksimum yük altında yer değıştirmesi %7,5 azalmıştır. Ayrıca exp h600 numunesi exp h500 numunesine göre de maksimum yük altında yer değıştirmesi %6,6 artmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 750mm uzakta olan Exp h750 numunesinin maksimum yük altındaki yer değıştirmesi 194,575 mm'dir. Exp h750 numune exp perfect numunesi göre maksimum yük altında yer değıştirmesi %0,1 artmıştır. Ayrıca exp h750 numunesi exp h600 numunesine göre de maksimum yük altında yer değıştirmesi %8,2 artmıştır.

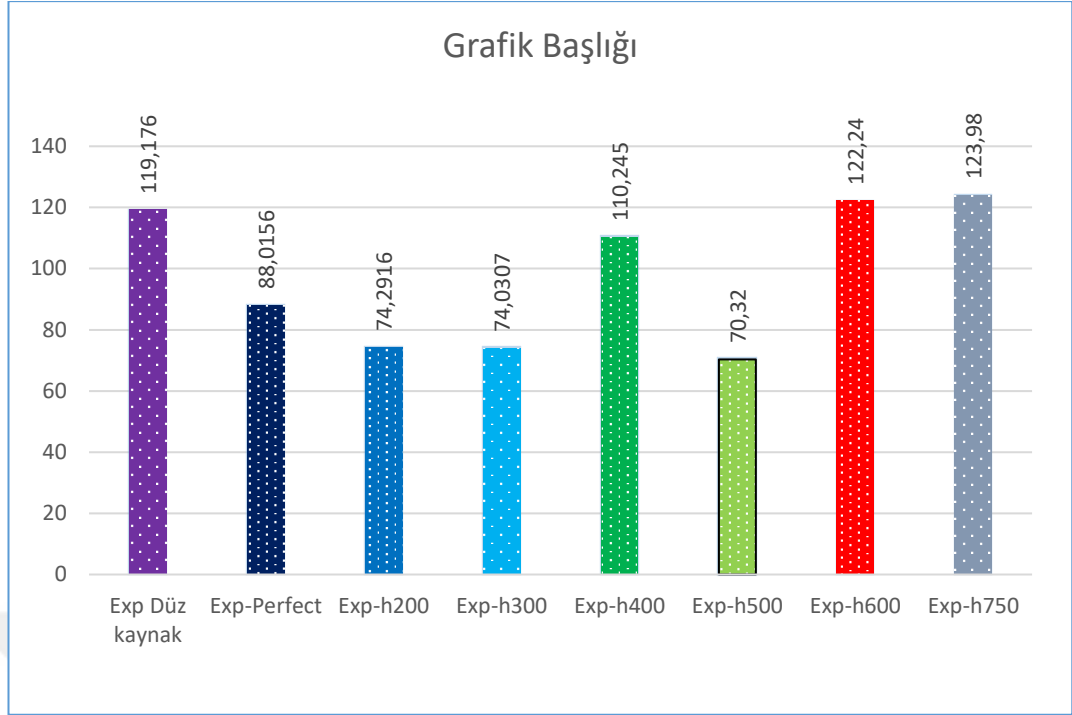
4.3. Deformasyon Ölçme Cihazların Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kolondan olan uzaklığı kiriş boyunun 1/5 mesafesinde bulunan doğrusal değışken diferansiyel çeviriciden alınan sonuçlar Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



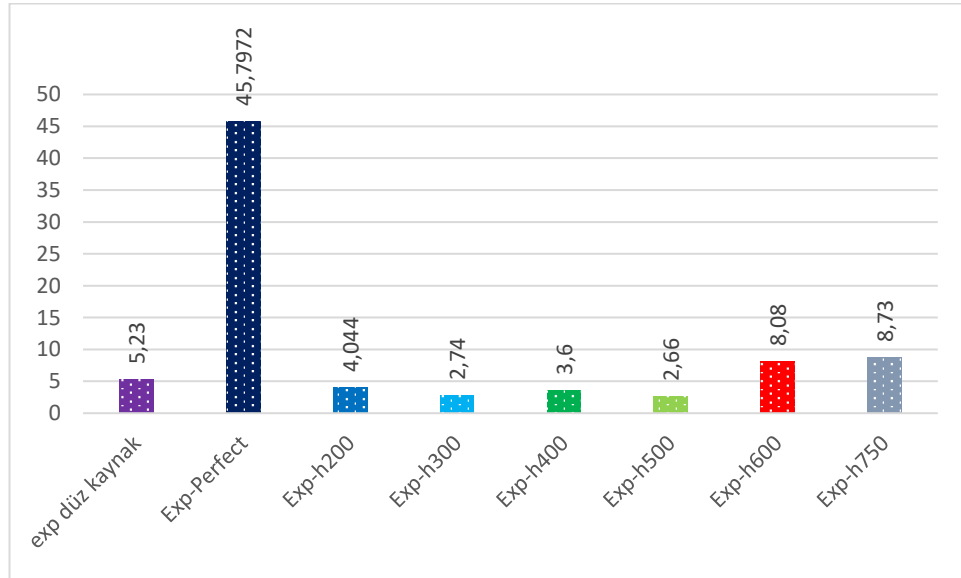
Şekil 4.18. 2 Numaralı Doğrusal Değişken Diferansiyel Çeviricisi (LVDT) cihazından alınan yer değıştirmeler

Kolondan uzaklığı kiriş boyunun 3/5 mesafesinde bulunan doğrusal değışken diferansiyel çeviriciden alınan sonuçlar Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. 3 Numaralı Doğrusal Değişken Diferansiyel Çeviricisi (LVDT) cihazından alınan yer değiştirmeler

Kolonun uç kısmında bulunan 4 numaralı doğrusal değişken diferansiyel çeviriciden alınan sonuçlar Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



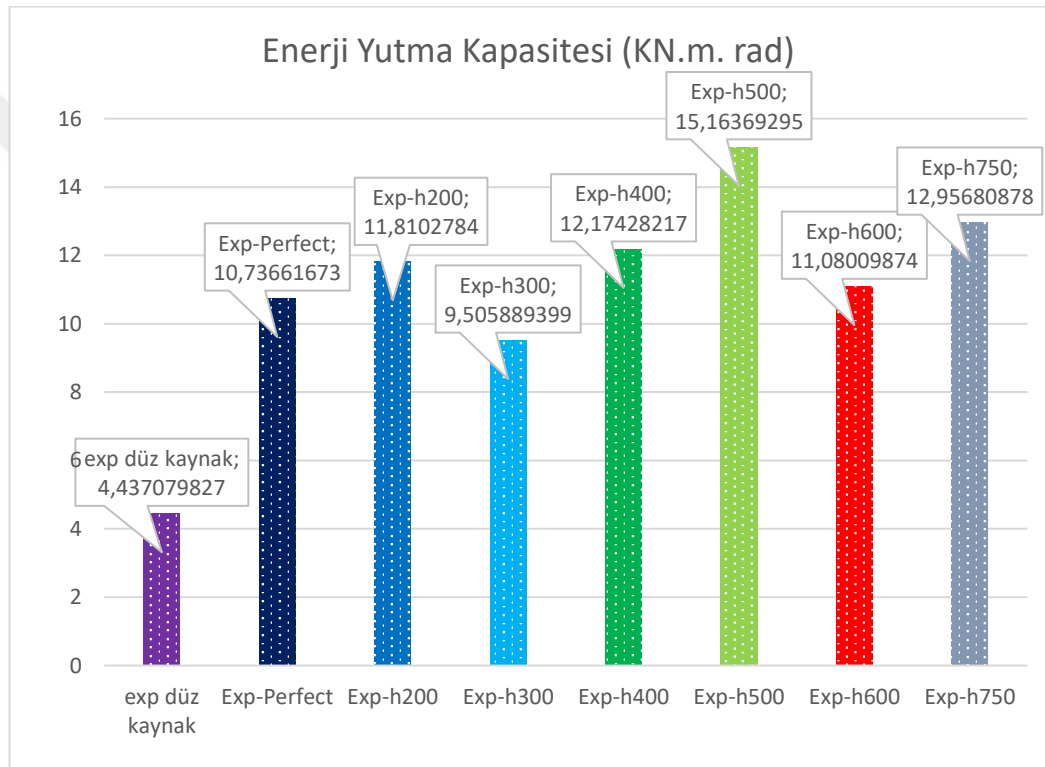
Şekil 4.20. 4 Numaralı Doğrusal Değişken Diferansiyel Çeviricisi (LVDT) cihazından alınan yer değiştirmeler

Kolonun ucunda bulunan 4 numaralı doğrusal değişken diferansiyel çeviriciden alınan sonuçlar dikkate alınırsa Exp-Perfect numunesinde kolonun ucunda

diğer numunelere kat ve kat fazladır. Exp-perfect numunesinde diğer numunelere göre kirişten gelen yüklerin kolona iletildiğine ve kolonun uç kısmının daha fazla hareket etmesine neden olduğu söylenebilir.

4.4. Enerji Yutma Kapasiteleri

Enerji yutma kapasitesi, deneyde uygulanan döngüsel yükleme sırasında oluşan dönme-moment histerezis döngüsünün alanlarının toplamıdır (Guo 2023).



Şekil 4.21. Enerji yutma kapasiteleri

Enerji yutma kapasitelerine bakılarak; berkitme levhasının olmadığı Exp Düz kaynak numunesinin berkitme levhası kullanılan numunelere nazaran enerji yutma kapasitesi çok düşük olmuştur. Alın levhası kullanılmayan iki numune karşılaştırıldığında (Exp Düz kaynak ve Exp-Perfect) berkitme kullanılan Exp-Perfect numunesi kullanılmayan Exp Düz kaynak numunesine göre %141 oranında daha fazladır.

