



**HAFİF ÇELİK ÇERÇEVELERDE
YANGINA KARŞI BOYA KORUMASI YAPILAN
VİDALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN
YANGIN SONRASI DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Doğukan SENER

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Merve MAALI**

2021

Her hakkı saklıdır.



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİF ÇELİK ÇERÇEVELERDE YANGINA KARŞI BOYA KORUMASI
YAPILAN VİDALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN YANGIN SONRASI
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Doğukan SENER

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Merve MAALI

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2021

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.

24/09/2021

Doğukan SENER

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİF ÇELİK ÇERÇEVELERDE YANGINA KARŞI BOYA KORUMASI YAPILAN VİDALI KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN YANGIN SONRASI DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Doğukan SENER

Erzurum Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Entitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Merve MAALI

Dünyada ve ülkemizde teknolojinin gelişmesiyle daha ince ve düşük maliyetli yapı elemanları üretilmeye başlanmıştır. Üretilen yapı elemanlarından biriside hafif çelik yapı elemanlarıdır. Hafif çelik yapıların; kullanımı artsa da, yapılarda önemli bir risk olan yangınlara karşı direnci oldukça azdır. Bu yapılarda yangınlara önlem alınmazsa büyük kayıplara neden olunur. Hafif çelik yapılarda yangına karşı can ve mal güvenliğini sağlamak için çeşitli yalıtım malzemeleri bulunmaktadır. Yapılan bu deneysel çalışmada ise, soğuk haddelenmiş çelik yapılardan oluşan çerçevelerde yangına karşı koruyucu intümesan boya kullanarak akıllı vidalı kolon-kiriş birleşimlerinin yangın sonrası davranışları incelenmiştir. Sırt sırta soğuk haddelenmiş C200 profillerin arasına guse levhası konularak oluşturulan kirişler akıllı vidayla birleştirilmiştir. 2 farklı et kalınlığına sahip C200 kiriş profillerle, 3 farklı et kalınlığına sahip guse levhalarıyla, 2 farklı boya kalınlığıyla ve berkitme levhasının kullanılıp kullanılmamasına göre toplamda 10 adet deney düzeneği kurulmuştur. Oluşturulan gerçek ölçekli deneylerde 10 adet kiriş yangına maruz kalmak koşuluyla standart yangın eğrisine göre fırında ısıtılmıştır. Yangın sonrası kiriş-kolon birleşim davranışı; moment-dönme eğrileri, göçme modları belirlenerek 4 grup altında karşılaştırılmıştır. Ayrıca önceden yapılmış olan literatür çalışmalarından deneyimize benzer boyasız olan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda hafif çelik yapı birleşimlerine yangına karşı intümesan boya sürüldüğünde yangın karşısında koruyucu olmuştur. Hafif çelik birleşimlerin yangın karşısında performansını arttırmıştır.

2021, 72 sayfa

Anahtar Kelimeler: Soğuk Haddelenmiş Çelik, Çelik Birleşimler, Yangına Karşı Boya, Yangın Sonrası Davranış, Akıllı Vidalı Kolon-Kiriş Birleşimi

ABSTRACT

MASTER THESIS

EXAMINATION OF THE POST-FIRE BEHAVIOR OF SCREW BEAM TO COLUMN CONNECTION WHICH ARE PAINTED AGAINST FIRE ON COLD FORMED STEEL FRAMES

Doğukan SENER

Erzurum Technical University
Graduate School Of Natural And Applied Sciences
Department Of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Merve MAALI

In the world and with education and training, thinner and educational building elements have started to be produced. One of the structural elements produced is light steel construction elements. Cold-formed steel structures; Although its use is increasing, its resistance to fires, which is an important risk in buildings, is very low. If precautions are not taken against fires in these structures, great losses will be caused. There are various insulation materials in light steel structures to ensure the safety of life and property against fire. In this experimental study, the post-fire behavior of smart screw column-beam joints was investigated by using fire-protective intumescent paint on frames made of cold-rolled steel structures. The beams formed by placing a gusset plate between the cold rolled C200 profiles back to back are connected with self-tapping screws. A total of 10 experimental setups were set up with C200 beam profiles with 2 different wall thicknesses, with gusset plates with 3 different wall thicknesses, with 2 different paint thicknesses, and whether a stiffening plate is used or not. The 10 beams formed were heated in the furnace according to the standard fire curve, provided that they were exposed to fire. All of the elements used in the experiment are real scale. The behavior of the beam-column junction under load and after fire has been investigated with moment-rotation graphs. The failure modes of the joints are also determined. The group was formed and compared. In addition, previous literature studies were compared with unpainted studies similar to our experience. As a result of the evaluations, when intumescent paint was applied to light steel structure joints against fire, it became protective against fire. It has increased the performance of light steel joints against fire.

2021,72 Page

Keywords: Cold-Formed Steel Frames, Steel Connections, Ant-Fire Paint, Post-Fire Behavior, Intelligent Screw Column-Beam Joint

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans eğitimim boyunca benden her türlü bilgi, teşvik ve deneyimleri ile yardımlarını esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Merve MAALI' ye ve deney aşamasında değerli tecrübelerini benimle paylaşan Sayın Doç. Dr. Mahyar MAALI' ye en samimi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatımın her döneminde olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen babam Mehmet Ali SENER' e annem Serap SENER' e, küçük kardeşim Batuhan SENER' e ve yüksek lisans eğitimimde benden yardımını esirgemeyen arkadaşım Yüksek Mimar İrem Betül AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Doğukan SENER

Eylül 2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2. Kaynak Özetleri	2
2. KURAMSAL TEMELLER.....	9
2.1. Çelik Üretimi.....	9
2.2. Çelik Ürünlerinin Üretilme Yöntemleri	9
2.2.1. Çeliğin sıcak şekillendirilmesi	10
2.2.2.Çeliğin soğuk şekillendirilmesi.....	10
2.3. Yapılarda Kullanılan Hafif Çelik Malzemelerin Özellikleri.....	12
2.4. Hafif Çelik Yapılarda Kullanılan Profiller.....	13
2.5. Hafif Çelik Yapılarda Birleşimler	14
2.5.1. Vidalı birleşimler	14
2.5.2. Bulonlu birleşim.....	17
2.5.3. Kaynaklı birleşim	18
2.5.4. Perçinli birleşim	19
2.5.5. Çiviler.....	20
2.6. Yangın Hakkında Genel Bilgiler.....	20
2.6.1. Yangın sınıfları.....	22
2.6.2. Yangın güvenlik tedbirleri	22
2.6.2.1. Aktif sistemler	22
2.6.2.2. Pasif sistemler	23
2.6.3. Yapılarda yangın	24
2.6.3.1. Betonarme bir yapıda yangın	24
2.6.3.2. Çelik bir yapıda yangın	24
2.6.4. Hafif çelik yapılarda yangına dayanıklı boya uygulaması	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27

3.1. Deneylerde Kullanılan Aletler	27
3.1.1. Hidrolik pompa, yükleme hücreleri (Loadcell).....	27
3.1.2. Deformasyon ölçüm cihazı (LVDT)	28
3.1.3. Veri toplama sistemi (Data-Logger)	29
3.1.4. Yangın fırını.....	30
3.1.5. Su bazlı Isonem yangına karşı koruma boya (Anti-fire Paint).....	31
3.2. Deneylerin Yapılışı	32
3.2.1. Deneysel verilerin formüllere çevrilmesi.....	41
4.ARAŞTIRMA BULGULARI.....	42
4.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	43
4.1.1. P1.5-200 grup deneyi	43
4.1.2. P2-200 grup deneyi	49
4.1.3. P3-200 grup deneyi	54
4.1.4. P1,5-400 grup deneyi	56
4.1.5. G18 deneyinin karşılaştırılmaları.....	59
4.1.6. Boya kalınlığına göre karşılaştırmalar	62
4.1.7. Mevcut literatürde olan deneylerle karşılaştırma	65
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

Rad	Radyan
CFS	Soğuk Şekillendirilmiş Çelik
LVDT	Deformasyon Ölçüm Cihazı

Kısaltmalar

I	Atalet Momenti
°	Derece
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
°C	Santigrad Derece
%	Yüzde
dk	Dakika
m ²	Metrekare
mm ²	Milimetrekar
Kn	Kilonewton
M	Moment
E	Elastisite Modülü
M _{j,max}	Maksimum Moment Dayanımı
M _{Rd}	Eğilme Moment Dayanımı
S _{j,ini}	Dönme Rijitliği
Θ	Dönme
δ	Kiriş Deplasmanı
P	Yük

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çeliğin sıcak haddelenmesi.....	10
Şekil 2.2. Hafif çeliğin üretilmesi.....	11
Şekil 2.3. Hafif çelik yapı örneği.....	13
Şekil 2.4. M-C-Z şekilli profiller.....	14
Şekil 2.5. Kendisi dış açan vida.....	15
Şekil 2.6. a) Birleşim elemanı önünde malzemenin yığılması b) Vida yuvasının uzaması.....	15
Şekil 2.7. Levhanın çekme kuvveti etkisiyle göçmesi.....	15
Şekil 2.8. Birleşim elemanının kesilmesi.....	16
Şekil 2.9. Birleşimin kopması.....	16
Şekil 2.10. Eğilme ve sıyrılma göçme modu.....	16
Şekil 2.11. Vidanın sıyrılarak göçmesi.....	16
Şekil 2.12. Birleştirme elemanının göçmesi.....	17
Şekil 2.13. Çekme ve sıyrılma göçme modu.....	17
Şekil 2.14. Bulonlu birleşim.....	18
Şekil 2.15. a) Uç uca eklenmiş dikişli kaynak; b) Ark nokta kaynakları; c) Bindirme dikiş kaynakları; d) Köşe kaynağı; e) Kıvrık alın birleşim kaynağı; f) Kıvrık V dikiş kaynağı.....	19
Şekil 2.16. Perçinli birleşim.....	19
Şekil 2.17. Çiviler.....	20
Şekil 2.18. Yangın üçgeni.....	21
Şekil 2.19. Çelik elemana uygulanan intümesan boyanın yangın öncesi ve sonrası durumu.....	26
Şekil 3.1. Deney düzeneğine yerleştirilen hidrolik pompa ve piston	28
Şekil 3.2. Deney düzeneğindeki deformasyon ölçüm cihazları.....	29
Şekil 3.3. Bilgisayar ve veri toplama cihazı.....	29
Şekil 3.4. Yangın fırınının iç ve dış görüntüsü.....	30
Şekil 3.5. Yangına karşı koruyucu boya.....	32
Şekil 3.6. Hafif çelik kirişlerin boyutlandırılması.....	34
Şekil 3.7. Kirişlerin birleşim kesitleri ön kesit.....	34
Şekil 3.8. Kirişlerin birleşim kesitleri yan kesit.....	34

Şekil 3.9. Deney düzeneği ve pompa.....	35
Şekil 3.10. Fırına atılmak üzere intümesan boya kaplanan kiriş numuneleri.....	36
Şekil 3.11. Fırın ve fırına atılan kiriş numuneleri.....	36
Şekil 3.12. Standart yangın eğrisi.....	37
Şekil 3.13. Fırından çıkarılan kiriş numuneleri.....	38
Şekil 3.14. Laboratuvarında oluşturulan deney düzeneği.....	38
Şekil 3.15. Deformasyon ölçüm cihazlarının kiriş kesiti üzerinde konumu.....	39
Şekil 3.16. Moment-Dönme eğrisi.....	40
Şekil 4.1. Boyalı Kiriş-Alın levhası-guse levha birleşimi.....	42
Şekil 4.2. G11-C1.5-P1.5-S Deneyi moment-dönme grafiği.....	43
Şekil 4.3. G12-C2-P1.5-S Deneyi moment-dönme grafiği.....	44
Şekil 4.4. G13-C1.5-P1.5 Deneyi moment-dönme grafiği.....	44
Şekil 4.5. G14-C2-P1.5 Deneyi moment-dönme grafiği.....	45
Şekil 4.6. P1,5-200 grubu deneyleri karşılaştırma eğrisi.....	45
Şekil 4.7. G11-C1.5-P1.5-S Deneyi göçme modu.....	48
Şekil 4.8. G12-C2-P1.5-S Deneyi göçme modu.....	48
Şekil 4.9. G13-C1,5-P1,5 Deneyi göçme modu.....	48
Şekil 4.10. G14-C2-P1,5 Deneyi göçme modu.....	49
Şekil 4.11. G15-C1.5-P2-S deneyi moment-dönme grafiği.....	50
Şekil 4.12. G16-C2-P2-S deneyi moment-dönme grafiği.....	51
Şekil 4.13. G17-C2-P2 deneyi moment-dönme grafiği.....	51
Şekil 4.14. P2-200 grubu deneylerinin karşılaştırma eğrisi.....	52
Şekil 4.15. G15-C1,5-P2-S Deneyi göçme modu.....	53
Şekil 4.16. G16-C2-P2-S deneyi göçme modu.....	53
Şekil 4.17. G17-C2-P2 deneyi göçme modu.....	54
Şekil 4.18. G18-C2-P3 deneyi moment-dönme grafiği.....	55
Şekil 4.19. G18-C2-P3 Deneyi göçme modu.....	55
Şekil 4.20. G21-C1.5-P1.5-S Deneyi Moment-Dönme grafiği.....	56
Şekil 4.21. G22-C2-P1.5-S Deneyi Moment-Dönme grafiği.....	57
Şekil 4.22. P1,5-400 grubu deneyleri karşılaştırma eğrisi.....	57
Şekil 4.23. G21-C1,5-P1,5-S Deneyi göçme modu.....	58
Şekil 4.24. G22-C2-P1,5-S Deneyi göçme modu.....	59
Şekil 4.25. G18 Deneyi karşılaştırma eğrisi.....	60
Şekil 4.26. Boya kalınlık farkına göre karşılaştırma eğrisi.....	62

Şekil 4.27. Boya kalınlık farkına göre karşılaştırma eğrisi	64
--	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Deneylerimizin isimleri ve deneylerin tüm özellikleri.....	33
Çizelge 3.2. Şekil 3.8’de verilen değerler.....	35
Çizelge 3.3. Konulan deformasyon ölçüm cihazlarının ve pompanın kolon-kiriş birleşim bölgesine olan uzaklıkları.....	39
Çizelge 4.1. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri.....	46
Çizelge 4.2. Göçme modları.....	49
Çizelge 4.3. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri.....	52
Çizelge 4.4. Göçme modelleri.....	54
Çizelge 4.5. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri	55
Çizelge 4.6. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri.....	58
Çizelge 4.7. Göçme modları.....	59
Çizelge 4.8. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri.....	60
Çizelge 4.9. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri.....	62
Çizelge 4.10. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri.....	64
Çizelge 4.11. Mevcut Literatürde Yapılan Deneylerle P1.5-200 Grup Deneylerinin Tablosu.....	66
Çizelge 4.12. Mevcut Literatürde Yapılan Deneylerle P2-200 Grup Deneylerinin Tablosu.....	67
Çizelge 4.13. Mevcut Literatürde Yapılan Deneylerle P3-200 Grup Deneylerinin Tablosu.....	67
Çizelge 4.14. Mevcut Literatürde Yapılan Deneylerle P1.5-400 Grup Deneylerinin Tablosu.....	68

1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Teknolojinin gelişmesiyle yapılarda betonarme ve sıcak haddelenmiş çelik yapıların yanı sıra daha ince ayırtlarıyla, daha hafif, daha kolay işçilik gerektiren hafif çelik yapıların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu hafif çelik yapı elemanlarının üretilmesi, teknolojinin geliştirdiği makinelerle daha kolay ve ekonomik üretilmektedir. Ülkemizde hafif çelik yapılar hakkında yönetmelik tam oturmamıştır. Bu yüzden çok yüksek olmayan konutlarda (tek katlı), endüstriyel yapıların çatılarında, tarımsal amaçlı alanlardaki yapılarda kısıtlı olarak kullanılmaktadır. Yönetmeliğimizi oluşturabilmemiz için yaptığımız bu çalışmalarımızda kullandığımız yapı elemanlarının olumlu, olumsuz tüm özelliklerini bilmemiz gerekmektedir. Bilindiği üzere dünyada ve ülkemizde yapıların yapısal bütünlüğünü en çok zorlayan dış etkenlerdir. Bunlar; depremler, yangınlar, seller, toprak kaymaları ve fırtınalar gibi doğal afetlerdir.

Yangınlar, evrensel bir risk olup karşısında önlem alınmadığı takdirde büyük can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Günümüz şartlarında her ne kadar yangınlara karşı önlem alınsa da kaçınılmaz bir risktir. Yapılarda enerji kullanımı arttıkça, yangın çıkma riski de artmaktadır. Yangın karşısında can ve mal güvenliğini korumak için yapıların yapısal bütünlüğünü koruması şarttır.