Alın levhası bulunmayan Exp-perfect numunesinin enerji yutma kapasitesi 10,74 KN.m.rad'dır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 200mm uzakta olan Exp 200 numunesinin enerji yutma kapasitesi 11,81 KN.m.rad'dır. Exp h200 numunesi Exp perfect numunesine göre %10,1 daha fazla enerji absorbe etmiştir. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 300mm uzakta olan Exp h300 numunesinin enerji yutma kapasitesi 9,51 KN.m.rad'dır. Exp h300 numunesi Exp perfect numunesi göre enerji yutma kapasitesi %11,5 azalmıştır. Exp h300 numunesi Exp h200 numunesine göre enerji yutma kapasitesi %19,5 azalmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 400mm uzakta olan Exp h400 numunesinin enerji yutma kapasitesi 12,17 KN.m.rad'dır. Exp h400 numunesi exp perfect numunesine göre enerji yutma kapasitesi %13,3 artmıştır. Ayrıca exp h400 numunesi exp h300 numunesi göre enerji yutma kapasitesi %28,1 artmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 500mm uzakta olan Exp h500 enerji yutma kapasitesi 15,16 KN.m.rad'dır. Exp h500 numunesi Exp perfect numunesine göre enerji yutma kapasitesi %41,3 artmıştır. Ayrıca Exp h500 numunesi Exp h400 numunesine göre enerji yutma kapasitesi %24,6 artmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 600mm uzakta olan Exp h600 numunesinin enerji yutma kapasitesi 11,08 KN.m.rad 'dır. . Exp h600 numunesi Exp perfect numunesine göre enerji yutma kapasitesi %3,4 artmıştır. Ayrıca Exp h600 numunesi Exp h500 numunesine göre enerji yutma kapasitesi %26,9 azalmıştır. Alın levhasının kiriş üzerinde konumu kolon kiriş birleşiminden 750mm uzakta olan Exp h750 numunesinin enerji yutma kapasitesi 12,96 KN.m.rad 'dır. . Exp h750 numunesi Exp perfect numunesine göre enerji yutma kapasitesi %20,67 artmıştır. Ayrıca Exp h750 numunesi Exp h600 numunesine göre enerji yutma kapasitesi %16,9 artmıştır.

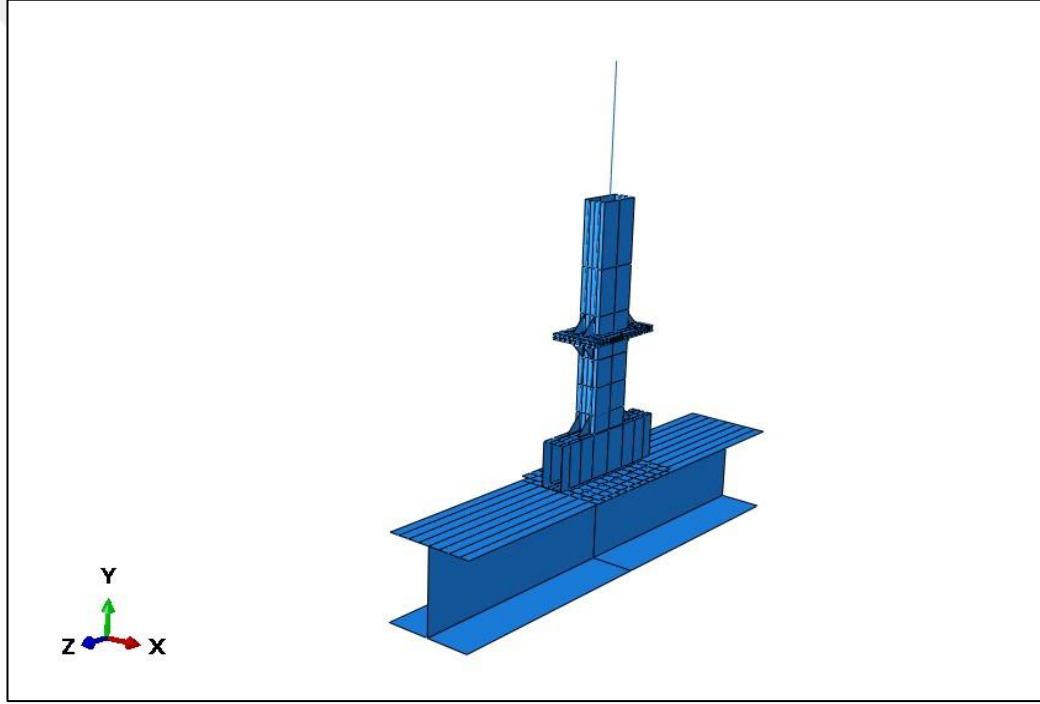
Sonuç olarak berkitme levhasının numunelerde kullanılması enerji yutma kapasitelerinin artırmıştır. Alın levhasının numunelerde kullanılması sadece Exp h300 (alın levhasının kiriş üzerindeki konumunun kiriş uzunluğunun 1/5' inde olması) enerji yutma kapasitesini azaltmıştır diğer numunelerde ise alın levhası kullanılmayan modele göre (exp perfect) enerji yutma kapasiteleri daha fazladır.

4.5. Sonlu Eleman Sayısal Model Yöntemi

Deneylerde kullanılan numuneler sonlu elemanlar yöntemi ile modellenip, analiz sonuçları paylaşılmıştır.

4.5.1. Sonlu elemanlar modeli

Deneylerde kullanılan numunelerin boyutları, malzeme özelliği, deneyde uygulanan yükleme dikkate alınarak üç boyutlu sonlu elemanlar numunesi ABAQUS (6.10) programı kullanılarak deney düzeneği oluşturulmuştur.



Şekil 4.22. ABAQUS programı ile modellenen deney numunesi

4.5.2. Mesh oluşturma

Deneylerde sonuçlarının daha iyi analiz edilebilmesi için kullanılan malzemenin sonlu elemanlar yönteminde çok iyi şekilde mesh oluşturulmalıdır. Mesh (ağ oluşturma) uygulanırken dikkat edilmesi gerekenler;

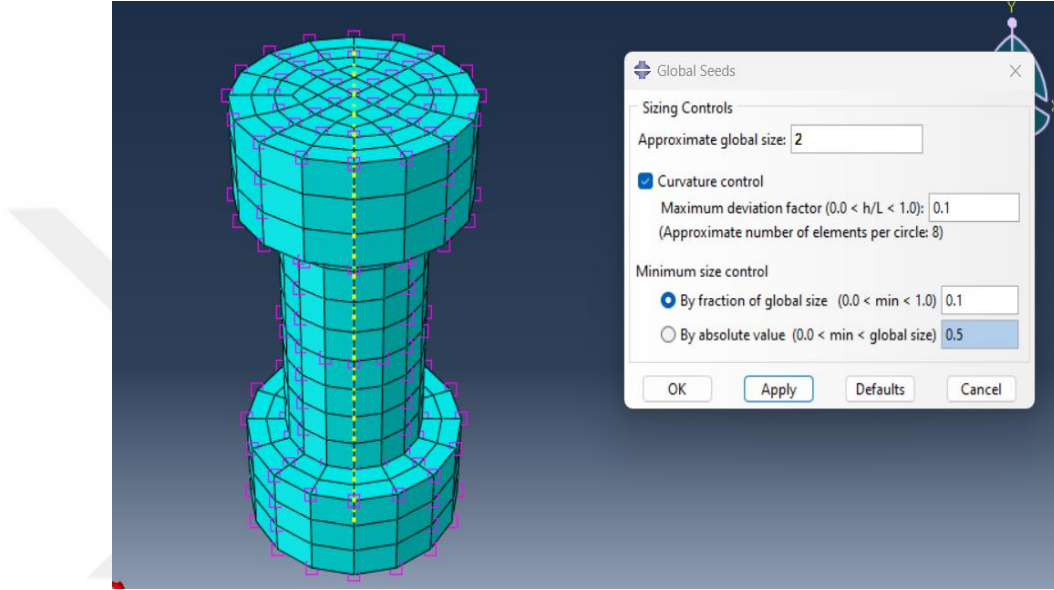
1. Meshlemenin üniform dağılımı.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

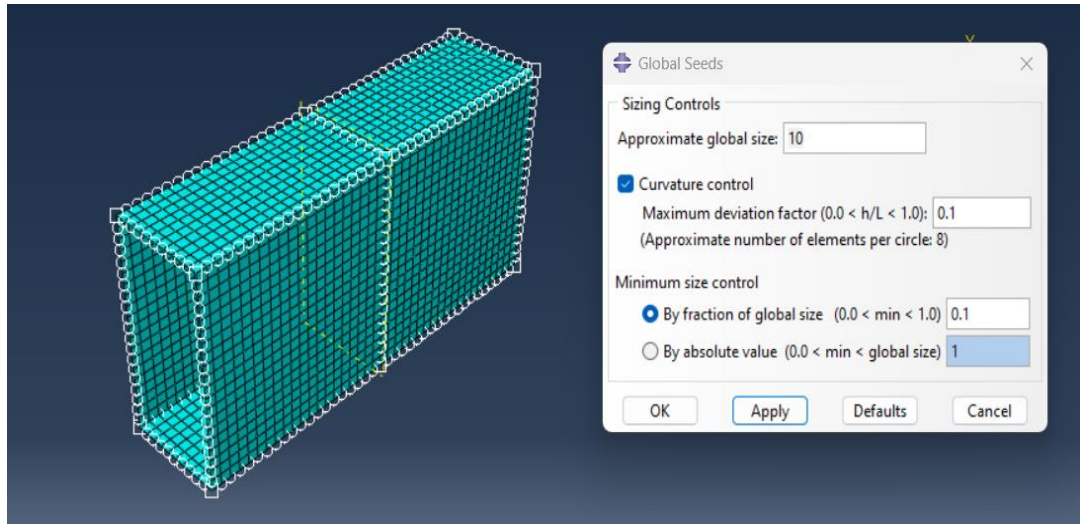
2. Eğrisel Yüzeylerde eleman seçimine dikkat edilmesi.
3. Yapının durumuna göre simetriden yararlanılması.