Hafif çelik yapıların en önemli dezavantajı yangın karşısında yapısal bütünlüğünün bozulmasıdır. Bu yapısal bütünlüğün bozulması yapı elemanlarının birleşim bölgelerinin bozulmasıyla başlar. Bu yüzden hafif çelik yapıların en önemli kısmı birleşim bölgeleridir.

Hafif çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerinin, yangın karşısında taşıma gücünü koruması oldukça zordur. Ancak yangın sırasında yangına karşı alınacak önlemler, hafif çeliğin yangın karşısında dayanımını arttırmaktadır. Bu önlemlerden biriside hafif çelik yapı elemanlarının yangına karşı koruyucu boya ile boyanmasıdır. Bu boya ile hafif çeliğin yapısal bütünlüğü belirli süre içinde korunur ve yangın sonrası yapının tekrar kullanılması hedeflenir. Bu deneysel çalışmada, hafif çelik elemanları gerçek ölçekli

halde hazırlanmıştır. Kolon-kiriş birleşimleri akıllı vida ile birleştirilmiştir. Oluşturulan bu numuneler yangına karşı koruyu intümesan boya ile boyanmıştır. Yangın etkisi oluşturmak üzere fırına atılmıştır. Standart yangın eğrisine göre ısıtılmıştır. Yangın sonrası kiriş kolon birleşimlerinin davranışları incelenmiştir. Oluşan deformasyonlar ölçülmüştür. Bilgisayara aktarılarak gerilim-deformasyon grafikleri çizilmiştir. Boya kullanımının ve sürülen boya kalınlığının artmasıyla, yangın karşısında hafif çelik yapının dayanımının artması hedeflenmiştir.

1.2. Kaynak Özetleri

Wong ve Chung (2002) çalışmalarında, çatılarda aşıklarda, duvar panellerinde, döşemelerde, orta açıklıklarda, depo raflarında kullanılan hafif çelik yapılarda kolon-kiriş bulonlu birleşimlerinde yapısal moment davranışlarını incelemişlerdir. Bu davranışları deneysel olarak 20 adet kolon-kiriş çerçevesi oluşturup deneysel ortama aktarmışlardır. Arka arkaya düzenli C profiller birleştirilip kiriş ve kolon çerçevesi sistem oluşturulmuştur. Yanal ve dik yük etkileri altında ölçeklendirilmiş deneylere başlanmıştır. Her elemanın birleşim bölgesine 4 adet bulon konulmuştur. Deneylerde farklı hatalar olmuştur. Bunlar; bulon deliğinin yırtılması, köşebentin yerel burulması, eğilme kırılmasıdır. Elde edilen sonuçlar ile binalarda hafif çelik profillerle çerçeve oluşturmak daha kolay olduğu savunulmuştur. Ve mühendisleri hafif çelik yapı elemanlarıyla hafif, güvenli çerçeveleri oluşturmaya teşvik etmişlerdir.

Yu ve Chung (2005) çalışmalarında, soğuk şekillendirilmiş çelik yapılarda vidalı birleşimler üzerinde kapsamlı teorik bir araştırma yapmışlardır. Soğuk şekillendirilmiş arka arkaya birleştirilmiş C profillerle vidalı kolon kiriş birleşimi yapılmıştır. 16 adet toplamda deney yapılmıştır. Genel yapısal durumu öğrenmek için doğrusal olmayan sonlu eleman modeli kurulmuştur. Yanal yük verilerek yük-deformasyon grafikleri çizilmiştir. Oluşan grafikler birbirlerine benzemektedir. Tüm deneylerde 4 farklı hata modu bulunmuştur. En çok bulunan eğilme kırılması olmuştur. Önerilen analiz ve tasarım kuralıyla yapının performansını tahmin etmek oldukça kolaydır. Cıvata ile birleştirilmiş soğuk şekillendirilmiş hafif çelik yapıların analizi ve tasarlanması kolay olduğu için tüm yapı mühendislerine teşvik edilmesini savunmuştur.

Zhang ve arkadaşları (2021) çalışmasında, kombine yüklere maruz kalan hafif çelik yapılarda vidalı kolon-kiriş birleşimlerinin davranışını incelemişlerdir. Soğuk şekillendirilmiş çelik yapıların birleşiminin dayanımını belirlemek için 20 deney yapılmıştır. Deneylerde C profiller arka arkaya birleştirilip (kolon ve kiriş) çerçeve oluşturulmuştur. Bu deneylerin her birinde farklı birleşim kullanılmıştır. Deneylerde yük etkisiyle farklı birleşimlerden dolayı farklı deformasyonlar oluşmuştur. Moment grafikleri incelenmiştir ve yorumlanmıştır. Deney sonucunda hafif çelik yapıların az ve orta katlı çerçevelerde kullanılması teşvik edilmiştir. Birleşim olarak ta vidalı birleşim teşvik edilmiştir.

Solak ve arkadaşları (2019) çalışmasında, mevcut literatürde bulonlu birleşimler hakkında yeterli çalışma olduğunu fakat vidalı birleşimlerin sınırlı olduğunu öngörmüşlerdir. Hafif çelik yapılarda vidalı kiriş-kolon birleşiminin davranışını belirlemek için mevcut yükler altında üç farklı kalınlıkta sırt sırta birleştirilmiş çift C profil kiriş ve üç farklı kalınlık guse levhası olarak 12 adet tam ölçekli deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında birleşimin moment-dönme eğrilerden elde edilen birleşimin rijitliği, moment dayanımı ve dönme kapasitesi gibi karakteristik özellikleri ve göçme şekilleri değerlendirilmiştir. Değerlendirmede deneyler C profil kalınlığının arttırarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarla kiriş profil kalınlığının artması mukavemet değerlerinin arttırdığını, rijitlik değerlerinin ise arttığı tespit edilmiştir. Deneysel karşılaştırma yapılmıştır. Levha kalınlıklarının artmasıyla mukavemet ve rijitliğin artmasına; dönme değerlerinin ise azalmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Yazıcı (2018) çalışmasında, hafif çelik yapıların üretilme aşamalarının, yapı elemanlarının, birleşim türlerinin tanıtımını yapmıştır. Birleşim türlerinden vidalı kolon-kiriş birleşimini konu alarak deneysel çalışma yapmıştır. Deneylerindeki amacı, bulon yerine vida kullanarak berkitmeli ve berkitmesiz olarak düşük maliyet ve kolay uygulamasıyla tercih edilmesini arttırmaktır. Deneysel çalışmalarında üç farklı kalınlığa sahip C profil kiriş ve üç farklı kalınlığa sahip bayrak levhası kullanarak 14 farklı deney yapmıştır. Deneylerini tam ölçekli, mevcut yükler altında gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler sonrasında birleşimin moment-dönme eğrilerden elde edilen birleşimin rijitliği, moment dayanımı ve dönme kapasitesi gibi karakteristik özellikleri belirlemiştir. Ayrıca

berkitme kullanılan ve kullanılmayan durumlar ve bayrak levhasının kalınlaştığı durumlar için karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Bunun yanında hafif çelik yapılarda bulun yerine vida kullanılması ekonomik açıdan daha olumlu olacağı deneysel olarak savunulmuştur. Aynı zamanda yapılan deneylerle C profil kalınlığı arttıkça moment dayanımı, rijitlik oranı ve dönme kapasitesi artmaktadır. Göçme modları C profil kalınlığına bağlı olmadığı savunulmuştur. Deney sonuçlarına göre berkitme levhalarının kullanımı rijitliği ve maksimum momenti artırsa da, göçmeyi geciktirdiğini savunmuştur.

Sağiroğlu (2018) çalışmasında, yangına maruz kalan çelik kolon-kiriş T bağlantısının yangın sonrası davranışını deneysel olarak incelemiştir. Deneylerde I profiller birleştirilerek T bağlantısı elde edilmiştir. Beş adet gerçek ölçekli deney düzeneği oluşturulmuştur. T elemanları yangına maruz kalması için fırında 5 saatte 600 °C ısıtılmıştır ve sonra oda sıcaklığına soğutulmuştur. Deneyde kirişler mekanik bir yük ile yüklenmiştir. Yük ve yer değiştirmeler ölçülmüştür. Yük-yer değiştirme grafikleriyle momentler hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda moment-dönme eğrileri, kırılma şekilleri ve mikro görüntüleri incelenmiştir. Sıcaklıkla beraber çeliğin elastisite modülü azalmıştır ve deformasyonlar artmıştır. Yangın sonrası birleşimlerin davranışlarının değerlendirilmesine ilişkin daha fazla araştırma yapılması savunulmuştur.

Çakıroğlu (2020) çalışmasında, soğuk şekillendirilmiş çelik yapılarda, paslanmaz vidalı kolon-kiriş birleşimlerin yangın sonrası davranışlarını incelemiştir. Toplamda 8 adet deney yapmıştır. Stifener kullanılıp kullanılmamasına göre karşılaştırma yapmıştır. Kiriş yapı elemanları oda sıcaklığından başlayıp 600 °C ye kadar ısıtılmıştır ve 5 saat beklemiştir. Yük-deformasyon grafikleri çizilmiştir. Moment-dönme davranışları incelenmiştir. Deneylerin sonucunda genel olarak stifener kullanımı kirişe güç vermiş olup kirişlerde yanal burulma görülmemiştir. Guse levhasında buruşmalar görülmüştür. Stifener kullanımında moment yüksektir ancak dönme değeri daha düşüktür. Ayrıca stifener kullanılan deneylerde vidaların kırılması oldukça fazladır.

Lucherini ve Maluk (2019) çalışmalarında, yangına dayanıklı çelik yapıların tasarımı için yangın karşısında şişen kaplamaların geliştirilmesine yönelik kapsamlı araştırmaları önermişlerdir. Her yıl bina yangınları dünyada çok sayıda ölümlere can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Yangınların önüne geçilmesi zor olsa da yapının

yapısal bütünlüğünü korumak oldukça önemli olduğunu savunmuştur. Çelik yapıların bütünlüğü, modüler yapısı inşaat maliyetlerine olanak sağlar ve teknik olarak mühendislere ağırlık, süneklilik olarak kolaylık sağlar. Çelik malzeme 550-600 dereceye kadar yapısal bütünlüğünün yarısını korumaktadır. Yüksek sıcaklıklarda çelik yapı elemanları büyük yer değiştirmeler yapmaktadır. Ayrıca yüksek iletkenliğinden dolayı yangını hızla yaymaktadır. Bir binada yangının sıcaklığından dolayı çeliğin kritik noktasına ulaşımını önlemek için termal bariyerlerin uygulanmasının yaygın bir yöntem olduğunu önermiştir. Beton kaplama, alçı levha kullanma, esnek yangın koruyucularının yanında en uygun maliyetlisi şişen boya kaplamalardır. Bu nedenle bu boyaların üretimi hızlıca artmaktadır. Şişen boyalar organik ve inorganik yapıda olup termal reaktif malzemelerdir. Şişen boyalar astar, temel kat ve orta kat olarak uygulanmalıdır. Kötü hava koşullarına karşı oldukça sağlam olan şişen boyalar yangın karşısında 4 aşamada biçimlenir. Termal ayrışma, şişme, kömür oluşumu ve yapısal değişikliktir. Lucherini şişen boya kullanımının artarak yapılarda kullanılmasını öngörmüştür. Çünkü çelik yapılarda yangın karşısında şişen boyaların kullanılması çelik yapının yangın performansını artırır. Ayrıca bu şişen boyaların uygulanması az maliyet ve az zaman gerektirir.

Mermer (2008) çalışmasında, Hafif çelik yapılarda yangın karşısında hafif çeliğin dayanımının az olmasından dolayı, hafif çelik yapıların yangına karşı güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi için bir takım önlemlerin alınmasının gerektiğini belirtmiştir. Ülkemizde ve dünyada hafif çelik yapıların yapımında yangın güvenliği konusunda yeterli bilgi ve donanım olmasına karşın esas sorun uygulamanın yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Hafif çelik profiller yangın sonucunda mukavemetini, şeklini ve taşıyıcı niteliğini kaybetmektedir. Bu sebeple yapılar çökme eğilimi göstermektedir. Hafif çelik konutların dış cephe ve çatı gibi bölümlerinde yangın sonucu zehirli gaz çıkarabilen plastik ve sentetik malzemeler kullanılmaktadır. Plastik, sentetik ve de galvanizlenmiş profiller yangın sırasında zehirli gaz çıkartmaktadırlar. Oluşan bu gaz çıkışı insanlarda ölümle sonuçlanabilen boğulmalara zehirlenmelere yol açmaktadır. Hafif çelik konutların üretiminde çeşitli standart ve yönetmelikler dikkate alınarak hazırlanmış birçok malzeme ve ilgili detaylar uygulama alanı bulmaktadır. Ancak, yanma deneylerinin yapılabildiği yangın laboratuvarları ülkemizde yok denecek kadar azdır. Bu, beklenen performansa yönelik şartname hazırlanmasını ve denetleme ortamını imkansız

yapmaktadır. Hafif çelik yapıların yapım süreci özgün teknik bilgi ve donanım gerektirmektedir. Alınabilecek yangın güvenlik önlemleri de farklıdır. Bütün bunlara bakılarak ülkemizde hafif çelik yapı yapımında yangın güvenliği uygulamalarının yetersiz olduğu ortaya çıkmaktadır olarak savunmuştur.

Bilotta ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, çelik yapı elemanlarının yangında korunması için kullanılan şişen boyalar üzerinde test yapmışlardır. Bir yapıda yapı elemanlarının yapısal bütünlüğü, estetikliği ve mimari değerleri korunmalıdır. Yangın sırasında bunların korunması için intümesan kaplamalar kullanılır. İntümesan kaplamalar genellikle yangın sırasında ısınmayı azaltır. Çelik yapıların yüzeyine uygulandığı zaman ince bir koruyucu tabaka oluşturur. Bu ince tabaka yangın sırasında ısıyı emmeye çalışır ve korur. Bilotta bu tezini deneysel olarak yaklaşık otuz yıllık bir yapının intümesan kaplamalı çelik yapı elemanları üzerinde deneyler yapmıştır. Deneyleri yangına maruz kalması için fırın kullanmıştır. Fırın testleri İtalyan Ulusal İtfaiye Hizmetleri Laboratuvarında yapılmıştır. otuz yıllık olan numunenin tekrar boyanması gerektiğini belirtmiştir. Diğer numuneler farklı kalınlıkta yeni boyanmıştır. Boya kalınlığı fazla olan yangına karşı daha dayanıklı olduğunu belirtmiştir.

Puspitasari ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, çelik yapı elemanlarına sürülen yangına karşı şişen boya tabakasının yangın öncesi ve sonrası mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Şişen boyalar son zamanlarda önemli araştırma konusu olmuştur. Şişen boyalar genellikle yangın karşısında kullanılsa da deniz ürünleri, köprüler gibi yapılarda da kullanılmaktadır. Bu boyalar inşaatta yangın maliyetini en aza indirmektedir. Çünkü şişen boyaların asıl amaçları yapısal çökmeyi engellemektir. Puspitasari deneysel bir çalışma yapmak için Chartek 7 şişen kaplama ve İntergard 251 astar kaplama boyalarını temin etmiştir. Deneyin hatasız olması için çelik malzeme üzerindeki kir ve yağ temizlenmiştir. Boya ve astar farklı kalınlıklarda uygulanmıştır. Yangın testinden gelen malzemelere mikroskopik inceleme, ısı yalıtım testi, kızılötesi testi, sertlik testi ve termo analiz yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda yangına karşı şişen boya ile çelik malzeme arasında yangın sonrası sağlam bir bağ olduğu gözlemlenmiştir. 120 dakika yangın testi sonrası çelik malzemenin sıcaklığı 100 derecenin altında kalmıştır. Uygulanan yangına karşı boyanın iyi bir karışım yapılarak uygulanmasıyla yangın karşısında oldukça başarılı olacağını savunmuştur.

Lu ve arkadaşları (2016) çalışmalarında; sıcak haddelenmiş ve soğuk haddelenmiş çelik malzemelerin yangın karşısında mekanik özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Yangın tehlikeleri sırasında, çelik yapılar kaçınılmaz olarak yüksek sıcaklıklara maruz kalır; yangın olaylarından sonra yapısal çökme meydana gelmemesi koşuluyla, bu tür yapıların performansları, bunların sökülmesi, onarılması veya yeniden kullanılması gerekip gerekmediğini belirlemek için deneyler yapılır. Sıcak haddelenmiş akma değerleri 235-345-420 çelikleriyle ve soğuk haddelenmiş akma değeri 235 içi boş çeliğiyle deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin uzunlukları aynı kesilmiştir. Numuneler belirlenen sıcaklığa kadar fırın yardımıyla ısıtılıp ortam sıcaklığına kadar farklı iki yöntemle soğutulmuştur. Ayrıca araştırmalara göre yangın anında yangın sıcaklığı 800 dereceyi geçmeyeceği için fırında ısıtılan malzemeler bu sıcaklığa göre baz alınmaktadır. Ve malzemeler üzerinde yangın sonrası gerilme-gerilme eğrilerini , elastik modülleri elde etmek için çekme testleri yapılmıştır. Döngüsel ısıtma-soğutma etkilerini araştırmak için ek testler de yapılmıştır. Sıcak haddelenmiş çeliklerin yangın sonrası mekanik özellikleri, yaklaşık 700 °C'yi aşan sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra önemli ölçüde değişmiştir; soğuk şekillendirilmiş çelikler için ise 300 dereceyi geçtikten sonra mekanik özelliklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Farklı soğutma yöntemlerinin etkilerinin önemsiz olduğunu savunmuştur.