(<https://analizsimulasyon.com/mesh-olusturma-kriterleri/>)

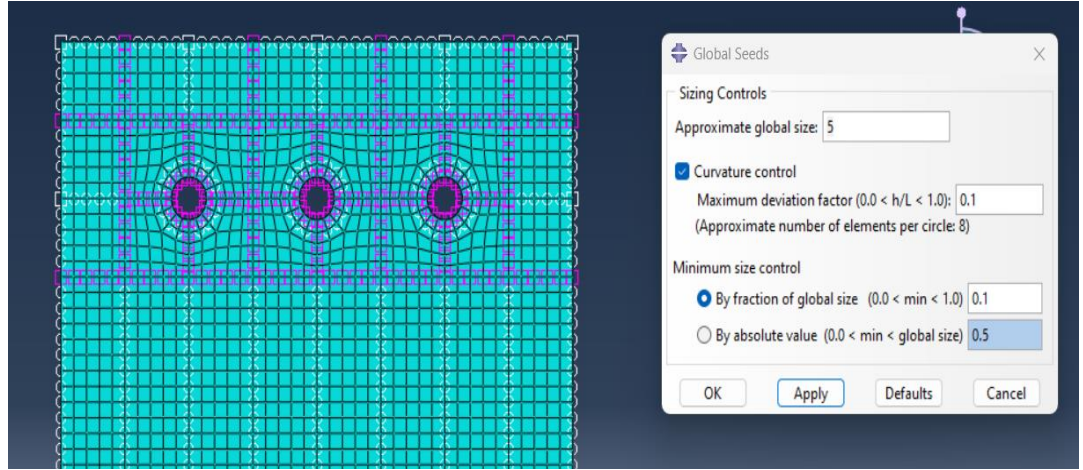
Kirişlerde ve kolon 10mm, alın levhasında 5 mm ve bulonlar 2mm (başlıkta ve gövdede değişiklik göstermektedir).



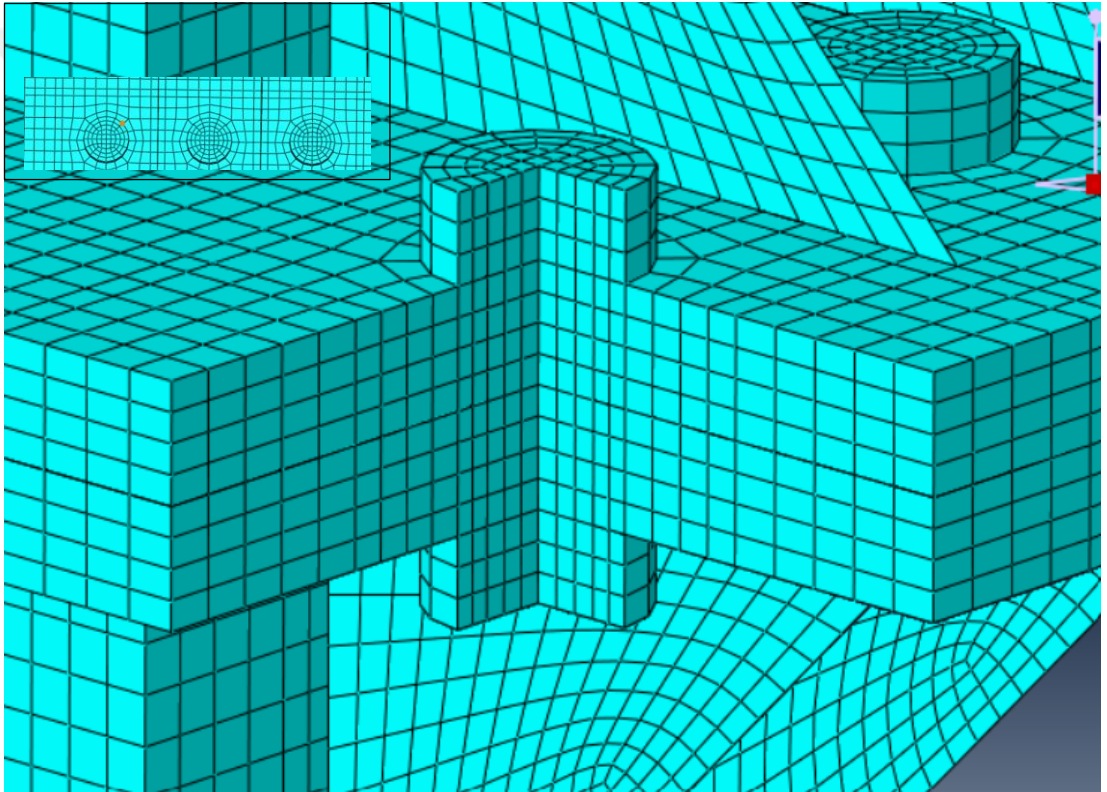
Şekil 4.23. Bulonlarda mesh uygulaması



Şekil 4.24. Kolon ve kirişlere mesh uygulaması



Şekil 4.25. Alın levhası mesh uygulaması



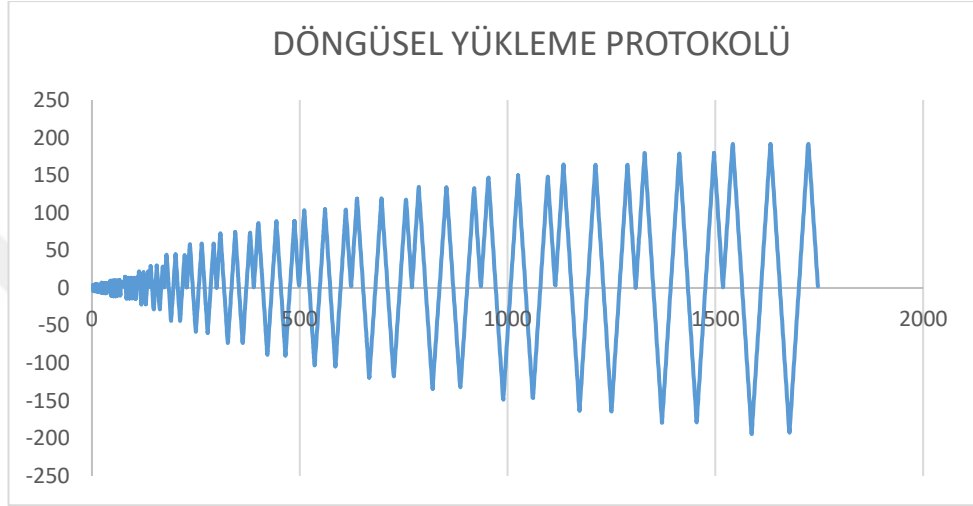
Şekil 4.26. Alın levhası ve bulonların meshleme sonrası birleşimi detayı

Şekil 4.26.'da görüldüğü gibi alın levhası ve bulonların meshleme sonrasında, birleşimde ağların birbirlerini takip emesi ve geometrik kusurların az olması çok önemli rol oynar. Birleşimde ağların birbirlerini takip etmemesi ve ağlarda geometrik kusurların olması analiz sonuçlarında değişikliklere neden olabilir hatta analizin çalışmamasına yol açabilir.

4.5.3. Malzeme özellikleri

S235 Deneyde kullanılan malzemeler S235 çeliğinden olup, S235çeliğinin Yoğunluğu $7.85 \times 10^{-9} \text{ t/mm}^3$ ve Young modülü 200 GPa değerindedir.