Yu ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, farklı kalitedeki sıcak haddelenmiş çeliklerin ve soğuk şekillendirilmiş çeliklerin yangın sonrası mekanik özellikleri açısından gözden geçirmişlerdir. Yangın sonrası sıcak haddelenmiş çelikler için 353 yangın testi ve soğuk haddelenmiş çelikler içinde 139 yangın sonrası test yapılmıştır. Yangın sonrası çeliklerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Elastik modül, akma dayanımı, mukavemet ve sünekliliği incelenmiştir. Yangın sonrası elastik modül hem sıcak haddelenmiş hem soğuk haddelenmiş çelik için değişmediğini savunmuşlardır. Sıcak haddelenmiş çelik 600 dereceden sonra mukavemeti azalırken, soğuk haddelenmiş çelikler 300 dereceyi geçtikten sonra mukavemeti azalmıştır. Süneklilik her iki çelik malzeme içinde azaldığını savunmuştur. Ayrıca bir yapı yangın sonrasında çökmeyebilir. Ancak yangın sonrası can ve mal güvenliği için yapının nasıl davranacağı iyi bilinmelidir. Bu konuda çok çalışma olduğu belirtilmiş olup önerilen değerlendirmelerin standart olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak soğuk şekillendirilmiş çelikler, yangın çıkmasıyla daha yüksek düzeyde etki göstermiştir.

Yan ve arkadaşları (2021) yaptığı çalışmalarında, Gelişmiş yüksek mukavemetli soğuk şekillendirilmiş çelik alaşımlarının yangın sonrası mekanik özellikleri üzerinde deneysel bir araştırma yapmışlardır. Bu deneysel çalışmada kullanılan çelikler normal hafif çelik yapılardan daha çok sert, çekme ve akma değerlerine sahip hafif çelik malzemelerdir. İki farklı hafif çelikten oluşan akma gerilimi 340 MPa ila 1200 MPa arasında olan iki paslanmaz çelikten yapılmış çekme numuneleri, 700 °C'ye kadar sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra test edilmiştir. Testlerden gerilim eğrileri çizilmiştir. Böylece mekanik özellikler elde edilmiştir. Sıcak haddelenmiş ve soğuk şekillendirilmiş çelikler üzerinde mevcut test verileriyle yapılan karşılaştırma, soğuk işleme ve çelik kalitesinin yangın sonrası mekanik özellikler üzerindeki etkisini göstermiştir. Yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra mukavemette kalıcı azalma olmuştur. Sıcak haddelenmiş çeliklere kıyasla soğuk şekillendirilmiş çelikler için mukavemetteki azalma daha düşük sıcaklıklarda başlamıştır.

Macit (2020) yaptığı çalışmasında, yangına karşı koruyucu boya kullanarak çeşitli endüstriyel tesislerde kullanılan, yangından korunması gereken malzemelerin yangın sonrasında sonuçlarını araştırmıştır. Yangın kaçınılmaz bir afettir. Yangını engellemek için bir çözüm yolu yoktur. Ancak yangına karşı malzemelerin dayanıklılığı arttırmak bir çözüm yoludur. Macit deneysel bir çalışma yapmış olup silindirik tankların yangın karşısında, yangına karşı koruyucu boya kullanarak tank üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneylerde yangına karşı 'Isonem Anti-Fire Paint' boya kullanılmıştır. Boyalar numunelere 100, 200 ve 400 mikron olarak farklı kalınlıklarda uygulanmıştır. Boya kalınlıklarıyla, numunelerin farklı iç-dış boyanmasına göre farklı 22 deney örneği incelenmiştir. Deneylerin sonucunda tüm numune testlerinde, göçme yüküne göre başlangıç burkulmanın değişimi çok yüksektir. Boya ile kaplanmış örneklerin deformasyonu, boya ile kaplanmamış örneklere göre azalmıştır. Dış Boyalı grubunda 400 µ kalınlıkta boyanmış numunede ve İç-Dış Boyalı göçme kapasite değeri aynı İdeal model gibidir. Boya kalınlığı arttığında ve boya iç ve dış silindirik kabuklara uygulandığında, yangından sonra burkulma şekilleri ve dalga sayıları ideal model gibi davranmaktadır. Ayrıca boyanan deney numuneleri 450 derece sıcaklıktan sonra tekrar kullanılmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Çelik Üretimi

19. yüzyıldan önce ucuz ve kaliteli çelik üretmek mümkün değildi. Bu yüzden çeliğin kullanımı sınırlı kalmış olup daha çok dökme demir yapılıyordu. Ucuz çelik üretimine, 19. Yüzyılda Henry Bessemer'in ilk ucuz endüstriyel çözümü olan Besemer isimli prosesiyle başlanmıştır. Çeliği ucuz şekilde üretmenin mümkün olmasıyla teknoloji ve endüstride büyük değişiklikler yaşanmaya başlanmıştır. Daha büyük, gelişmiş ve hassas makineler yapılmış; büyük, hafif ve depreme dayanıklı gökdelenler inşa edilmiştir.

Çelik malzeme kolay işlenebilir olmasıyla günümüzde istenilen ölçülerde, fabrikalarda kısa sürede üretilmektedir. Gerek fabrikalarda gerek şantiye alanında montaja hazır hale kolay bir şekilde getirilmektedir. Kolay işlenebilirliğinin yanında çelik malzemenin hafif olması, yüksek mukavemete sahip olması, sünekliğinin yüksek olması, verimli ve ucuz olması, izolasyon malzeme ile yangına karşı dayanıklı olması mühendislerin çeliğe yönelmesini sağlamıştır. Sürdürülebilirlik açısından da çelik malzeme dünyada ekonomik olarak geri kazanımı yüksek bir malzemedir. Daha az atık, toz ve şantiye alanı ile daha az rahatsızlık ve trafik yükünü önümüze sermektedir.

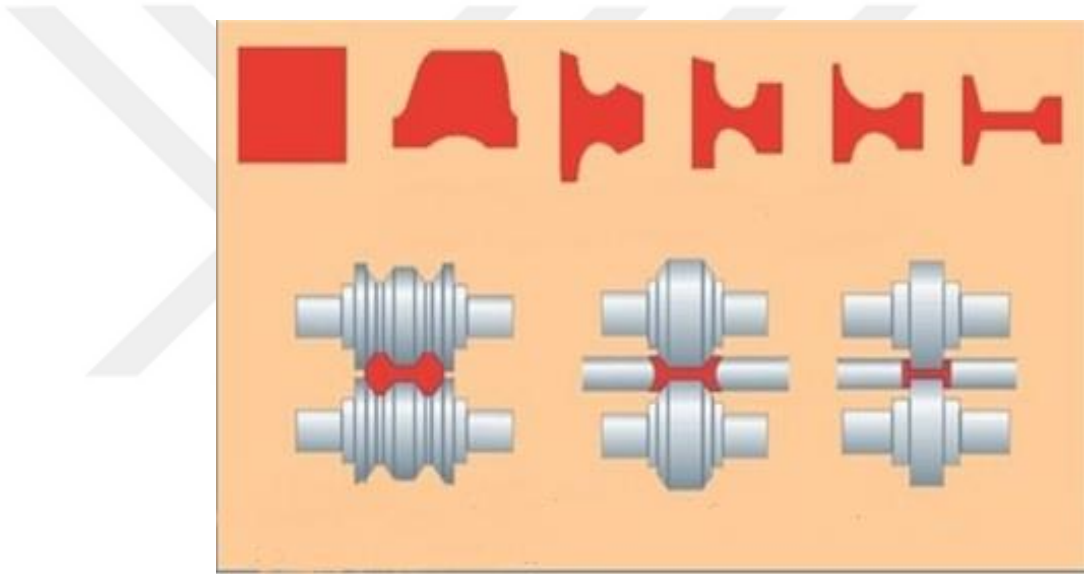
Çelik malzemesi haddeleme adı verilen yöntemlerle yapılarda kullanılan ürünler elde edilir. Genelde 800-1200 derece sıcaklık arasında haddeleme işlemleri olur. Bu ve bazı teknikler sonucunda elde edilecek ürünler sıcak ve soğuk şekillendirilmiş çelikler olarak ayrılmaktadır.

2.2. Çelik Ürünlerinin Üretilme Yöntemleri

Çeliğin sıcak ve soğuk şekillendirmesiyle iki başlıkta açıklanmıştır.

2.2.1. Çeliğin sıcak şekillendirilmesi

Sıcak şekillendirilmiş çelik üretilirken haddenin ana hammaddesi olan slab ve kütüklerin sürekli döküm ile üretilmesinin ardından, haddeleme ile sıcak şekillendirilmiş çelik yapı malzemesi üretimine başlanmaktadır. Isıl işlem sırasında uygun şartlarla çelik malzeme, bir yandan uygun mukavemet ve sertlik özelliklerine ulaşırken diğer yandan da hadde ürünün homojenlik özelliğini iyileştirir. Bu işlem sırasında sıcak malzeme üzerinden geçen silindir, basınç uygulayıp malzemeyi sıkıştırırsa da silindirlerin verdiği şekli almaktadır. Şekil verme sırasında konulan kalıbın şekline göre I-U-T-L ile kare-dikdörtgen kutu profiller, boru profiller, levhalar üretilmektedir.(Şekil 2.1)



Şekil 2.1.Çeliğin sıcak haddelenmesi

2.2.2.Çeliğin soğuk şekillendirilmesi

Malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılan plastik şekillendirme işlemine soğuk haddeleme denir. 20. Yüzyılın başlarında uçak endüstrisinin, oldukça hafif ve taşıma kapasitesinin yüksek malzemelere ihtiyaç duyması nedeniyle soğuk şekillendirilmiş çelik malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Hafif ve taşıma kapasitesinin yüksek olmasıyla hafif çelik malzeme otomotiv, yapı sektörü gibi sektörlerde aktarılmıştır. Yapı endüstrisinde gelişmeye başlayıp ABD ve İngiltere’de yaygınlaşmaya başlanmıştır.

Çelik, yüksek sıcaklıklarda eritilir, bir kalıba yerleştirilir ve belirli bir şekil oluşturmak için soğutulur. Soğuk şekillendirilmiş çelik, malzeme doğru boyut ve şekilde olana kadar haddelenmiş olarak başlar. Silindirler çeliği inceltir, böylece kolayca bükülebilir, böylece çelik L-şekli veya eğri bir çizgi gibi istenen şekli alır. İşlem tamamen soğuk olmasa da, presler ve silindirler sürtünme ve hareket ile ısıya neden olduğundan, ısı çeliği ilave basınç olmadan eritmek veya deforme etmek için yeterli değildir.



Şekil 2.2.Hafif çeliğin üretilmesi

Soğukta şekillendirilmiş çelik profillerin genel malzeme özellikleri malzeme doğrusalsızlığı, gerilme ve şekil değiştirme arasındaki doğrusal olmayan bir ilişki olarak tanımlanabilir. Yani gerilme, şekil değiştirmenin doğrusal olmayan bir fonksiyonudur. Plastisite teorileri, sünek bir tarzda iyileştirilemeyen deformasyona uğradığından malzemenin mekanik tepkisini modeller. Plastisite teorisi, malzemelerin elasto-plastik tepkilerini karakterize eden matematiksel bir ilişki sağlar.

Soğuk şekillendirilmiş çelik Dünya'nın birçok yerinde şuan kullanılmaktadır. Bu malzemeye tek katlı binalar, endüstriyel depo binaları, spor salonları gibi yapılar yapılmaktadır. Tek başına kullanıldığı gibi beton gibi malzemelerle beraber de kullanılır. Soğuk şekillendirilmiş çelik malzemelerin avantajlarından biri, dayanım-ağırlık oranının, yaygın olarak kullanılan sıcak haddelenmiş çelikten çok daha yüksek olması ve böylece yapıların toplam ağırlığını azaltabilmesidir. Soğukta şekillendirilerek oluşturulan çelik yapı elemanları, kiriş açıklığı fazla olmadığı sürece ekonomik olarak kabul edilir.

Günümüzde düşük maliyeti ile güvenli ve kaliteli olarak yapı sektöründe hızla yayılan soğukta şekillendirilmiş çelik yapı elemanları yoğun olarak bir yapı malzemesi seçeneği haline gelmiştir. Soğuk şekillendirilmiş çelik malzemeler, sıcak haddelenmiş çelik malzemelerden ayıran en önemli özelliklerinden biri de üretimlerinde kullanılan çelik malzemenin mekanik özelliklerinin yapı elemanının her noktasına homojen bir şekilde dağılmasıdır. Sıcak şekillendirilmiş çelikte ise yapı elemanının uç kısımlarında üretim esnasında kükürt-fosfor yığılmasından dolayı mukavemette düşüklük gözlenir.

Yapı sistemlerinde soğuk şekillendirilmiş çelik malzemelerin kullanılması, yüksek mukavemet sağlarken daha az malzeme ve maliyet gerektirdiği için sürdürülebilir, çevreci ve yeşil bina olanağı sağlar. Soğuk şekillendirilmiş çelik malzemelerin ülkemizdeki yapılarda kullanımı, bu malzemeleri ön plana çıkartan birçok avantaja sahip olmalarına rağmen oldukça sınırlıdır. Yapı malzemesi olarak kullanılan soğuk şekillendirilmiş ürünler genelde sıcak şekillendirilmiş profillerle aynı şekil benzeri olan hafif çelik malzemelerdir.

2.3. Yapılarda Kullanılan Hafif Çelik Malzemelerin Özellikleri

Teknolojinin gelişmesiyle üretilen hafif çelik yapı malzemeleri daha keskin-ince et kalınlığına sahip üretilmektedir. Üretilen malzemeler oldukça hafif olduğundan inşaat sektöründe ve diğer alanlarda çaplı olarak kullanılmıştır. Hafif çelik (Şekil 2.3) inşaat sektöründe kolon, kiriş, çatı makası, panel sac, panel duvar gibi yapı elemanlarında kullanılmaktadır.



Şekil 2.3.Hafif çelik yapı örneği

2.4. Hafif Çelik Yapılarda Kullanılan Profiller

Hafif çelik malzemeler uygun standartlara göre fabrika ortamında, büyük modern makinalarla üretilmektedir. Üretim aşamalarına önce kütük halindeki çeliğin eritilmesiyle başlanır. Erimiş haldeki soğuk haddelenmiş çelik, silindir veya presleme yöntemiyle rulo sac, levha gibi istenilen kalınlıklarda malzemelere dönüştürülür. Hafif çelik yapı elemanlarının daha homojen yapıya sahip olması ve dayanımının yüksek olması için üretim aşamasında presleme işlemi yapılarak tüm boşlukların doldurulup sıkıştırılması gerekmektedir. Oluşan levha ve saclar istenilen ölçüde kesilir ve istenilen ölçülerde kalıba konulur. Pres, kalıp ve bükme işlemlerinden sonra profiller oluşur.

Hafif çelik yapılar yapısı gereği dış etkilerden oldukça etkilenir. Bu etkilerin en önemlisi korozyondur. Yapı elemanları istenilen profillere dönüştürüldükten sonra korozyona karşı galvanizleme işlemine tabi tutulur. Galvanizleme işleminden sonra profil üzerinde yapılan işlemler galvanize zarar vereceğinden dolayı, bütün yapılacak kesme-delme işlemleri galvanizleme işleminden önce yapılmalıdır.

Hafif çelik yapılarda profiller adlandırılırken kesit şekillerine göre adlandırılmaktadır. Profiller genelde Z, C, U, M olarak adlandırılır. Şekil 2.4'te profil şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.4. M-C-Z şekilli profiller

2.5. Hafif Çelik Yapılarda Birleşimler

Hafif çelik yapılarda birleşimler; vida, bulon, çivi, kaynak, perçin gibi birleşim yöntemleriyle birleştirilirler. Ancak yapının karşılaştacağı büyük kuvvetler karşısında mukavemet gösterebilmesi için birleşim seçimine özellikle dikkat edilmelidir. Genelde hafif çelik yapılarda birleşim yöntemi olarak vidalı birleşim kullanılmaktadır. İnce kesitli profillerde bulonlu ve kaynaklı birleşim gövdeye zarar verebileceği için kullanımı daha azdır.