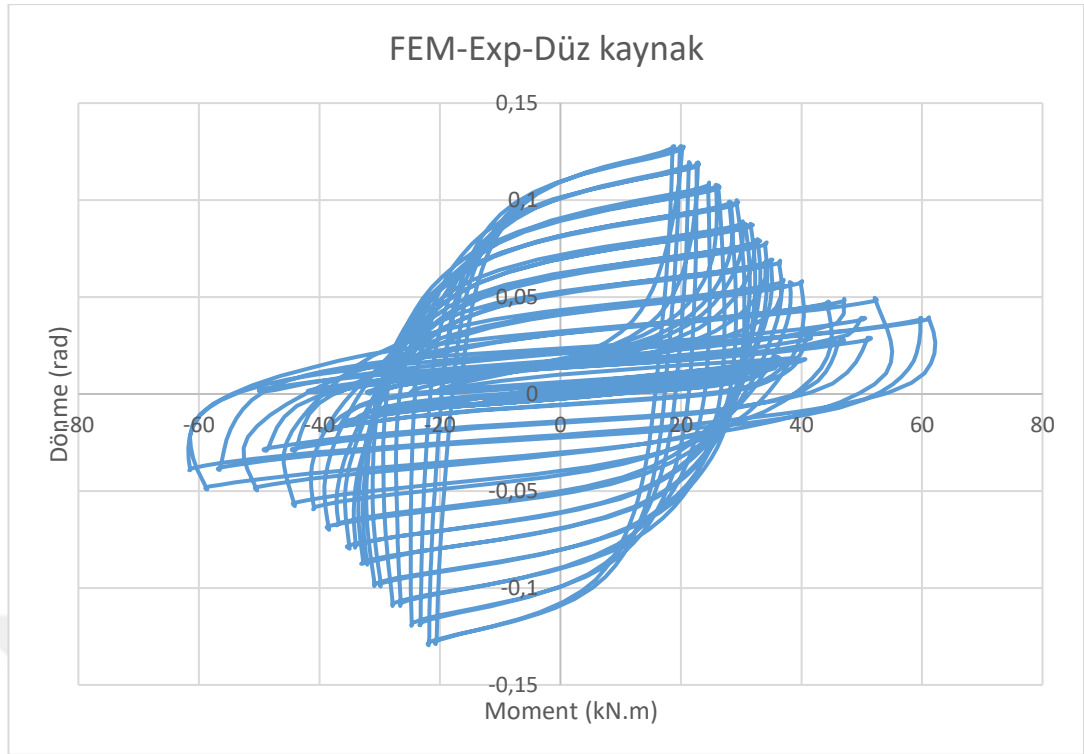
4.5.4. Yükleme protokolü



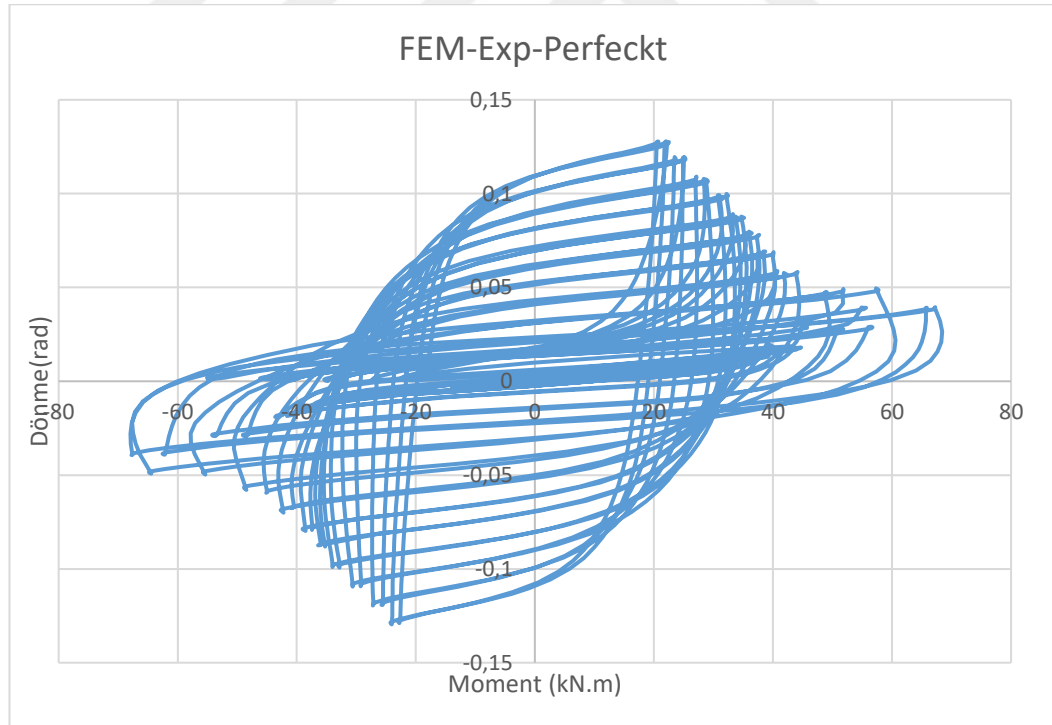
Şekil 4.27. Deneylerde uygulanan yükleme protokolü grafiği

4.5.5. Sonlu elemanların sonuçlarının karşılaştırılması

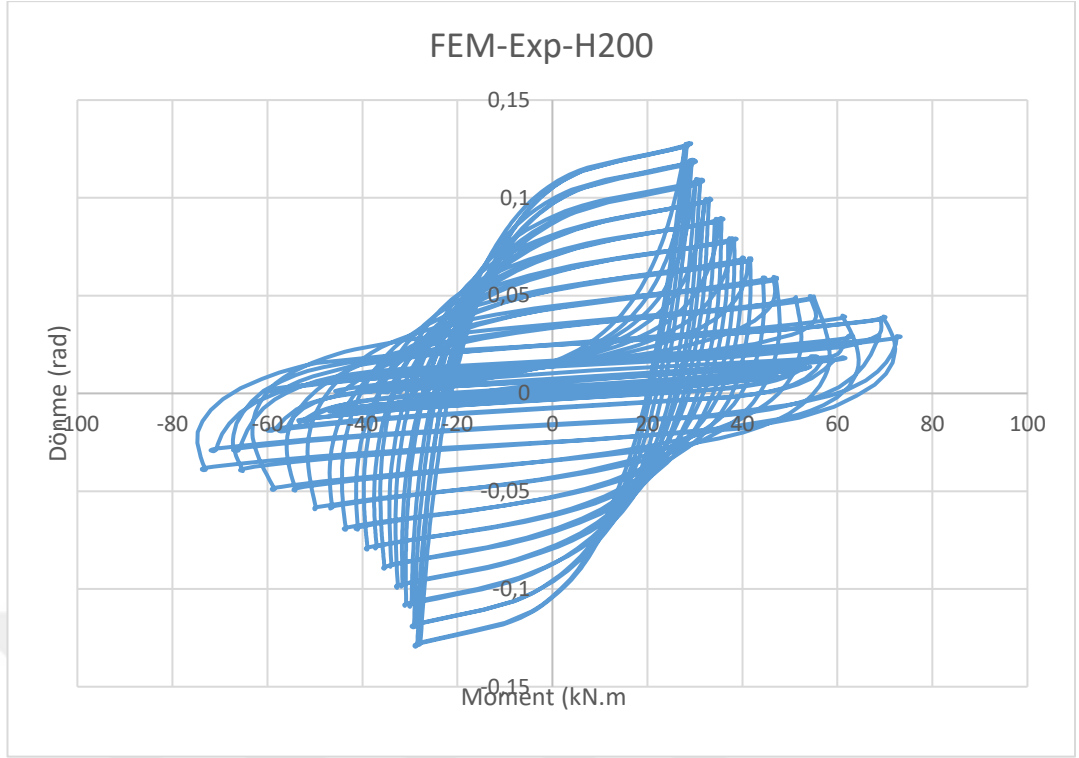
ABAQUS (6.10) programından alınan analiz sonuçları aşağıda gösterilmiştir.



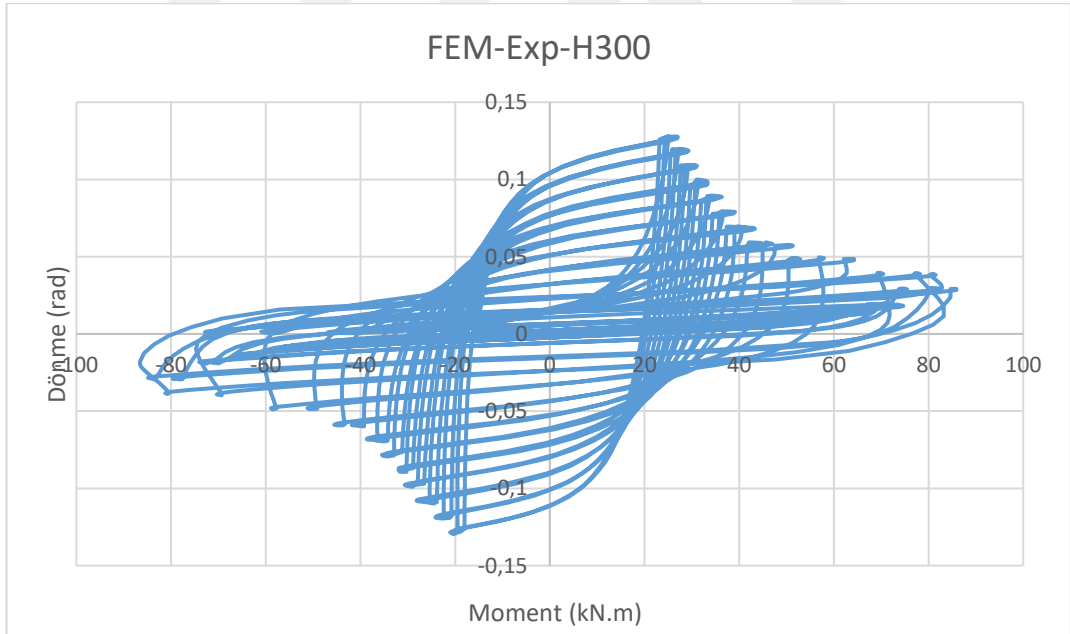
Şekil 4.28. FEM-Exp-Düz kaynak numunesinin moment-dönme grafiği



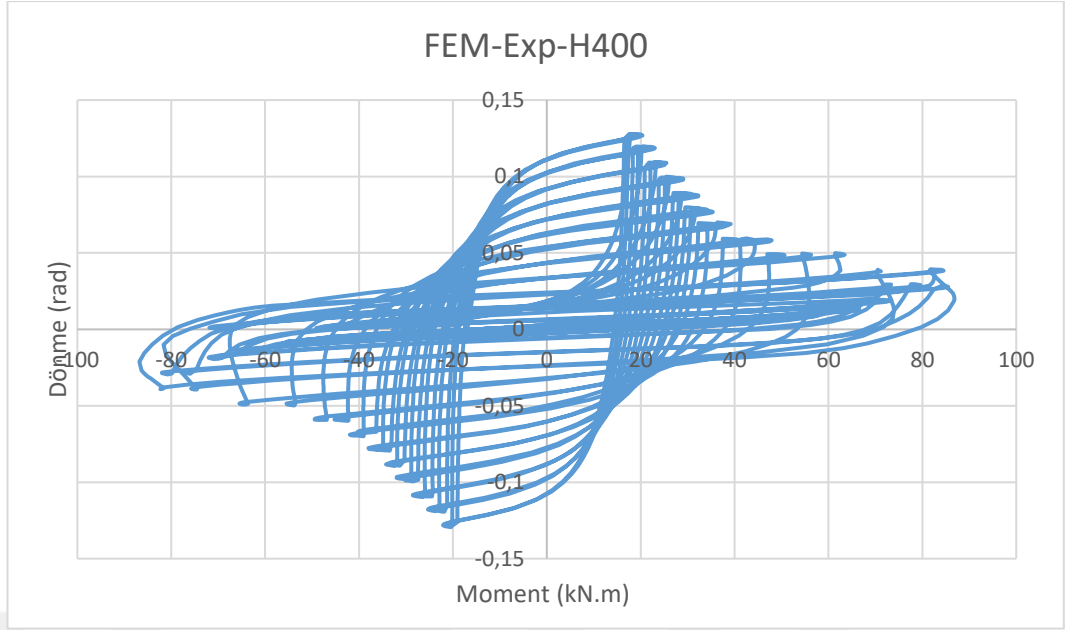
Şekil 4.29. FEM-Exp-Perfect numunesinin moment-dönme grafiği