2.5.1. Vidalı birleşimler

Vidalı birleşimler hafif çelik yapıların birleşiminde kullanılan en yaygın birleşim türüdür. Vidalar iki veya daha fazla malzemeyi birleştirebilir. Vidalar, deleceği levhanın şekline veya kalınlığına göre çeşitlenir. Kalınlığı 0.88 mm'den az olan levhaları delmek için delici uçlu vida kullanılamaz. (CCFSS,1993)

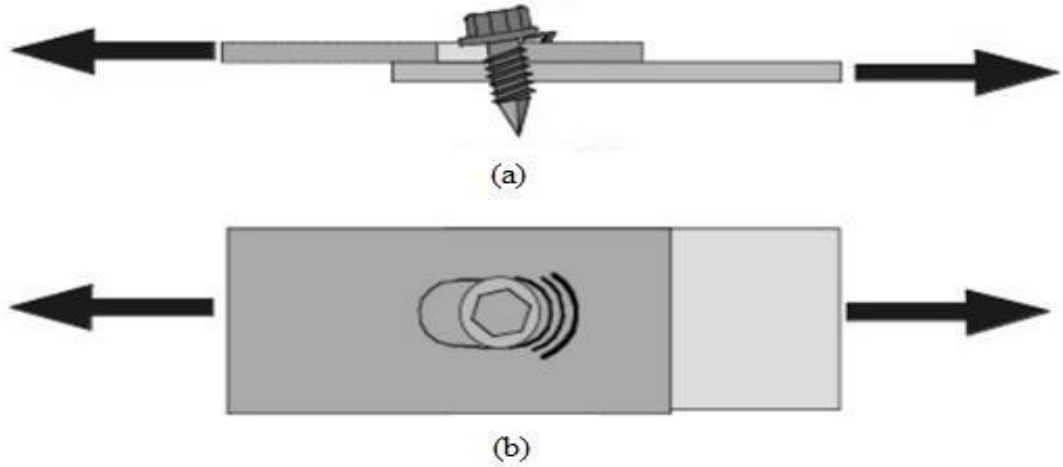
İki tip akıllı vida kullanılmaktadır. Bunlar malzemeleri delme özelliğine göre sınıflandırılmaktadır. Birleştireceği malzemenin özelliklerine göre de uygun ebat ve tip seçilmektedir.

Vidalar, deleceği levhanın şekline veya kalınlığına göre çeşitlenir. Kalınlığı 0.88 mm'den az olan levhaları delmek için delici uçlu vida kullanılamaz. (CCFSS,1993)

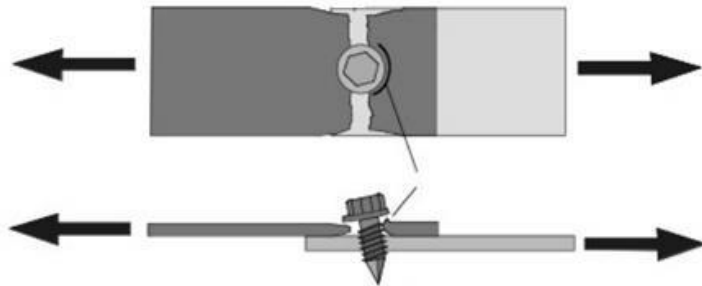


Şekil 2.5. Uçlu Vida

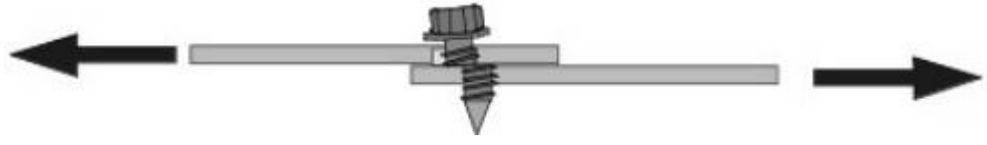
Vidalı birleşimlerde kesmeye maruz bırakıldıklarında birleşim elemanında, levhalarda ya da her ikisinde göçme modları meydana gelebilmektedir. Bu göçme modaları; yuvanın bozulması, profilin yırtılması, birleşim elemanının kesilmesi, birleşim elemanının kopması, eğilme ve sıyrılmasıdır. (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)



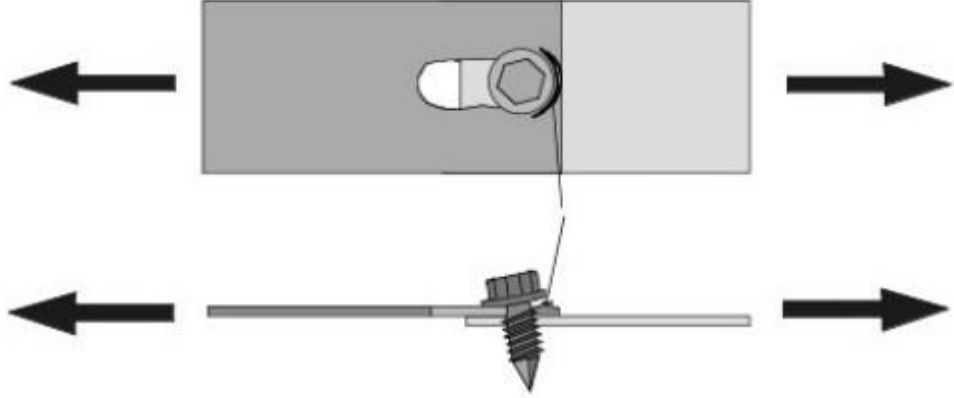
Şekil 2.6. a) Birleşim elemanı önünde malzemenin yığılması b) Vida yuvasının uzaması (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)



Şekil 2.7. Levhanın çekme kuvveti etkisiyle göçmesi (TC 7 - TWG 7.10, 2009)



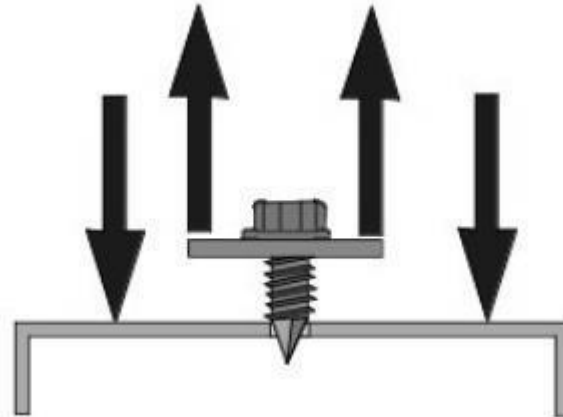
Şekil 2.8.Birleşim elemanının kesilmesi (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)



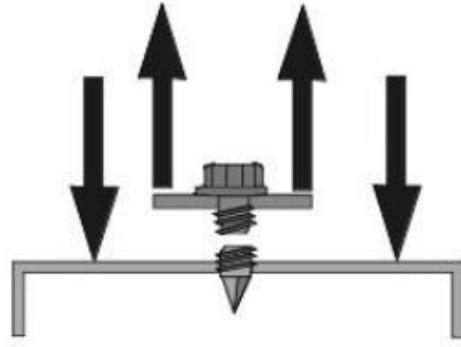
Şekil 2.9.Birleşimin kopması (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)



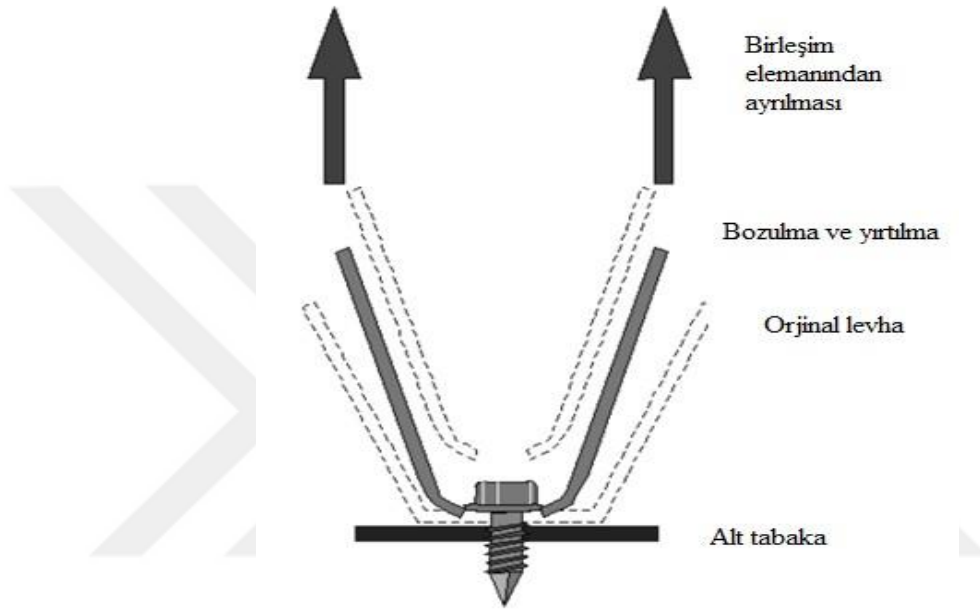
Şekil 2.10.Eğilme ve sıyrılma göçme modu (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)



Şekil 2.11.Vidanın sıyrılarak göçmesi (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)



Şekil 2.12. Birleştirme elemanının göçmesi (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)



Şekil 2.13. Çekme ve sıyrılma göçme modu (TC 7 - TWG 7.10 , 2009)

2.5.2. Bulonlu birleşim

Bulonlu birleşimler hafif çelik yapılarda genellikle beton ile hafif çelik arasında kullanılır. Az da olsa hafif çelik yapı elemanları arasında da kullanılır. Birleşim yapıldıktan sonra sökülüp tekrar kullanılırlar.

İki tip bulon vardır. Bunlar kaba ve uygun bulon olarak tanımlanır.

Hafif çelik yapılarda bulonlu birleşimlerde dört tipte göçme moduyla karşılaşılabılır. Bunlar; Tip 1 levhanın blok halinde yırtılarak göçmesi, Tip 2 bulon yuvasının genişleyerek göçmesi, Tip 3 levhanın yırtılarak göçmesi ve Tip 4 bulonların kesilerek göçmesi modudur. (Yu et al. 2008).



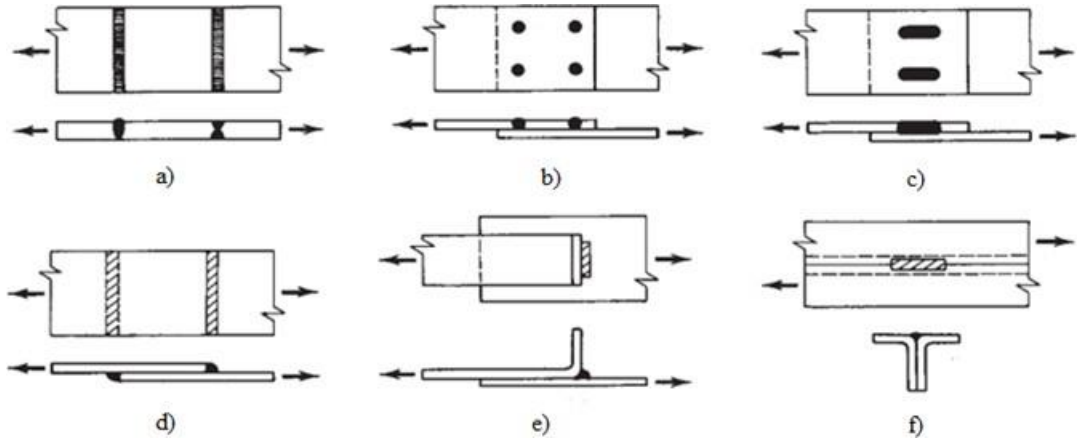
Şekil 2.14.Bulonlu birleşim

2.5.3. Kaynaklı birleşim

Hafif çelik yapılarda genel olarak fazla kullanılan birleşimlerden biriside kaynaklı birleşimdir. Kaynaklı birleşim hafif çelik yapılarda birleşim noktalarına yapılırken, kaynak sırasında yüksek ısıdan dolayı galvaniz kaplamaya zarar vermektedir. Kaynaklı işlemler şantiye alanında uygulanması uzun süreceğinden diğer birleşimlere göre fazla zaman alan birleşimdir. Ayrıca sökölüp tekrar kullanılması oldukça zordur. Diğer birleşimlere göre daha rijittir.

Sıcak ve soğuk haddelenmiş çelik yapılarda kullanılan kaynak çeşitleri oldukça fazladır. Kaynakların uygulama çeşidi fazla olsa da kaynaklarda birleşim için en doğru olanını uygulamak önemlidir. Ayrıca çok kolay uygulama görünen bir kaynak işleminde küçük bir hata payı büyük sorunlara yol açabilir.

Çeşitli kaynak çeşitleri bulunmaktadır. Şekil 2.15'te görüldüğü gibi bu kaynaklar, kaynak çeşitlerinin bazı örnekleridir.



Şekil 2.15.a) Uç uca eklenmiş dikişli kaynak; b) Ark nokta kaynakları; c) Bindirme dikiş kaynakları; d) Köşe kaynağı; e) Kıvrık alın birleşim kaynağı; f) Kıvrık V dikiş kaynağı (Yu et al. 2010)

2.5.4. Perçinli birleşim

Çelik-çelik malzeme arasında birleştirmek için kullanılan birleşimdir. Perçinler, hidrolik veya hava kompresisi ile birleşimi sağlanır. Perçinler kolay kolay sökülemez, sökülse bile tekrar kullanılamazlar. Perçinler kullanılırken hafif çelik malzemeye ezilip zarar verebilir ve galvaniz zarar görebilir.

Perçinli birleşimlere başlanırken profillere delikler açılmalıdır. Bu deliklere çelik alaşımı yerleştirilerek ezilir. Sıkıştırılarak perçin birleşimi gerçekleştirilir.



Şekil 2.16. Perçinli Birleşim

2.5.5. Çiviler

Hafif çelik yapılarda özel yivli çiviler kullanılır. Bağlantı yöntemi olarak pek kullanılmamaktadır. Genellikle çatılarda çatı saclarını ahşap üzerine bağlamak için kullanılır.



Şekil 2.17. Çiviler

2.6. Yangın Hakkında Genel Bilgiler

Geçmişten bu zamana kadar insan hayatı için büyük ve en önemli risklerden biriside yangındır. Yangınlar çeşitli nedenlerden karşımıza çıkar. Yangınlar engellenemez ancak müdahale edilir. Müdahale edilmez için karşımıza büyük felaketler çıkar. Zamanla insanların bilinçlenmeleri artsa da; çevresel ve kullanılan sentetik malzemelerin artmasıyla yangın riski artmaktadır. Genelde insanların büyük sorumsuzluğundan ve bilinçsizliğinden oluşabilmektedir. Yangınlar sadece insanların hatalarından ve sorumsuzluklarından dolayı oluşmamaktadır. Daha büyük sorun olan doğal dış etkenler bulunmaktadır. Bu dış etkenlerden oluşan yangınlara; ağaç dallarının birbirine sürtünmesi, güneş ışınları, yıldırım düşmesi gibi etkenler örnek verilebilir.

İnsanlar yangını kolayca kontrol edebilir. Ancak yangınlar insanların kontrolünden çıkarsa büyük afetlere dönüşebilir. Afete dönüşen yangınlar ekonomik-sosyal olarak hem insanlara hem de ülkeye zarar vermektedir. Yangınlar dünyada ve

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Türkiye’de ileri derecede maddi ve manevi zararlara neden olmuştur. Yangının hayatımızda tehdit olmasını engellememiz için kontrol altına alıp yönetmemiz gerekmektedir.

Yangın; yanıcı maddelerin, yakıcı maddelerle etkileşimi sonucu çevresine farklı oranlarda ısı ve ışık yayarak, kontrol dışına çıkıp yanmasıdır. Yanmanın başlaması için gereken; yanıcı madde (yakıt), yakıcı madde (oksijen) ve tutuşturma (ateşleme kaynağı) uygun koşullarda bir araya gelmesine yanma üçgeni denir. (Şekil 2.18) Yanıcı madde, normal koşullarda katı, sıvı ve gaz halindeki yanabilir maddelerdir. Yanıcı maddeler fiziksel ve kimyasal yapıları gereği farklı yanma özellikleri gösterir. Yakıcı madde, soluduğumuz havada bulunan, yanmanın başlaması ve sürmesi için gereken gaz halindeki maddedir. Tutuşma ısı, yanıcı madde ile yakıcı maddeyi buluşturup tutuşmayı başlatan ateşleme kaynağıdır.



Şekil 2.18. Yangın Üçgeni

Yangın dört evreden oluşmaktadır. Bunlar;

Başlangıç evresi: Başlangıç evresi yangının başlangıç kısmıdır. Bu aşamadaki yangın, fazla riskli değildir. Can ve mal kaybı az görülür. Bu evrede yanma, büyüme hızı az olmakla beraber belli bir bölgede gelişmektedir.

Yüksek sıcaklık evresi: Yangın anında yanmakta olan yanıcı malzemelerden yanmamış gazlar çıkar. Bu gazlar için oksijen ve sıcaklık açısından uygun ortam oluştuğunda patlama meydana gelir. Bu evrede yüksek sıcaklığın yanında, patlamayla oluşan basınçta büyük zararlara neden olur.(Özkan 2002).

Soğuma evresi: Bu evre yangınlarda son evre olan soğuma yani sönme evresidir. Bu evrede ortamdaki yanıcı maddeler bitmiştir ve yangın sönmeye başlamıştır.

2.6.1. Yangın sınıfları

Yangın sınıflandırılması yanmakta olan maddenin türüne göre değişmektedir. Türk standartları ve uluslararası standartlar yangınları dört sınıfa ayırmışlardır:

- A Sınıfı Yangınlar: Katı madde yangınlarıdır. Bu yangın sınıfına örnek olarak odun-kömür-tahta yangınları verilir. Bu yangınlara su, köpüklü soda gibi yangın söndürme cihazları ile müdahale edileceği gibide yanan maddenin uzaklaştırılması bir müdahale yöntemidir.
- B Sınıfı Yangınlar: Yanabilen sıvı maddelerin yangınlarıdır. Bu yangınlara örnek benzin, yağ gibi maddelerin yanması örnek verilir. Bu yangınlara karbondioksit, köpük ve kuru kimyasal tozlu söndürme cihazları ile müdahale edilir.
- C Sınıfı Yangınlar: Yanabilen gaz maddelerin yangınlarıdır. Bu yangınlara örnek doğal gaz, hidrojen gibi yanabilen gazların yangınları örnek verilir. Kuru kimyasal tozlu yangın söndürücüler kullanılarak müdahale edilir.
- D Sınıfı Yangınlar: Yanabilen hafif metallerin ve alaşımların yanmasıyla oluşan yangınlardır. Kum gibi malzemelerle yangına müdahale edilir.

2.6.2. Yangın güvenlik tedbirleri

Yangında alınması gereken en önemli hedef can güvenliğidir. Can güvenliğinin alınması için iki tür önlem vardır. Bunlar aktif sistemler ve pasif sistemlerdir.

2.6.2.1. Aktif sistemler

Aktif yangın sistemleri yapı tamamlandıktan sonra eklenen alana yayılmış yangının hızla kontrol altına alınmasını ve söndürülmesini amaçlayan güvenlik sistemidir. Uyarıcı sistem şeklinde olur ise yangın başlangıcından sonra güvenlik birimlerini uyararak yangına en kısa sürede müdahale edilmesini sağlar. Aktif yangın

güvenlik sisteminin yapılardaki çözümleri, projede yer alan mimar ve tasarım ekibinin fikirleri alınmadan dahil edilmesinden dolayı, pasif yangın sistemlerine göre daha az sınırlar kapsamında yer almaktadır. Aktif yangın güvenlik sistemleri yangına karşı önleyici konumda değil yangınla birlikte harekete geçen sistemlerdir. Yangına müdahale ederek kısıtlama hatta söndürme amacıyla hareket eder.

2.6.2.2. Pasif sistemler

Yapının kullanım amacına bağlı olarak mimari tasarım, yapının statik elemanları, yapı malzeme seçimi gibi etmenler yangının pasif güvenlik sistemlerini oluşturur. Yapıda kullanılan malzemelerin birleşimlerinin yangına karşı direnç göstermeleri gerekir. Ayrıca yangının gelişmesini önleyici özellikte olması gerekir. Proje yapılırken, uyulması gereken genel kuralların yanında, yangın çıkmasını önleyici kurallar ile yangın söndürmeyi kolaylaştıran faktörler de dikkate alınmalıdır. Pasif yangın güvenlik önlemleri aynı zamanda yangın söndürmeyi destekleyecek şekilde olmalıdır.

Bina tasarlanırken uygulanacak mimari proje tasarımlarının başında yangına göre tasarım kuralları gelmektedir. Yangın söndürme, yangından kaçış planları, elektrik tesisatlarının belirlenmesi ve havalandırma gibi nedenler mimari tasarım olanaklarını büyük oranda etkiler.

Yaşadığımız çevrede farklı nedenlere bağlı çeşitli yangın riskleri mevcuttur. Yangın karşısında can ve mal güvenliğinin tam sağlanması için yangın riskinin doğru kavranması gerekmektedir. Yangın riskine karşı önlemlerin uzman kişilerin yanında tüm insanlarca alınması gerekir.

Yangın güvenlik önlemleri yapının proje aşamasından başlayıp yapının kullanım koşullarına kadar bütün aşamaları kapsayan bir bütündür. Yangın güvenlik önlemlerine yapılacak yatırım ilk başta ölü bir yatırım şeklinde görülebilir. Bu önlemler ve yangın güvenlik sistemleri herhangi bir yangın durumunda can ve mal güvenliğinin sigortalarıdır. (Mermer 2008)

Yangına karşı güvenlik önlemi alınırken yapının statik elemanlarının bilinmesiyle alınan önlemler belirlenir. Örneğin betonarme veya çelik bir binada alınması gerekli önlemler birbirinden farklıdır.

2.6.3. Yapılarda yangın

2.6.3.1. Betonarme bir yapıda yangın

Betonarme bir yapıda betonun yangın dayanımı ile ilgili özellikleri yapı sistemini oluşturan çelik ve beton malzemelerinin özelliklerine bağlıdır. Betonarmede kullanılan nervürlü çelikte sıcaklığa karşı oldukça hassastır. Bu nervürlü çeliğin korunması için beton pas payı tabakası görevlenir. Bundan dolayı pas payının yeterli kalınlıkta olması gerekmektedir. Betonarme elemanlarının yangın karşısındaki davranışları yalnız çelik ve beton malzemelerinin özelliklerinden sonuçlanmamaktadır.

Betonarme yapılarda izolasyonlar yapı elemanlarının kesit şekli ve boyutları, çelik türü ve sınıfı, beton pas payı kalınlığı, betondaki agreganın türü, sıva kalınlığı gibi çeşitli önlemlerle alınır.

2.6.3.2. Çelik bir yapıda yangın

Yangın karşısında en çok etkilenen malzeme çelik malzemedir. Çelik malzeme yanan bir malzeme değildir. Ancak yangın karşısında dayanımını kaybedip erime haline kadar gelmektedir. Yangın karşısında çeliğin akma değeri 400 °C civarında emniyet gerilmeleri sınırına düşmektedir. Çekme mukavemeti ise başlangıçta 150-300 °C'ye kadar arttıktan sonra, sıcaklığın daha yüksek sıcaklıklara kadar çıkmasıyla hızla azalmaktadır. Dayanımını kaybetmesi ise 600 °C'de başlar. Bu sıcaklıktan sonra çeliğin elastisite modülü azalmasına neden olur. Akma dayanımı sınırının kaybolmasıyla plastik şekil değiştirmesi oldukça artar. Şekil değiştirmelerinin oldukça artmasıyla yapılarda çökmelere kadar görülür.

Elastisite modülünün değeri 20 °C' da kine kıyasla, 400 °C de, % 15 ve 600 °C de ise % 40 kadar azalır. Bu olay, artan plastik şekil değiştirmelerle birlikte çelik konstrüksiyonların müsaade edilemeyecek kadar büyük şekil değiştirmelerine neden olur. Uzamalar ısı gerilmelerin oluşmasına ve normal olarak yüksek sıcaklıklarda burkulma yapmayan kolonun burkulmasına ve daha düşük taşıma gücü göstermesine neden olabilir. (KILIÇ A.)

2.6.4. Hafif çelik yapılarda yangına dayanıklı boya uygulaması

Pasif yangın koruma yöntemlerinden biri olan yangına dayanıklı boya uygulaması, son yıllarda geliştirilen özellikle çelik yapılarda kullanılan bir yöntemdir. Bu boyalar ortalama 30 dakika ile 3 saat arasında yapıyı korurlar. Sürüldüğünde ince bir film tabakası şeklinde olan bu boyalar, yangın sırasında şişerek izolasyon tabakası oluştururlar. (Şekil 2.19) Yangına karşı uygulanan boyaların amacı, yangın sırasında önceden hazırlanmış kaçış ve müdahale planına göre çelik yapının daha az hasar almasını sağlamaktır. Ayrıca bu boyanın çelik bir yapıda korumaktan başka bir takım avantajları vardır. Bunlar:

- Statik olarak yapıya yükü yoktur.
- Diğer önlemlere göre daha az yer kaplamaktadır.
- Dış etkenlere karşı dayanıklıdır.
- Sökülüp takılacak yer için tekrar kaplama yapılabilir.
- Uygulama yöntemi oldukça az maliyetlidir.
- Renk olarak çeliğe uyum sağlar.

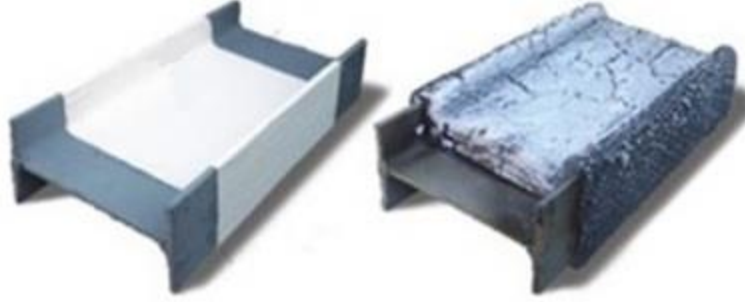
Yangına karşı koruyucu boya tipleri solvent ve su bazlı olmak üzere iki tiptir.

Su bazlı boyalar; çözücüler su olup tek bileşenlidirler. Genelde kuru birim kalınlıkları 1-3 mm arasındadır. Akrilik reçinelerden oluşmaktadırlar. İçerdikleri düşük kimyasal maddeler ile çevre dostudurlar. Daha yumuşak oldukları için darbelere karşı hassastırlar. Düşük sıcaklığı sevmezler. Hızlı kururlar.

Solvent bazlı boyalar; petrol türevi çözücüleridir. Reçineli sistemlerdir. Astar ihtiyacı olmadan doğrudan çelik malzemeye sürülen kuruda 3-25 mm kalınlığındadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Hidrokarbon yangınlarda malzemeyi yaklaşık 3 saate kadar koruyabilmektedir. Sürüldüğünde oluşan kaplama sert darbelere, nem, düşük sıcaklık gibi dış etkenlere oldukça dayanıklıdır. Uygulanması oldukça zordur. Boyanın sürülen her noktada aynı kalınlığı yakalamak oldukça zordur.



Şekil 2.19. Çelik elemana uygulanan intümesan boyanın yangın öncesi ve sonrası durumu

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; yapılan deneysel çalışmada kullanılan aletler, deneyin detayları, deneyin yapılışı ve sonuca giden hesaplamaların nereden geldiği anlatılmaktadır. Deneyler Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi laboratuvarında toplamda 10 adet olarak yapılmıştır. Hafif çelikten oluşan; C profil kiriş, guse levhası ve berkitmeler kullanılmıştır. Birleşim bölgesindeki kırılma ve buruşmalar inceleneceği için rijit sıcak haddelenmiş HEA profil kolon kullanılmıştır. Numuneler, yangına karşı koruyucu intümesan boya sürülerek yangına maruz bırakılmıştır. Laboratuvarda yük uygulanarak moment-dönme eğrileri oluşturulmuştur. Deney sonucunda numuneler gruplar halinde karşılaştırılmıştır. Ayrıca deney sonuçları literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Araştırma bulguları bölümünde detaylandırılmıştır.

3.1. Deneylerde Kullanılan Aletler

Deneylerde kullanılan aletlerin hata payı 0,001 oranındadır. Kullanılan aletler, (fırın hariç) Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi laboratuvarına aittir.

3.1.1. Hidrolik pompa, yükleme hücreleri (Loadcell)

Hidrolik pompa verilen yükü yüklemek için kullanılır. Deneylerde kullanılan yükleme hücresi FUTEK markadır. Maksimum yüklemesi 110 KN kadardır.

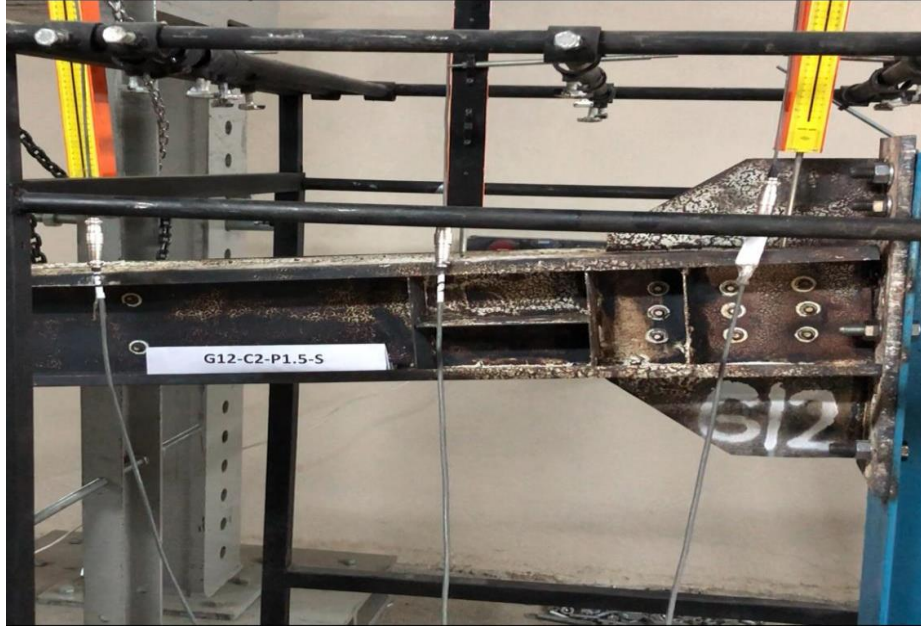
Yükleme hücreleri ise laboratuvarlarda, endüstriyel tesislerde, depolama tanklarında uygulanan yük ya da kuvvet ölçme cihazıdır. Bu cihazların iki yönde çalışanlarına kuvvet sensörü denilmektedir. Yükleme etkisi altında oluşabilecek diyafram etkisi ile iki yönde yüklerinin okumasını sağlamaktadır. Bu yük hücreleri bağlantı aparatları ile hidrolik pompaya bağlanmaktadır. Şekil 3.1’de hidrolik pompa görülmektedir.



Şekil 3.1. Deney düzeneğine yerleştirilen hidrolik pompa ve piston

3.1.2. Deformasyon ölçüm cihazı (LVDT)

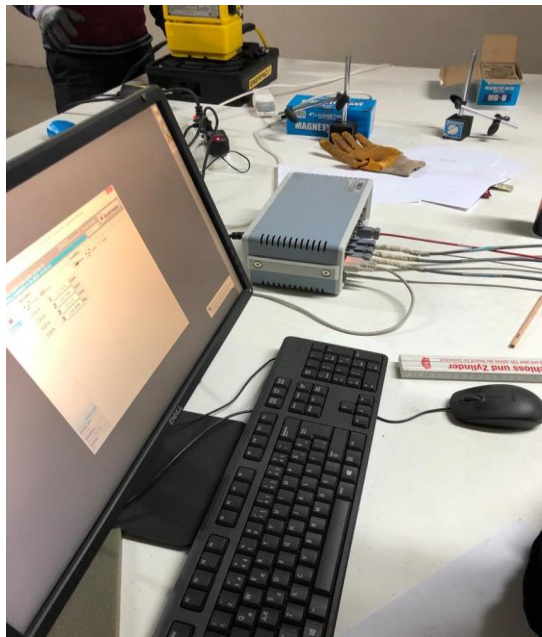
Deformasyon ölçüm cihazları deney düzeneğindeki, yük altında bulunan malzemenin yatay veya düşey deformasyonlarını ölçmek için kullanılır. Bu cihazların en küçüğü 10 mm'den başlayıp 300 mm'ye kadar farklı uzunluk ölçülerinde bulunmaktadır. Hata payı 0,001 mm olarak ölçüm yapmaktadır. Deneylerde kullanılan deformasyon ölçüm aletleri Japonya'da üretilmiştir. Deformasyon ölçüm cihazları deney düzeneğinde sabitlenerek belirli noktalardan ölçüm alıp bilgisayar ortamına aktarmıştır. Şekil 3.2'de deformasyon ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 3.2. Deney düzeneğindeki deformasyon ölçüm cihazları

3.1.3. Veri toplama sistemi (Data-Logger)

Veri kaydedici; zamana veya başka bir sinyal voltajına karşı çizilen sinyal voltajlarını ölçmek ve görüntülemek için doğrudan bir kayıt cihazıdır. Veri toplama sistemi bir bilgisayara bağlı olup aldığı verileri bilgisayara kaydetmektedir. Bu toplanan verileri depolamaktadır. Şekil 3.3'te Data Logger görülmektedir.