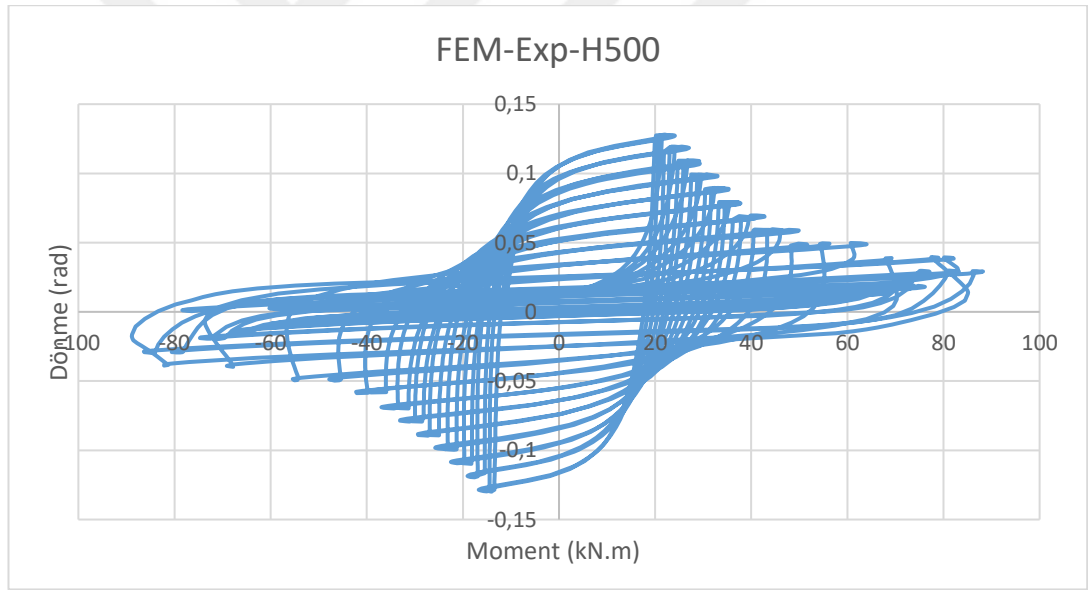
Şekil 4.30. FEM-Exp-H200 numunesinin moment-dönme grafiği



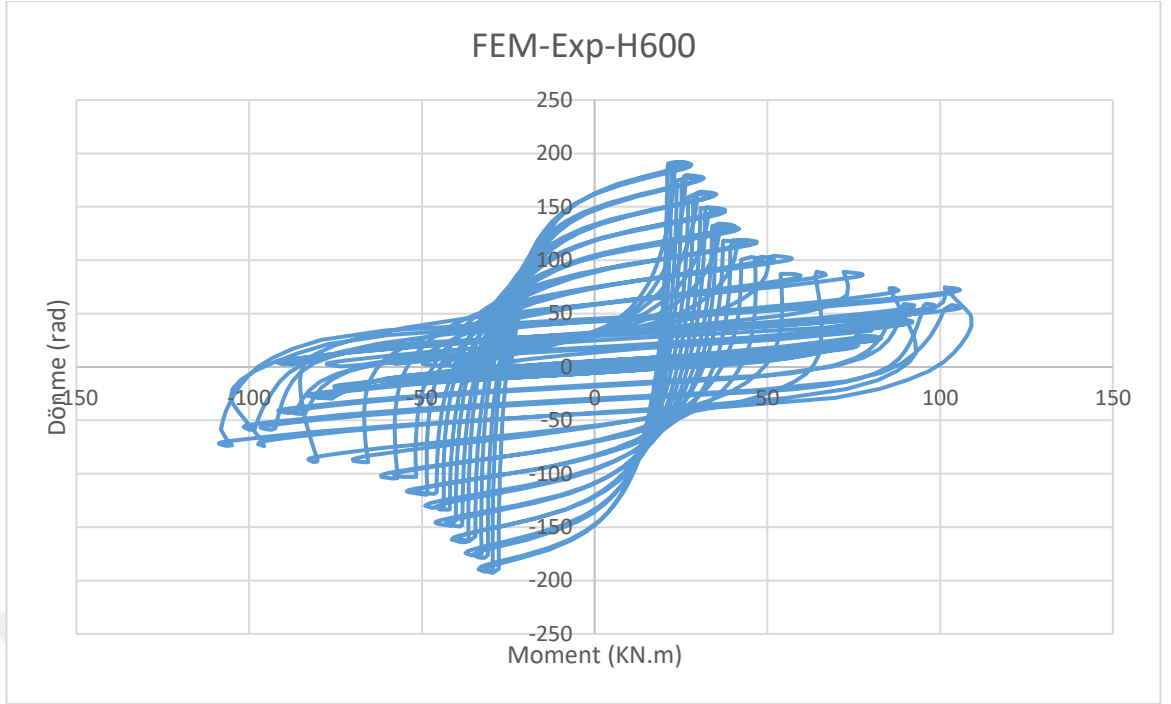
Şekil 4.31. FEM-Exp-H300 numunesinin moment-dönme grafiği



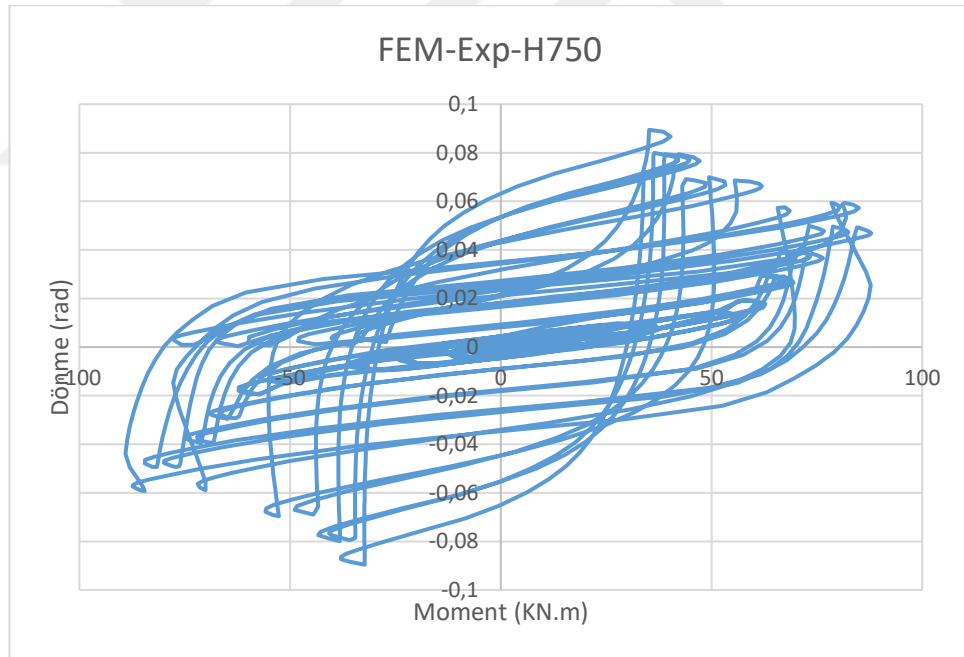
Şekil 4.32. FEM-Exp-H400 numunesinin moment-dönme grafiği



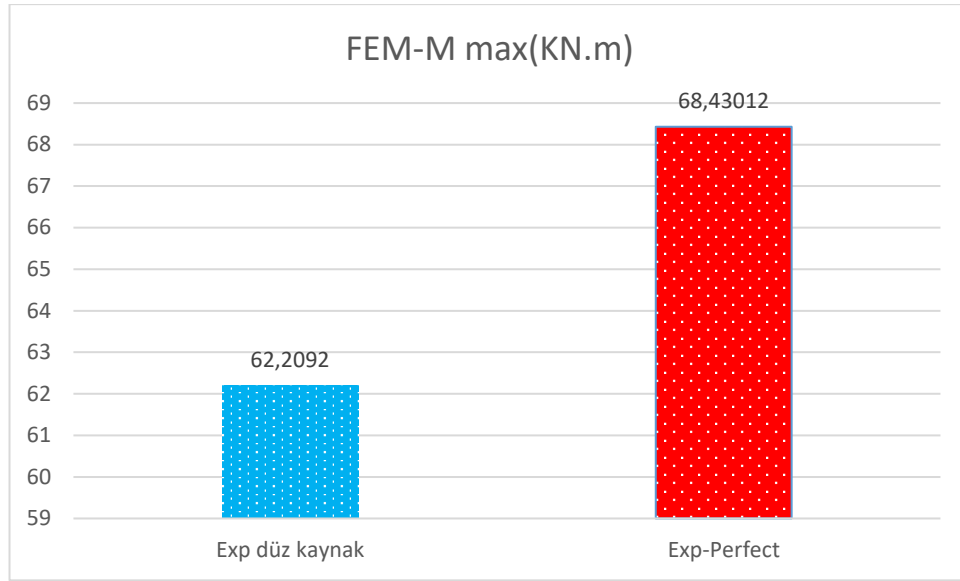
Şekil 4.33. FEM-Exp-H500 numunesinin moment-dönme grafiği



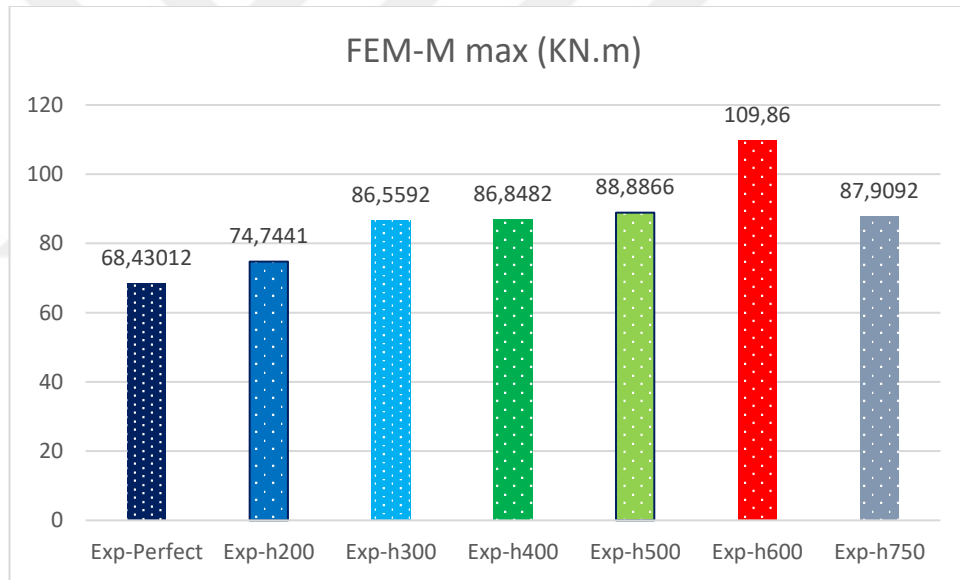
Şekil 4.34. FEM-Exp-H600 numunesinin moment-dönme grafiği