Şekil 3.3. Bilgisayar ve Veri Toplama Cihazı

3.1.4. Yangın fırını

Deney numuneleri yangına maruz kalması için fırına ihtiyaç duyulmaktadır. Erzurum teknik üniversitesi laboratuvarında ihtiyaca uygun fırın olmadığı için Karadeniz Teknik Üniversitesinin laboratuvarına götürülerek fırına atılmıştır. Fırının tipi vagon tabanlı fırın olup 2018 yılı üretimidir. Fırın iki farklı parçadan oluşmaktadır. Bu farklı iki parça raylar üzerinde hareket edebilmektedir. Parçalar numuneye yaklaştırılarak deney numunesini içine alabilir ya da uzaklaştırılarak hem deney numunesinin gözlemlenmesine hem de soğutulmasına imkan sağlayabilmektedir. Fırının hacmi 6 m³'tür. Fırın elektrikle çalışmaktadır. Elektrik rezistanslarıyla ısı üretmektedir. Çalışma sıcaklığı 1100 °C olup maksimum sıcaklığı 1120 °C'dir. Ayrıca ISO-FIRE grafikle yangın uygulamaktadır. Fırın, elektrik rezistansları yardımıyla ısı üretmektedir. Fırının dış gövdesi çelik iskelet ve sac kaplamadan oluşmaktadır. Isı kayıplarının önüne geçilmek amacıyla fırın gövdelerinde yüksek sıcaklığa dayanıklı tuğla ve harç ile oluşturulmuş yalıtım katmanı bulunmaktadır. Şekil 3.4' te yangın fırını içten ve dıştan görülmektedir.



Şekil 3.4. Yangın fırınının iç ve dış görüntüsü

3.1.5. Su bazlı Isonem yangına karşı koruma boya (Anti-fire Paint)

Çelik yapılar için 120 dakika yangına karşı dayanıklı boya, yapıların yangından korunması için kullanılmaktadır. Bu boyalar şişerek yangın yalıtımı sağlamaktadır. İntümesan yapıda yangın geciktirici özelliğe sahiptir. Su bazlı bir boyadır. Sürülerek uygulandığı yüzeyde kuruyarak kuru bir tabaka oluşturur. Yangın çıktığı anda kimyasal reaksiyona girerek boya şişer. Yüzeyin sıcaklığının kritik derecelere yükselmesini engeller. Su buharını geçirirler. Su buharını geçirmesinden dolayı uygulandığı yüzeyin nefes almasını engellemez. Hafif çelik ve sıcak hadde çelik yapılarda oldukça kullanışlıdır.

TSE Deney ve Kalibrasyon Merkezi Başkanlığı Laboratuvarı muayene deneyi sonucuna göre;

Deney numunesinin yangın karşısındaki davranış EN 13501-1 B test metodunda geçmiştir.

Deney numunesinin TS EN ISO 11925-2 göre test metodunda;

- Numunelerde tutuşma olmamıştır.
- Alev deney süresi içerisinde 150 mm ölçme çizgisine ulaşılmamıştır.
- Numunelerde damlama olmamıştır.
- Süzgeç kâğıdı yanmamıştır.
- Deney numunesinde sadece erime olmuştur.
- Yanal alevin uzun kolda yayılması olmamıştır.
- Ateşli parçacıklar veya damlacıklar olmamıştır.
- Numuneden çıkan dumanın oda içerisine yayılması olmamıştır.

Boyanın kullanım alanı;

- Her türlü sıvalı iç ve dış yüzeylerde,
- Beton, ahşap ve çelik yapılarda,
- Çatılarda,

- Yangın merdivenlerinde,
- Endüstriyel yapılarda, fabrikalarda,
- Askeri tesislerde, Termik santrallerde.

Uygulama hazırlığına yüzeyler temizlenerek ve kurularak başlanır. Yağ, kir, çamur gibi maddeler temizlenmelidir. Yüzeye uygun astar seçimi yapılmalıdır. Daha sonra astar 4 saat kurumaya bırakılmalıdır.

Uygulama aşamasında boya fırça, rulo ya da uygun bir püskürtücüyle yapılabilir. Kullanmadan önce boya kutusu homojen oluncaya kadar karıştırılmalıdır. Sulandırma yapmadan astar boya sürüldükten sonra hazırlanan yüzeye 4 saat arayla boya uygulaması yapılır. Boya işlemi bitirilir. Dış mekânlarda, su ve yüksek neme maruz kalan iç mekânlarda boya koruyucu son kat olarak fırça, rulo veya uygun bir püskürtücü ile 0,3 – 0,5 kg/m² olarak uygulanır.



Şekil 3.5. Yangına karşı koruyucu intümesan boya

3.2. Deneylerin Yapılışı

Bu çalışma, Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün laboratuvarında yapılmıştır. Deney düzeneklerindeki kirişlerin yapılması için, 1500*6000*1,5 mm ve 1500*6000*2 mm levhalar temin edilmiştir. Bu levhalar CNC makinasıyla 410 mm şeritlere basılmıştır. Daha sonra pres makinasıyla C profil şekline getirilmiştir. Aynı şekilde guse levhalar, alın levha plakaları (20mm) ve berkitme levhaları kesilerek hazırlanmıştır. Guse levhalar alın levha

3. MATERYAL ve YÖNTEM

plakalarına kaynatılmıştır. Tüm kaynak işlemler bittikten sonra kirişler akıllı vidayla birbirine monte edilmiştir. Tüm numuneler hazırlandıktan sonra yıkanmıştır. Numuneler kuruduktan sonra su bazlı intümesan boya ile kademe kademe boyanarak kaplanmıştır. Boya ölçer makinayla ölçülüp tam hatasız bir boya kalınlığı elde edilmiştir. Bu deneysel çalışmada toplamda 10 adet deney hazırlanıp ve yapılmıştır. Deneyler; deney sırası ile, C200 profil kiriş et kalınlığı, guse levha kalınlığı ve birleşimde berkitme kullanıp kullanılmadığına göre isimlendirilmiştir. Örnek olarak G11 deneyinin isimlendirilmesi aşağıda gösterilmiştir.

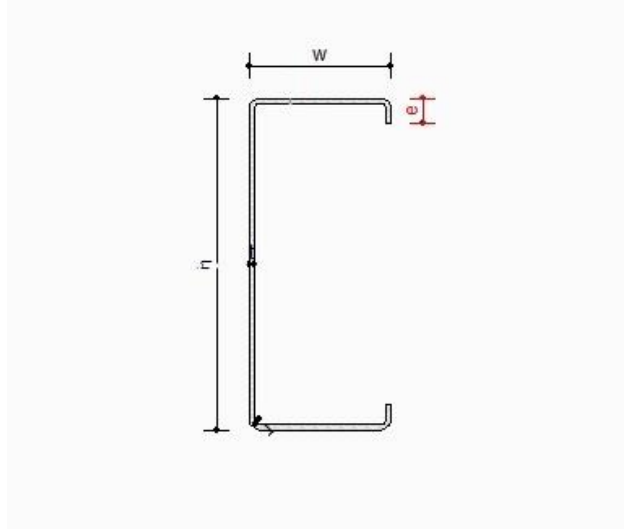
G11-C1.5-P1.5-S

- G11; Deney ismini
- C1,5; C200 profil et kalınlığının 1,5mm olduğunu,
- P1,5; Guse Levhasının et kalınlığının 1,5 mm olduğunu,
- S; Berkitme levhasının olduğunu belirtir.

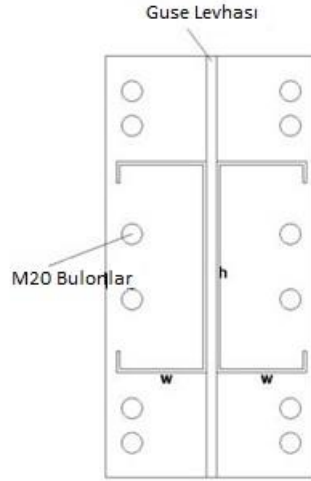
Çizelge 3.1. Deneylerimizin isimleri ve deneylerin tüm özellikleri

Grup	Deney No	Kiriş Boyutları	Kiriş Yükseklik h (mm)	Kiriş Genişlik w(mm)	İç uzunluk e (mm)	C Kesit Kalınlık t (mm)	Guse Levhası Kalınlık (mm)	Boya Kalınlığı (mikron)	Berkitme
P1.5-200	G11-C1.5-P1.5-S	C-200*85*20	200	85	20	1,5	1,5	200	VAR
	G12-C2-P1.5-S	C-200*85*20				2	1,5		VAR
	G13-C1.5-P1.5	C-200*85*20				1,5	1,5		YOK
	G14-C2-P1.5	C-200*85*20				2	1,5		YOK
P2-200	G15-C1.5-P2-S	C-200*85*20				1,5	2		VAR
	G16-C2-P2-S	C-200*85*20				2	2		VAR
	G17-C2-P2	C-200*85*20				2	2		YOK
P3-200	G18-C2-P3	C-200*85*20				2	3		YOK
P1.5-400	G21-C1.5-P1.5-S	C-200*85*20				1,5	1,5	400	VAR
	G22-C2-P1.5-S	C-200*85*20				2	1,5		VAR

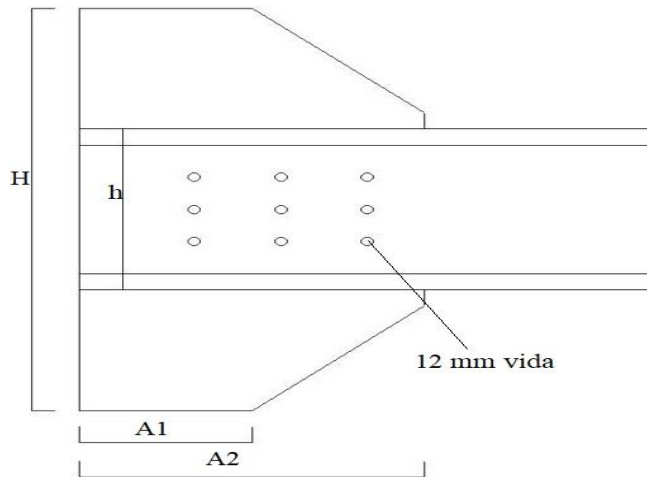
Çizelge 3.1’de verilen kiriş yüksekliği (h), kiriş genişliği (w) ve kiriş iç uzunluğu (e) şekil 3.6’da kesit üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Hafif çelik kirişlerin boyutlandırılması



Şekil 3.7. Kirişlerin birleşim kesitleri ön kesit



Şekil 3.8. Kirişlerin birleşim kesitleri yan kesit

Çizelge 3.2. Şekil 3.8’de verilen değerler

A1(cm)	A2(cm)	h(cm)	H(cm)
150	300	200	250



Şekil 3.9. Deney düzeneği ve pompa

Deneyler hazırlandıktan sonra, standart yangın eğrisi grafiğine göre yangına maruz bırakılması için fırına konulmuştur. Erzurum Teknik Üniversitesinde ihtiyaca uygun fırın olmadığı için Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin laboratuvarında fırına konulmuştur. Şekil 3.10 tüm numunelerin yangından önce boyalı hali görülmektedir.



Şekil 3.10. Fırına atılmak üzere intümesan boya kaplanan kiriş numuneleri

Yangın karşısında yapının yapısal bütünlüğünü koruması için yangına maruz süresi belirlenmektedir. Bu süreye istinaden numunelerimiz Eurocode 1 (ISO 8 3 4) de standart yangın eğrisine göre yangına maruz bırakılmıştır. (Şekil 3.11)



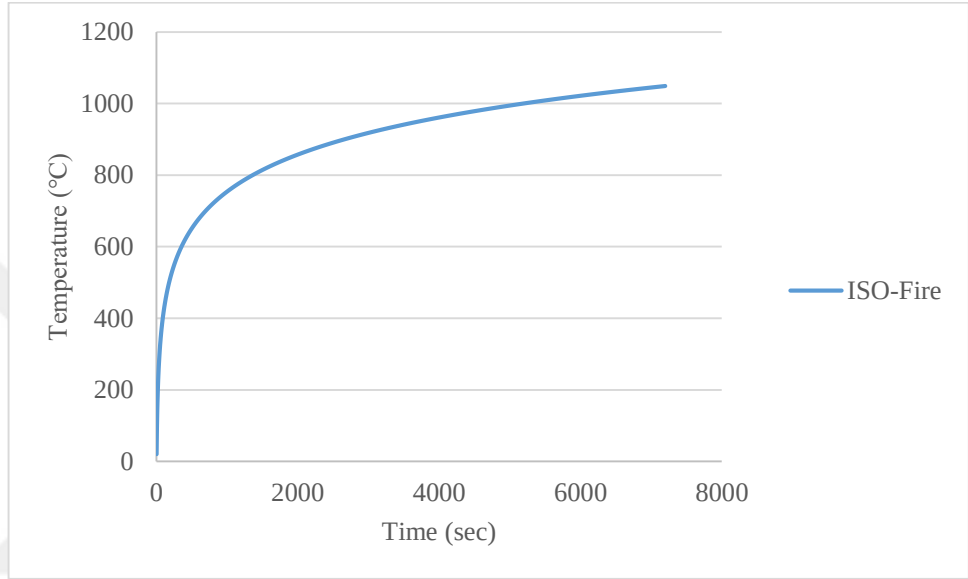
Şekil 3.11.Fırın ve fırına atılan kiriş numuneleri

Yangın eğrisi Eurocode 1 de aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Şekil 3.12. deki sıcaklık-zaman grafiği oluşturulmuştur.

$$\text{Standard yük-zaman grafiği: } \Theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

Θ_g : Yangın Bölmesindeki Gaz Sıcaklığı

t: Zaman



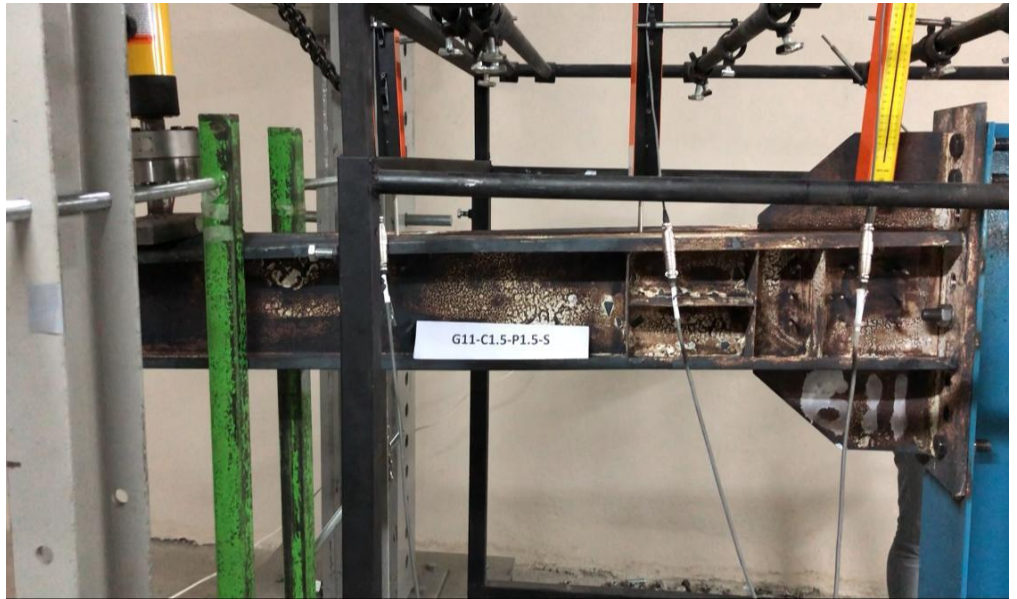
Şekil 3.12. Standart yangın eğrisi

Numunelerimiz fırında 7200 saniye, şekil 3.12’de verilen logaritmik artan yangın sıcaklığına göre beklemiştir. 7200 saniye sonra fırından çıkarılmıştır. Oda sıcaklığında soğutulmuştur.