Şekil 4.35. FEM-Exp-H750 numunesinin moment-dönme grafiği



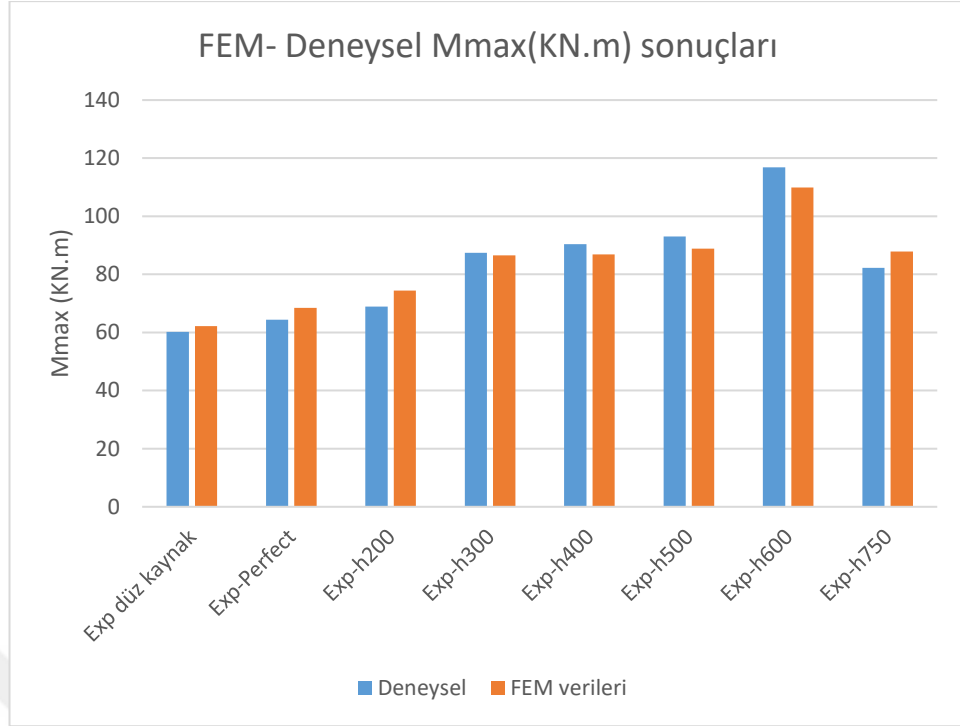
Şekil 4.36. Sonlu elemanlar yöntemine göre kutu kesitli kolon kiriş birleşiminde berkitmenin momente etkisi



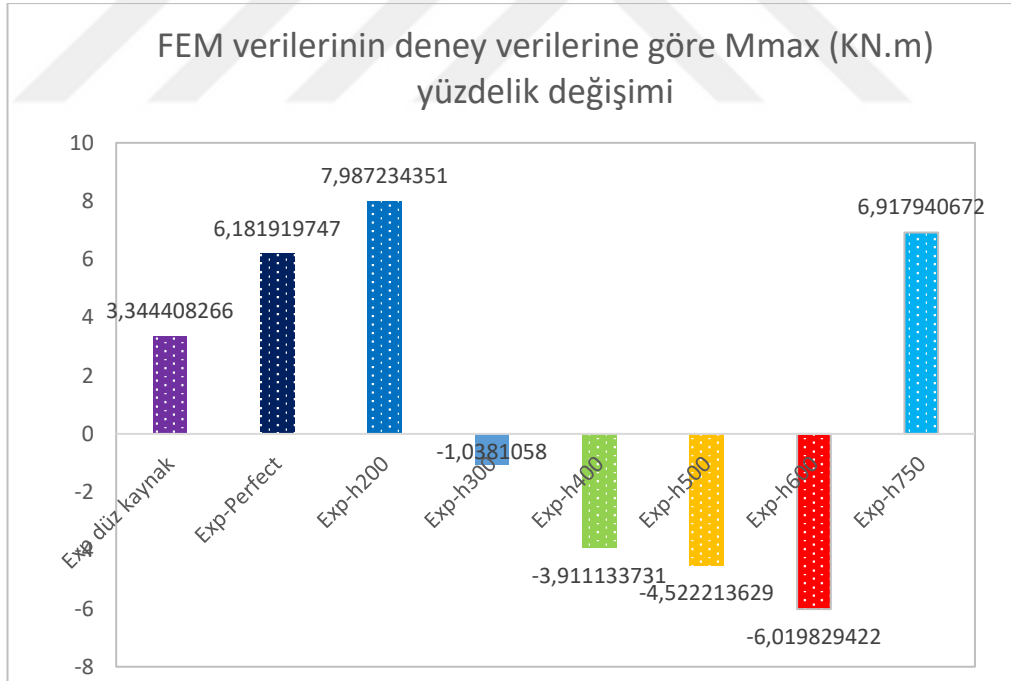
Şekil 4.37. Sonlu elemanlar yöntemine göre alın levhasının kutu kolon birleşiminin kuvvete etkisi

4.6. Deneysel ve FEM Verilerinin Kıyaslanması

Sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen analiz sonuçları ile deneyler sonunda elde edilen sonuçların karşılaştırıldığı zaman elde edilen yüzdelik değişimler Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’da gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Sonlu elemanlar yönteminde elde maksimum moment ile deneyler sonucunda elde edilen maksimum moment grafikleri



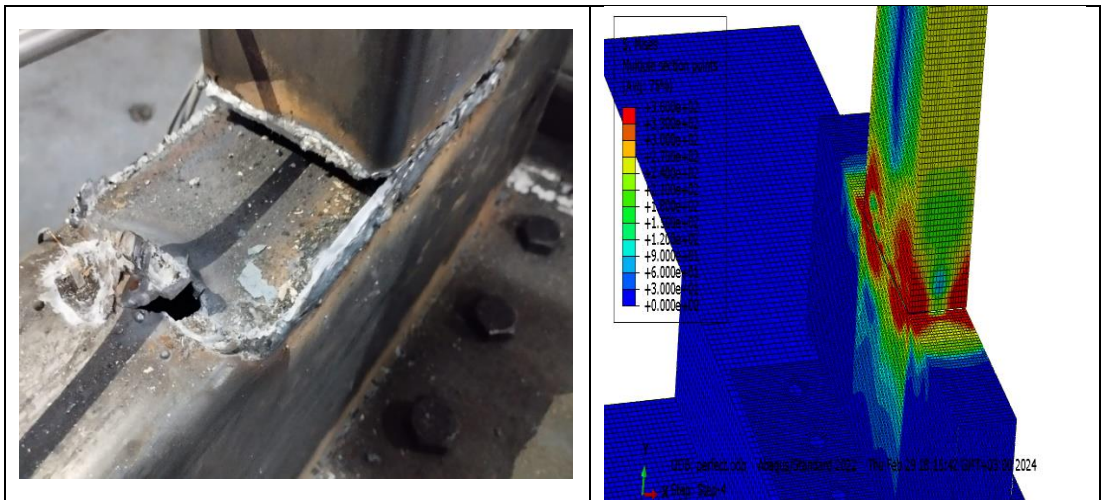
Şekil 4.39. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen maksimum momentin deneyler sonucunda elde edilen maksimum momente göre yüzdelik değişim

Şekil 4.39'a bakıldığında sonlu elemanlar yöntemi elde edilen maksimum moment değerleri ile deneyler sonucunda elde edilen maksimum moment değerleri karşılaştırıldığında;

Exp düz kaynak modelinde sonlu elemanlar yönteminden alınan maksimum moment değeri deneyler sonucunda elde edilen maksimum momentten %3,34 daha fazladır. Exp perfect modelinde sonlu elemanlar yönteminden alınan maksimum moment değeri deneyler sonucunda elde edilen maksimum momentten %6,18 daha fazladır. Exp h200 modelinde sonlu elemanlar yönteminden alınan maksimum moment değeri deneyler sonucunda elde edilen maksimum momentten %7,98 daha fazladır. Exp h300 modelinde sonlu elemanlar yönteminden alınan maksimum moment değeri deneyler sonucunda elde edilen maksimum momentten %1,04 daha azdır. Exp h400 modelinde sonlu elemanlar yönteminden alınan maksimum moment değeri deneyler sonucunda elde edilen maksimum momentten %3,91 daha azdır. Exp h500 modelinde sonlu elemanlar yönteminden alınan maksimum moment değeri deneyler sonucunda elde edilen maksimum momentten %4,52 daha azdır. Exp h500 modelinde sonlu elemanlar yönteminden alınan maksimum moment değeri deneyler sonucunda elde edilen maksimum momentten %6,02 daha azdır. Exp h500 modelinde sonlu elemanlar yönteminden alınan maksimum moment değeri deneyler sonucunda elde edilen maksimum momentten %6,91 daha fazladır.