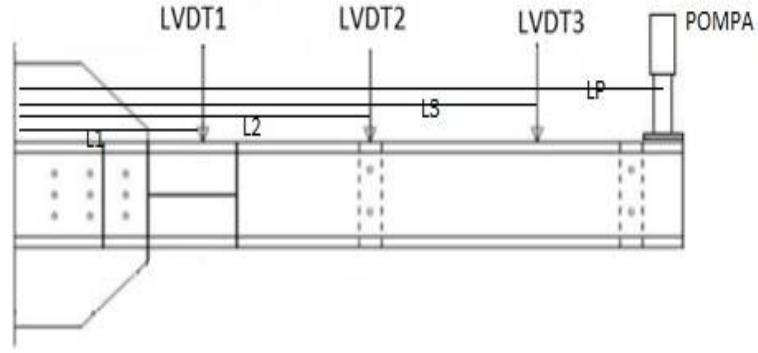


Şekil 3.13. Fırından çıkarılan kiriş numuneleri

Fırından çıkan numunelerimiz Erzurum Teknik Üniversitesinin laboratuvarında HEA 200 kolona bulonlu birleşim yapılarak çerçeve oluşturuldu. Sonra bu çerçeveler üzerine deformasyon ölçüm cihazları (kiriş üzenine) yerleşildi. Konulan deformasyon ölçüm cihazlarının (LVDT1, LVDT2 ve LVDT3) ve pompanın kolon-kiriş birleşim bölgesine olan konumları şekil 3.15 de uzaklıkları ise çizelge 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Laboratuvarda oluşturulan deney düzeneği

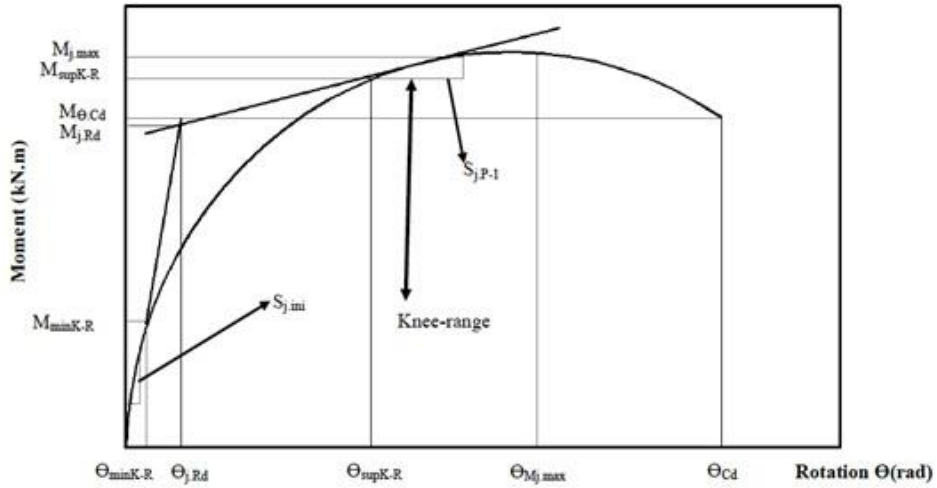


Şekil 3.15. Deformasyon ölçüm cihazlarının kiriş kesiti üzerinde konumu

Çizelge 3.3. Konulan deformasyon ölçüm cihazlarının ve pompanın kolon-kiriş birleşim bölgesine olan uzaklıkları

DENEY NO	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	LP(YÜK)(cm)
G11-C1.5-P1.5-S	12,50	48,50	90,00	131,50
G12-C2-P1.5-S	10,00	47,00	90,50	131,00
G13-C1.5-P1.5	12,50	48,00	91,50	131,50
G14-C2-P1.5	11,00	47,50	92,50	131,50
G15-C1.5-P2-S	12,50	49,50	91,00	130,50
G16-C2-P2-S	12,70	50,50	92,00	132,00
G17-C2-P2	13,00	48,00	94,00	131,50
G18-C2-P3	12,00	49,00	92,00	131,00
G21-C1.5-P1.5-S	12,50	48,50	90,00	130,00
G22-C2-P1.5-S	11,00	48,00	91,00	131,00

Bilgisayar ortamına alınan değerlerle deformasyon-zaman grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerden Eurocode-3 yönetmeliğindeki tasarımla moment-dönme özellikleri ve grafikleri belirlenmiştir. Şekil 3.16'da verilen grafikte moment-dönme eğrisi, eğilme momenti ($M_{j,Rd}$) ile bu momente karşılık gelen dönme ($\Theta_{j,Rd}$), maksimum moment ($M_{j,max}$) ile bu momente karşılık gelen dönme ($\Theta_{Mj,max}$) ve eğilme moment kapasitesi ($M_{\Theta,Cd}$) ile bu momente karşılık gelen dönme (Θ_{cd}) arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Knee-range bölgesi elastik bölge ile plastik bölge arasına çizilen teğetin arasında kalan mesafedir.



Şekil 3.16. Moment-Dönme eğrisi

Bir moment-dönme eğrisinden; Moment dayanımı (moment resistance), Dönme rijitliği (rotational stiffness), dönme kapasitesi (rotation capacity), birleşim duktilitesi (joint ductility), birleşim maksimum yük duktilitesi (maximum load ductility of the joint) değerleri çıkar.

Bu değerler;

- Moment dayanımı ($M_{j,Rd}$); moment-dönme eğrisindeki maksimum momente eşittir.
- Dönme rijitliği (S_{ij}); Başlangıç rijitliği $S_{j,ini}$ elastik bölgenin eğimine, bitiş rijitliği $S_{j,p-1}$ plastik bölgenin eğimine eşittir.
- Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}); moment-dönme eğrisindeki maksimum dönmeye eşittir.
- Birleşim duktilitesi ($\Psi_j = \Theta_{Cd} / \Theta_{MRd}$); dönme kapasitesinin dönme moment dayanımına oranına eşittir.
- Birleşimin maksimum yük duktilitesi ($\phi_{maxload} = \theta(M_{j,max}) / \theta_{M_{Rd}}$); maksimum momentteki dönmenin moment dayanımındaki dönmeye oranına eşittir.

Bose ve arkadaşları 1996 yılında moment dayanımı, dönme rijitliği ve dönme kapasitesini elde etmek için deney yapmışlardır. Çalışmalarında 18 gruptan oluşan bir deneysel çalışma yapmışlardır. Ayrıca Bose ve arkadaşları, 1991 yılında sonlu elemanlar yoluyla birleşimlerin moment-dönme eğrisini elde etmişlerdir.

3.2.1. Deneysel verilerin formüllere çevrilmesi

Bu çalışmada amaç moment-dönme davranışını incelemektir. Bu nedenle kirişin mesnetleri ankastre olacak ve mesnetlerdeki moment aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$M=PL$$

Burada; P= Eksenel yük, L= Kiriş açıklığıdır.

Şekil 3.14.'de görüldüğü gibi yatay ve dikey deformasyon ölçüm cihazları deplasmanları ölçülerek aşağıdaki formüller ile kirişlerde ve birleşimlerdeki dönme hesaplanmıştır. (Coelho ve Bijlaard).

Deney sistemi

Diferansiyel yöntemle göre sabit yük altında çeliğin dönme açısının bulunması için;

$$\int \int \int EIV = -P \Rightarrow \int \int EIV - PX + C_1 \Rightarrow \int EIV = (-PX^2/2) + C_1X + C_2$$

Burada;

E= Kirişin elastisite modülü

I = Kirişin atalet momenti

X=0, $\Theta=0$ için $\rightarrow C_2=0$

X=L, M=0 için $\rightarrow C_1=PL$

X=0, $\delta=0$ için $\rightarrow C_3=0$

Burada;

Θ = Kirişin dönme değeri

δ = Kirişin deplasmanı

b= kiriş

f_b = kirişin başlığı

$$\mathcal{Z}_{b,el}(DT_i) = -P/E_b I_b (x^3 DT_i/6) - L_{load} (x^2 DT_i/2)$$

$$\Theta_b = \arctan(\mathcal{Z}_{DT1} - \mathcal{Z}_{DT4} - \mathcal{Z}_{b,el}(DT_1))/L_1 = \arctan(\mathcal{Z}_{DT2} - \mathcal{Z}_{DT4} - \mathcal{Z}_{b,el}(DT_2))/L_2$$

4.ARAŞTIRMA BULGULARI

Gerçek ölçekli yapılan bu deneysel çalışmalarda kirişler hafif çelik malzemeden olan C200 profillerinden oluşmuştur. C200 profil yüksekliği 20 cm olup, üst ve alt kenar genişliği 8,5 cm'dir. Et kalınlığı deney numunelerinde değişmektedir. Deneyde iki adet C200 profili sırt sırta getirilerek arasına guse levhası konulup 12 mm çapında akıllı vidalarla birleşimi yapılmıştır. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1.Boyalı Kiriş-Alın Levhası-Guse Levha Birleşimi

Bu tezin amacı doğrultusunda numuneler su bazlı intümesan boya ile 8 adet kiriş numunesi 200 mikron, 2 adet kiriş numunesi ise 400 mikron boyanmıştır. Bu boyanın kullanım amacı, yangın karşısında koruma özelliğini göstererek hafif çelik yapı elemanlarının yapısal bütünlüğünün korunmasını sağlamaktadır.

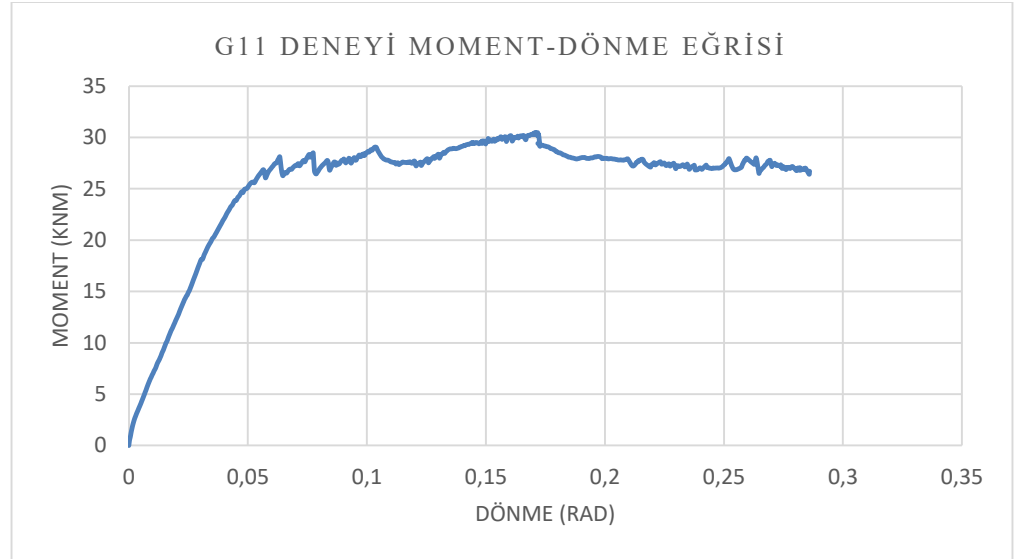
Boyanan numuneler yangın sıcaklık derecesine kadar standart yangın eğrisi sıcaklığında 120 dakika fırında ısıtılmıştır. Fırından çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Yangına maruz kalan kirişler laboratuvara getirilerek deney

çerçeveleri oluşturulmuştur. Numunelere pompa ile yük yüklenmiştir. Yük ve yangına maruz kalan numunelerle hatasız deneyler yapılmıştır. Oluşan deformasyonlar, deformasyon ölçüm cihazıyla ölçülerek bilgisayara aktarılmıştır.

4.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.1.1. P1.5-200 grup deneyi

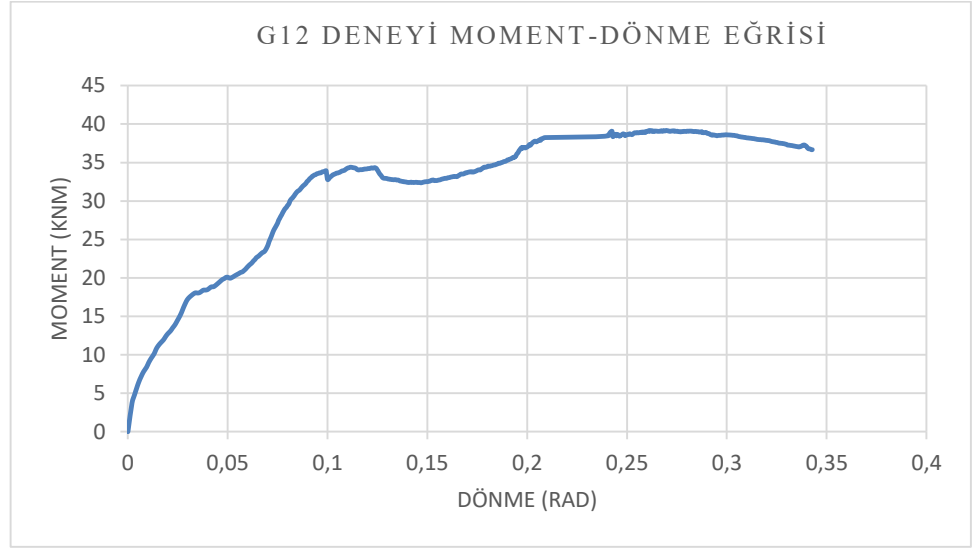
Bu grupta toplam 4 adet deney yapılmıştır. Bu deneyler G11-G12-G13-G14 isimli deneylerdir. Birinci Deney adı G11 olup C200 profil et kalınlığı 1,5 mm, guse levhasının et kalınlığı 1,5 mm'dir. Berkitme levhası kullanılmıştır. Yangına karşı intümesan boya ile 200 mikron boyanmıştır. Deney numunesi fırından çıkarıldığında buruşmaya uğramıştır. Bölüm 3'te şekil 3.16'daki formüllere göre moment-dönme eğrisi çizilmiştir ve moment-dönme özellikleri belirlenmiştir. Şekil 4.2'de oluşturulan grafikte moment dayanımı, birleşimin rijitliği ve dönme kapasitesi Eurocode-3 teki formüllere göre hesaplanmıştır. Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2.G11-C1.5-P1.5-S Deneyi moment-dönme grafiği

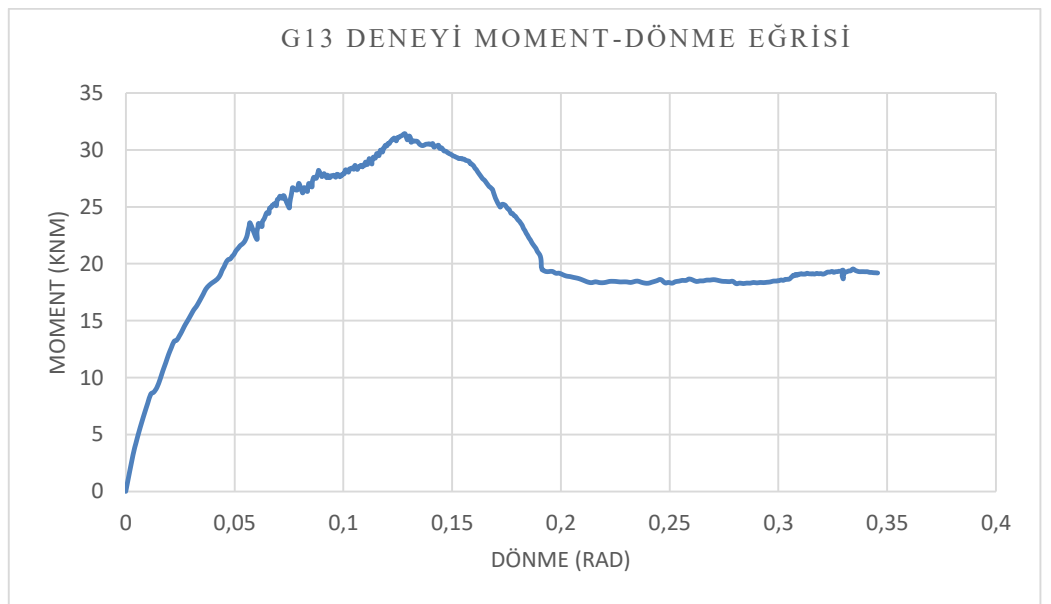
Bu grubun ikinci deneyi G12 isimli deney olup C200 profil et kalınlığı 2 mm, guse levhasının et kalınlığı 1,5 mm'dir. Berkitme levhası kullanılmıştır. Yangına karşı intümesan boya ile 200 mikron boyanmıştır. Deney numunesi fırından çıkarıldığında

buruşmaya uğramıştır. Aynı G11 isimli deney gibi moment-dönme eğrisi (şekil 4.3) çizilmiştir ve özellikleri çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.3.G12-C2-P1.5-S Deneyi moment-dönme grafiği