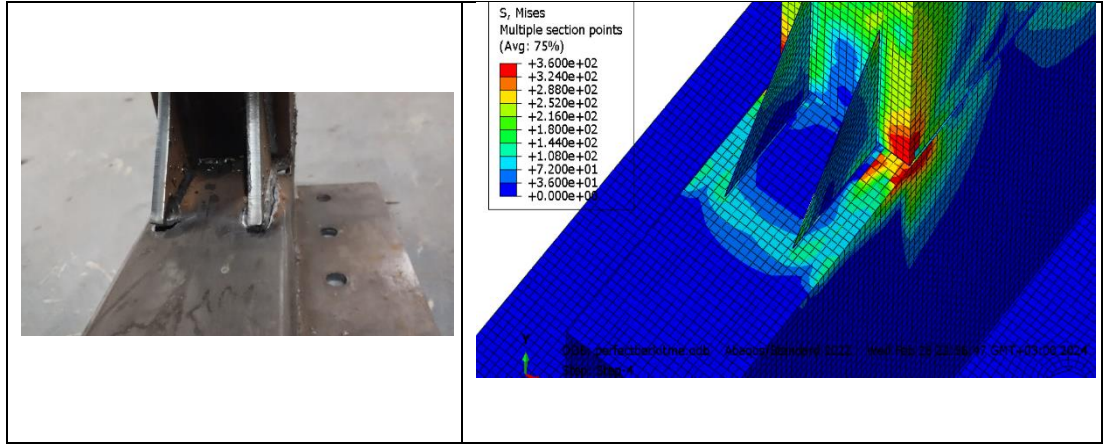
Bu sonuçlara bakıldığında sonlu elemanlar yöntemi ile deneylerden alınan veriler karşılaştırıldığında %10 geçmemektedir sonlu elemanlar yönteminden alınan sonuçların deneylerden farklı olmasının nedenlerine; test numunelerinin gerçek boyutları, numuneler hazırlanırken yapılan işçilik hataları buna örnek verilebilir.

4.7. Göçme Modları

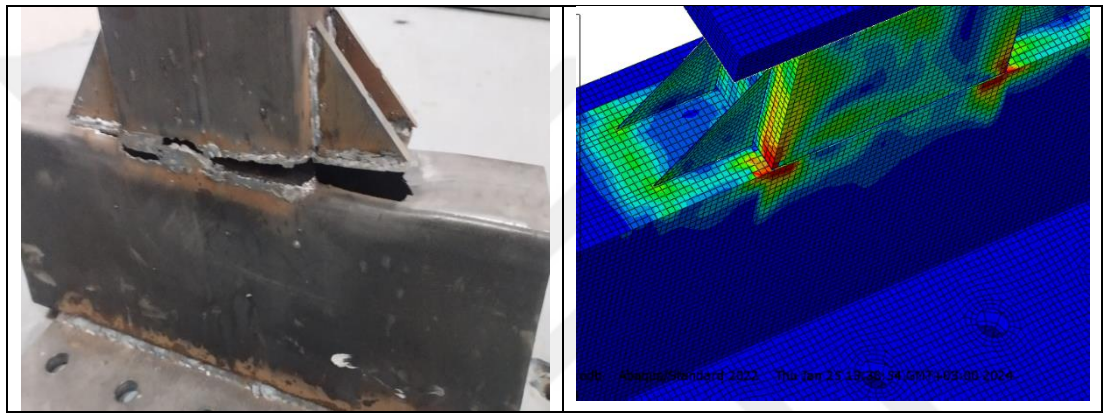


Şekil 4.40. Exp-Düz kaynak numunesinin göçme modu ve analiz sonucu

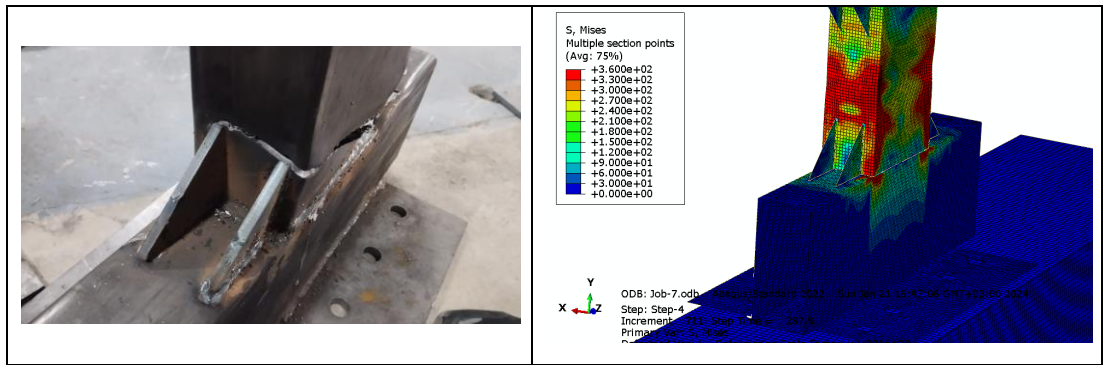
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.41. Exp-perfect numunesinin göçme modü ve analiz sonucu

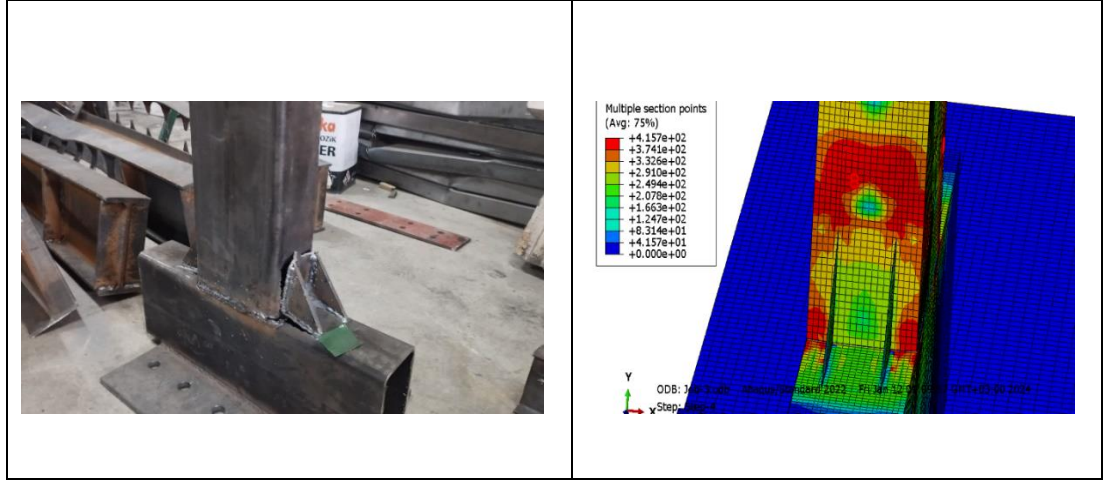


Şekil 4.42. Exp-H200 numunesinin göçme modü ve analiz sonucu

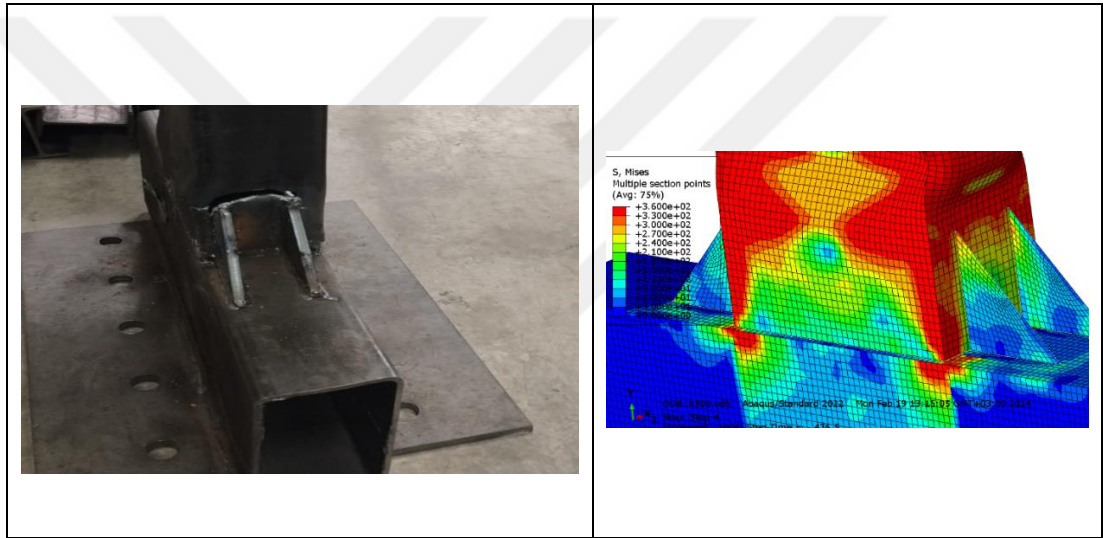


Şekil 4.43. Exp-H300 numunesinin göçme modü ve analiz sonucu

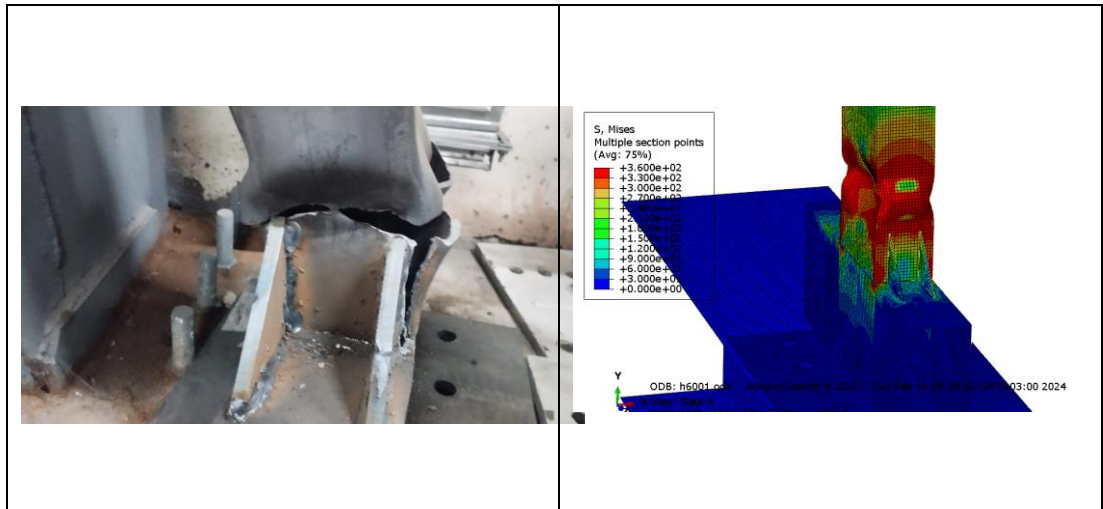
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



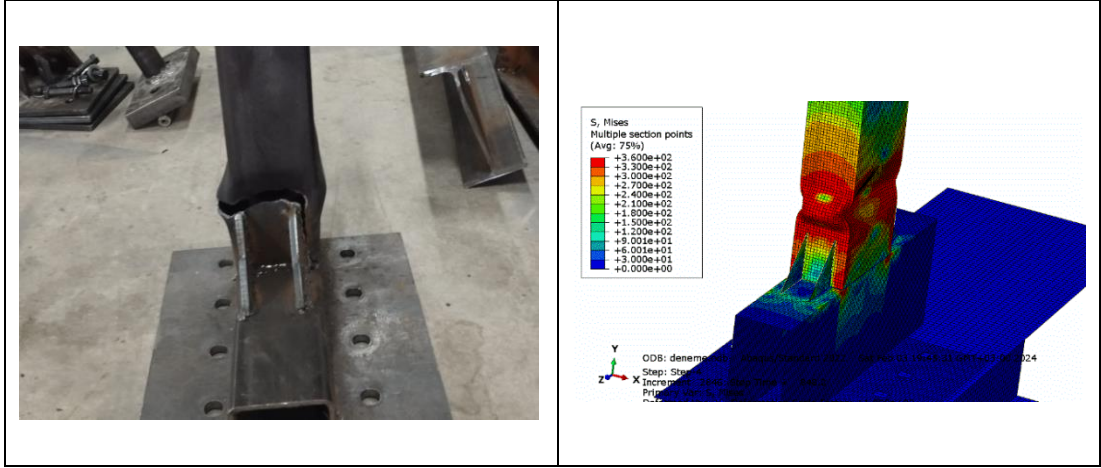
Şekil 4.44. Exp-H400 numunesinin göçme modü ve analiz sonucu



Şekil 4.45. Exp-H500 numunesinin göçme modü ve analiz sonucu



Şekil 4.46. Exp-H600 numunesinin göçme modü ve analiz sonucu



Şekil 4.47. Exp-H750 numunesinin göçme modu ve analiz sonucu

Exp-Düz kaynak numunesinde kolonda yırtılma ve kaynakta kopmalar gözlemlendi. Kirişinde yırtılma ve kopmalar gözlenmemiştir. Exp-perfect numunesinde kolonda yırtılma ve kaynakta kopmalar gözlemlendi. Exp-perfect numunesinde kolonda Exp-Düz kaynak numunesine göre fazla olmasının sebebi, berkitme levhalarının kaynak boyunu artırarak kirişten gelen yüklerin kolona daha iyi aktarılmasını sağlayarak kaynak olan kopmalar azaltmakta ve kolonda deformasyonları artırmaktadır.

Exp-H200 numunesinde kolonda yırtılmalar ve kaynakta kopmalar meydana gelmiştir. Exp-H300, Exp-H400, Exp-H500 numunelerinde kiriş ve kolonda yırtılmalar gözlenmiştir. Exp-H600 numunesinde sadece kirişte yırtılmalar gözlemlenmiştir. Exp-H750 numunesinde ise kirişte yırtılmalar ve kaynakta kopmalar gözlenmiştir.

Bu sonuçlara bağlı olarak alın levhası kolondan olan uzaklığı artıkça, kolonda oluşan deformasyonlar da azalmakta ve kirişte deformasyonlar artmaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada kutu kesitli kolon kiriş birleşimi için 8 farklı numune hazırlanarak döngüsel yükler altında incelenmiştir. Döngüsel yükleme protokolü olarak FEMA350 yükleme protokolü uygulanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile analizler yapılmış ve bu çalışmada paylaşılmıştır.

Bu çalışmada malzeme boyutları değiştirilmeden alın levhalı ve berkitme levhalı birleşim numuneleri oluşturulmuştur. Alın levhasının kolondan olan uzaklığı 200mm-300mm-400mm-500mm-600mm-750mm mesafelerde kiriş üzerinde kaynaklanmıştır. Berkitme levhası Exp-düz kaynak numunesi haricinde tüm numunelerde bulunmaktadır.

Berkitme levhasının bulunması maksimum momenti ve maksimum kuvveti %7,06 oranında artırmaktadır. Ayrıca kaynak boyunu uzatması nedeniyle birleşimde kaynaktaki kopmaları azaltmıştır.

Alın levhasının kolondan olan uzaklığı, maksimum moment ve maksimum kuvveti etkilemektedir. Alın levhasının kolondan olan uzaklığı kiriş boyunun 1/5 ve 2/5 mesafeleri arasında olması tavsiye edilmektedir.

Alın levhasının konumu kirişte ve kolonda olan deformasyonlara etki etmiştir. Alın levhası kolon ile arasındaki mesafe arttıkça, kolonda oluşan deformasyonlar da azalma ve kirişte deformasyonlar artma gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2015. Web Sitesi: <https://analizsimulasyon.com/mesh-olusturma-kriterleri/>, Eriřim Tarihi: 22.04.2024.
- Bayraktar, D., elik, İ. D., Sivri, M., Fenkli, M., ve Ay, Z. 2016. Eğilme etkisi altında elik boru kesitli kiriş-kolon birleşimlerinde başlık levhasının rijitliğe etkisi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 6(1), 18-26.
- Castiglioni, C. A., and Pucinotti, R. 2009. Failure criteria and cumulative damage models for steel components under cyclic loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(4), 751-765.
- Costa, R., Valdez, J., Oliveira, S., da Silva, L. S., and Bayo, E. 2019. Experimental behaviour of 3D end-plate beam-to-column bolted steel joints. *Engineering Structures*, 188, 277-289.
- ınar, N. 2023. Kesit oranı optimize edilmiş boşluklu elik kirişlerin yük kapasitesinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mhendislięi Ana Bilim Dalı, 86, Erzurum.
- Dhanapal, J., Ghaednia, H., Das, S., and Velocci, J. 2020. Behavior of thin-walled beam-column modular connection subject to bending load. *Thin-walled Structures*, 149, 106536.
- Fema-350, 2000. Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- González-de-León, I., Arrayago, I., Real, E., and Nastri, E. 2022. Rotation capacity of cold-formed stainless steel RHS beams under cyclic loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 192, 107199.
- Guo, J., Shi, Q., Li, T., and Ma, G. 2023. Mechanical performance of hybrid high-strength steel composite cellular beam under low cyclic loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 203, 107801.
- Iannone, F., Latour, M., Piluso, V., and Rizzano, G. 2011. Experimental analysis of bolted steel beam-to-column connections, component identification. *Journal of Earthquake Engineering*, 15(2), 214-244.
- Jiang, Z. Q., Yang, X. F., Dou, C., Li, C., and Zhang, A. L. 2019. Cyclic testing of replaceable damper: Earthquake-resilient prefabricated column-flange beam-column joint. *Engineering Structures*, 183, 922-936.
- Krawinkler, H. 2009. Loading histories for cyclic tests in support of performance assessment of structural components. In *The 3rd international conference on advances in experimental structural engineering*, San Francisco.

- Liu, X. C., Pu, S. H., Zhang, A. L., Xu, A. X., Ni, Z., Sun, Y., and Ma, L. 2015. Static and seismic experiment for bolted-welded joint in modularized prefabricated steel structure. *Journal of Constructional Steel Research*, 115, 417-433.
- Liu, X. C., Yang, Z. W., Wang, H. X., Zhang, A. L., Pu, S. H., Chai, S. T., and Wu, L. 2017. Seismic performance of H-section beam to HSS column connection in prefabricated structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 138, 1-16.
- Liu, X. C., Cui, F. Y., Zhan, X. X., Yu, C., and Jiang, Z. Q. 2019. Seismic performance of bolted connection of H-beam to HSS-column with web end-plate. *Journal of Constructional Steel Research*, 156, 167-181.
- Maali, M., Sagiroglu, M., and Semih Solak, M. 2018. Experimental behavior of screwed beam-to-column connections in cold-formed steel frames. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-6.
- Mashaly, E., El-Heweity, M., Abou-Elfath, H., and Osman, M. 2011. Finite element analysis of beam-to-column joints in steel frames under cyclic loading. *Alexandria Engineering Journal*, 50(1), 91-104.
- Roy, K., Lau, H. H., Ting, T. C. H., Chen, B., and Lim, J. B. 2020. Flexural capacity of gapped built-up cold-formed steel channel sections including web stiffeners. *Journal of Constructional Steel Research*, 172, 106154.
- Polat, E. 2009. Kaynaklı çelik I ve kutu kesitli kolon-I kiriş birleşimlerinin plastik dönme kapasitelerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 87, İstanbul.
- Serror, M. H., Hassan, E. M., and Mourad, S. A. 2016. Experimental study on the rotation capacity of cold-formed steel beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 121, 216-228.
- Sheet, I. S., Gunasekaran, U., and MacRae, G. A. 2013. Experimental investigation of CFT column to steel beam connections under cyclic loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 86, 167-182.
- Shi, G., Wang, M., Bai, Y., Wang, F., Shi, Y., and Wang, Y. 2012. Experimental and modeling study of high-strength structural steel under cyclic loading. *Engineering Structures*, 37, 1-13.
- Sun, L., Liang, Z., Cai, M., Liu, C., Wang, P., Liu, M., and Liu, F. 2022. Seismic behaviour of TSOBs bolted I-beam to hollow section square column connection with inner stiffener. *Journal of Building Engineering*, 51, 104260.
- Tavlaşoğlu, M.E. 2022. Hafif çelik yapılarda vidalı kolon kiriş birleşiminin döngüsel yükler altındaki davranışının deneysel olarak belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 107, Erzurum.
- Yang, H., Wang, H., Qian, H., Jin, X., Chen, D., He, Y., and Fan, F. 2022. Mechanical performance of pre-engineered closed section beam-column connections in CFS frames, Experimental investigation. In *Structures*. 39, 164-174.

- YAZICI, A. 2018. Hafif çelik yapılarda vidalı kiriş-kolon birleşim (berkitmeli) davranışının deneysel olarak belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 106, Erzurum.
- Wang, H., Zhang, B., Qian, H., Liu, J., An, B., and Fan, F. 2021. Experimental and numerical studies of a new prefabricated steel frame joint without field-welding, design and static performance. Thin-Walled Structures, 159, 107271.