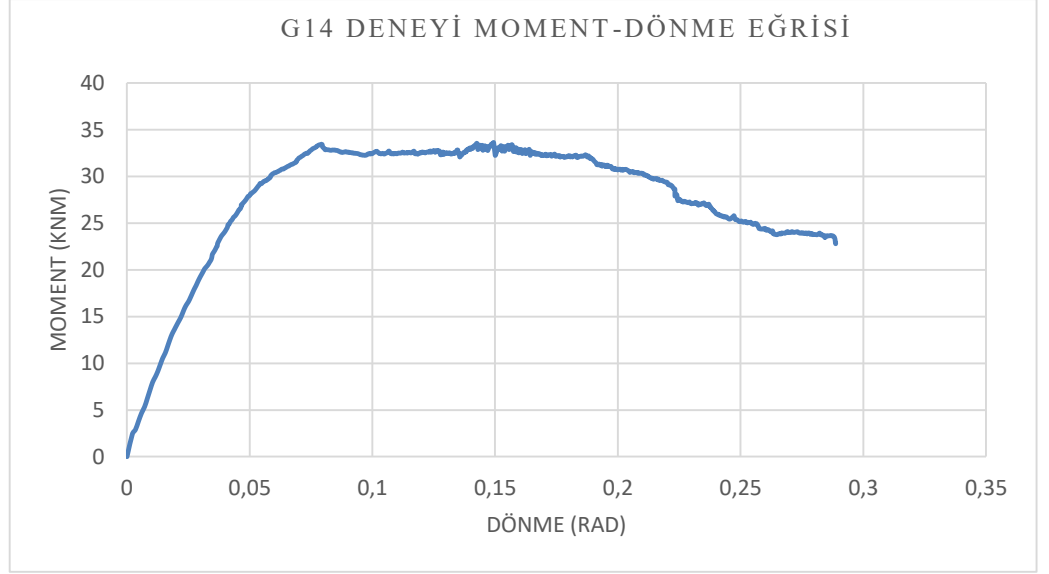
Üçüncü deneyin adı G13 olup C200 profil et kalınlığı 1,5 mm, guse levhasının et kalınlığı 1,5 mm’dir. Berkitme levhası kullanılmamıştır. Yangına karşı intümesan boya ile 200 mikron boyanmıştır. Deney numunesi fırından çıkarıldığında buruşmaya uğramıştır. Aynı G12 isimli deney gibi moment-dönme eğrisi (şekil 4.4) çizilmiştir ve özellikleri çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.4.G13-C1.5-P1.5 Deneyi moment-dönme grafiği

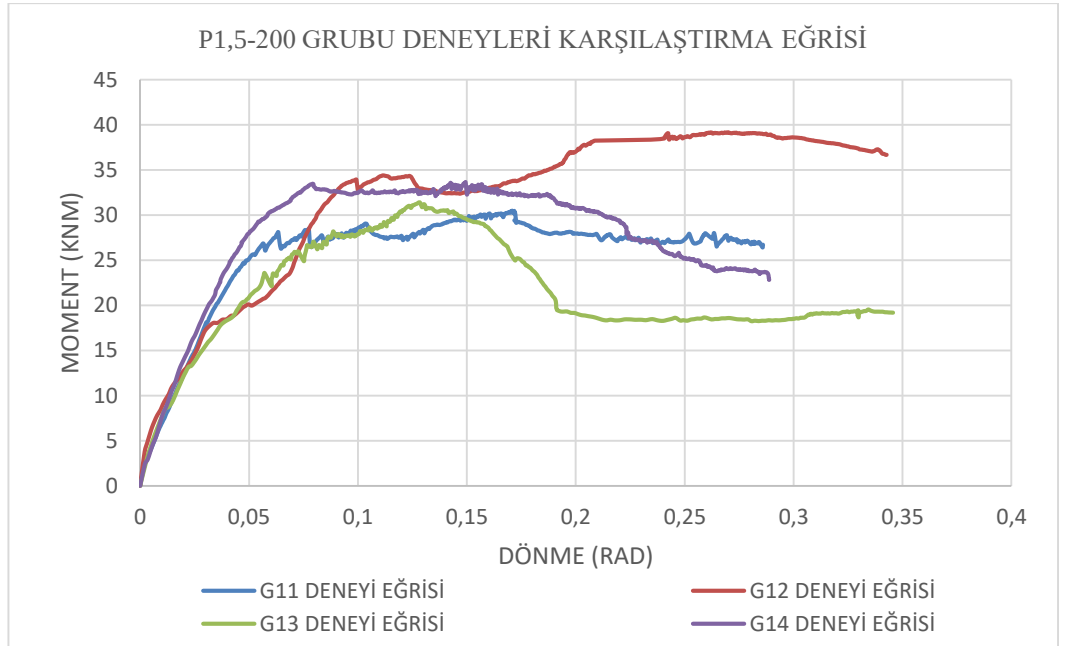
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu grubun son deney adı ise G14 olup C200 profil et kalınlığı 2 mm, guse levhasının et kalınlığı 1,5 mm'dir. Berkitme levhası kullanılmamıştır. Yangına karşı intümesan boya ile 200 mikron boyanmıştır. Aynı G13 isimli deney gibi moment-dönme eğrisi (şekil 4.5) çizilmiştir ve özellikleri çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.5.G14-C2-P1.5 Deneyi moment-dönme grafiği

Çizilen grafikler şekil 4.6'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.6.P1,5-200 grubu deneyleri karşılaştırma eğrisi

Çizelge 4.1. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri

Deney Adı	DAYANIM (KN.m)				RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)					ENERJİ
	KR (knee range)	Mj. Rd	Mj.m ax	MØ Cd	Sj.i ni	Sj.p -I	Sj.ini/Sj.p-I	ØM. Rd	ØMin. K.R	ØMsup. k.R	ØMj.m ax	ØCd	KN.m*r ad
G11-C1.5-P1.5-S	20,75-27,76	27,07	30,33	26,7	0,38	9,6	0,039	0,047	0,036	0,062	0,17	0,28	7,38
G12-C2-P1.5-S	5,67-37,83	33,4	39,1	36,66	0,2	9,8	0,02	0,035	0,0043	0,205	0,27	0,34	12,87
G13-C1.5-P1.5	8,71-25,73	21,85	31,41	19,18	0,19	1,98	0,095	0,02	0,012	0,071	0,128	0,34	8,6
G14-C2-P1.5	13,15-33,11	32,25	33,11	22,84	0,33	7,87	0,04	0,04	0,018	0,076	0,076	0,28	7,83

Çizelge 4.1'e ve Şekil 4.6'ya bakarak G11 isimli deneyle G12 isimli deney karşılaştırılmıştır. Dayanım, profil kalınlığı arttığında artış göstermektedir. Bu artış; moment dayanımında (Mj.Rd) 23,38 %, maksimum momentte (Mj.max) 28,92 % ve kritik momentte (MØCd) 37,30 % oranındadır. Rijitlik ($Sj.ini/Sj.p^{-1}$), profil kalınlığı arttığında 95 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde, profil kalınlığı artmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{Mj.max}$) ve dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri sırayla 58,82 % ve 21,42 % artmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi profil kalınlığı artmasıyla 74,39 % artmıştır. Sonuç olarak, profil kalınlığı arttıkça birleşimin kapasitesi artmaktadır.

Çizelge 4.1'e ve Şekil 4.6'ya bakarak G13 isimli deneyle G14 isimli deney karşılaştırılmıştır. Dayanım, profil kalınlığı arttığında artış göstermektedir. Bu artış moment dayanımında (Mj.Rd) 47,60 %, maksimum momentte (Mj.max) 5,41 % ve kritik momentte (MØCd) 19,08 % oranındadır. Rijitlik ($Sj.ini/Sj.p^{-1}$), profil kalınlığı arttığında 137.5% azalmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde, profil kalınlığı artmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{Mj.max}$) ve dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri sırayla 68.42% ve 21.43% oranında azalmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi profil kalınlığı artmasıyla 9.8% azalmıştır. Sonuç olarak, profil kalınlığı arttıkça birleşimin kapasitesi artmıştır.

Çizelge 4.1'e ve Şekil 4.6'ya bakarak G11 isimli deneyle G13 isimli deney karşılaştırılmıştır. Yani berkitmeli deneyle berkitmesiz deney karşılaştırılmıştır. Dayanım berkitme kullanılmasıyla incelenmiştir ve moment dayanımı ($M_{j.Rd}$) 23,89 % oranında artmış , maksimum moment ($M_{j.max}$) 3,44 % oranında azalmış ve kritik moment (M_{OCd}) 39,21% oranında artmıştır. Rijitlik ($S_{j.ini}/S_{j.p^{-1}}$), berkitme kullanılmasıyla 143.59% azalmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde, berkitme kullanılmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{M_{j.max}}$) ve dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri sırayla 32,81 % oranında artmış ve 21.42% oranında azalmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi berkitme levhası kullanılmasıyla 16.53% azalmıştır.

Çizelge 4.1'e ve Şekil 4.6'ya bakarak G12 isimli deneyle G14 isimli deney karşılaştırılmıştır. Yani berkitmeli deneyle berkitmesiz deney karşılaştırılmıştır. Dayanım incelendiğinde, berkitme kullanılmasıyla moment dayanımı ($M_{j.Rd}$) 3.57 % oranında artmıştır, maksimum moment ($M_{j.max}$) 18,09 % oranında artmış ve kritik moment (M_{OCd}) 60,51 % oranında artmıştır. Rijitlik ($S_{j.ini}/S_{j.p^{-1}}$), berkitme kullanılmasıyla 100% azalmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde, berkitme kullanılmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{M_{j.max}}$) ve dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri sırayla 255,26 % ve 21,42 % oranında artmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi berkitme levhası kullanılmasıyla 64,37 % oranında artmıştır.

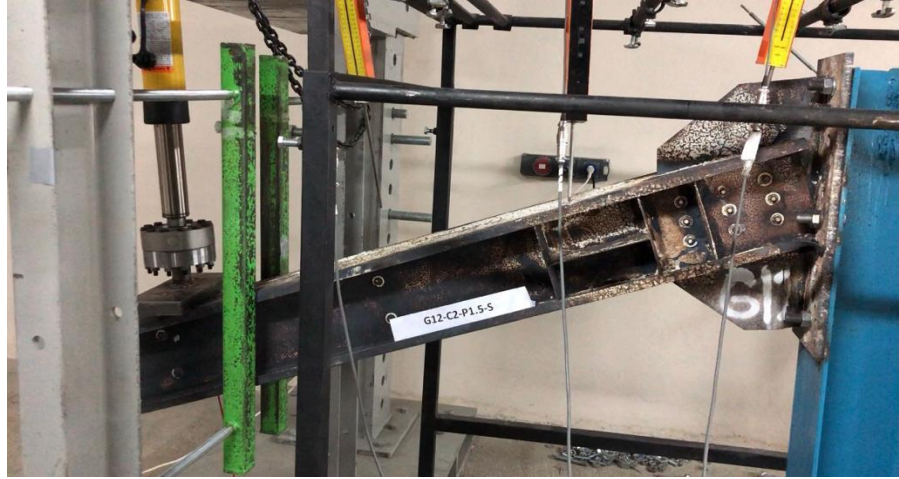
Genel olarak, profilin et kalınlığı arttığında berkitmeli ve berkitmesiz deneylerde dayanım artmakta olup rijitlik azalmaktadır. Dönme; berkitmeli deneylerde artmakta olup berkitmesiz deneylerde ise azalmaktadır. Ayrıca, berkitme levhası kullanılmasıyla kritik dayanım artmakta, rijitlik azalmakta ve maksimum dönme artmaktadır.

Deney sonunda dört farklı göçme modu görülmektedir. Bunlar; berkitme buruşması, akıllı vida kesmesi, kiriş buruşması ve levhanın yırtılmasıdır.

Çizelge 4.2'de deneylerin göçme modelleri sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.7. G11-C1.5-P1.5-S Deneyi göçme modu



Şekil 4.8. G12-C2-P1.5-S Deneyi göçme modu



Şekil 4.9. G13-C1.5-P1.5 Deneyi göçme modu



Şekil 4.10.G14-C2-P1,5 Deneyi göçme modu

Çizelge 4.2. Göçme modları

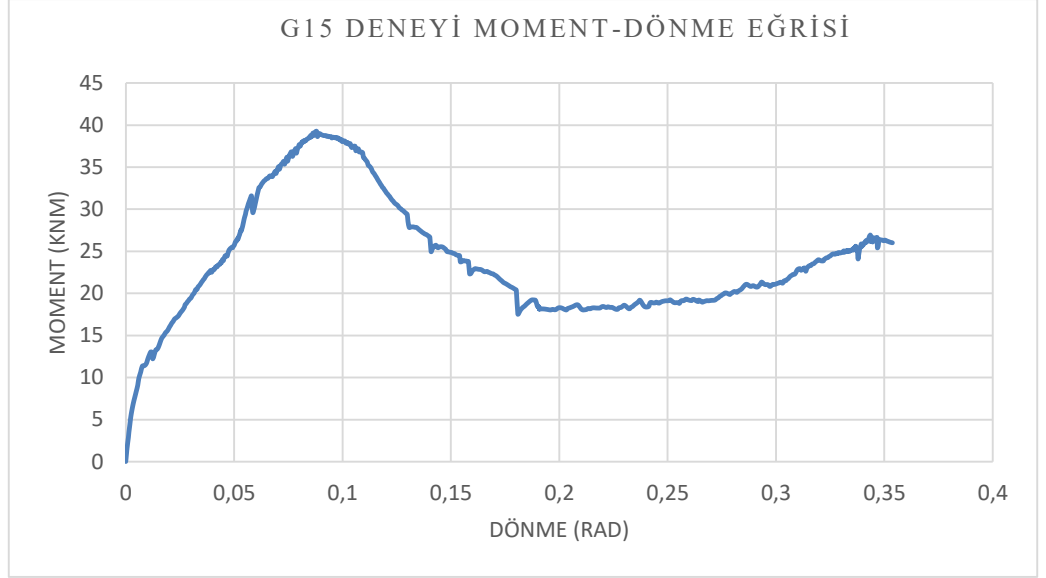
Deney Adı	Guse Buruşması	Akıllı vida	Kiriş	Levha Yırtılması
G11-C1.5-P1.5-S	✓	✓		
G12-C2-P1.5-S	✓	✓		
G13-C1.5-P1.5			✓	
G14-C2-P1.5	✓	✓		

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi berkitme levhası kullanılan deney düzeneklerinde guse buruşması ve akıllı vida göçmesi meydana gelmiştir. Profil et kalınlığının artmasıyla deney düzeneklerinde, kiriş buruşma modunun yerini guse buruşma modu ve akıllı vida göçme modu almıştır.

4.1.2. P2-200 grup deneyi

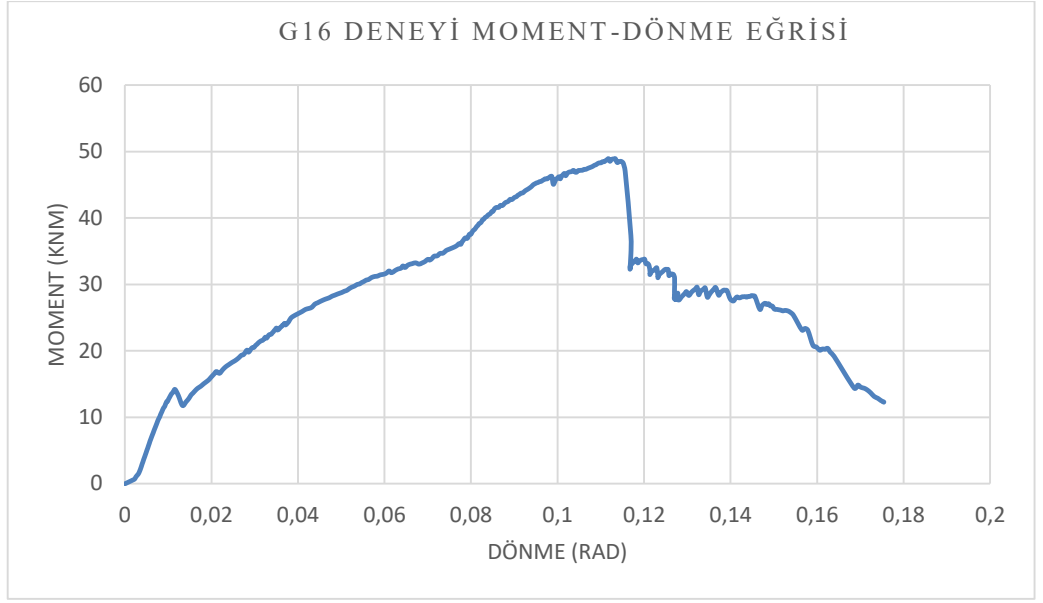
Bu grupta toplam 3 adet deney yapılmıştır. Bu deneyler G15-G16-G17 isimli deneylerdir. Birinci Deney adı G15 olup C200 profil et kalınlığı 1,5 mm, guse levhasının et kalınlığı 2 mm’dir. Berkitme levhası kullanılmıştır. Yangına karşı intümesan boya ile 200 mikron boyanmıştır. Deney numunesi fırından çıkarıldığında buruşmaya uğramıştır.

Bölüm 3’te şekil 3.16’daki formüllere göre moment-dönme eğrisi çizilmiştir ve moment-dönme özellikleri belirlenmiştir. Şekil 4.11’de oluşturulan grafikte moment dayanımı, birleşimin rijitliği ve dönme kapasitesi Eurocode-3 teki formüllere göre hesaplanmıştır. Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.



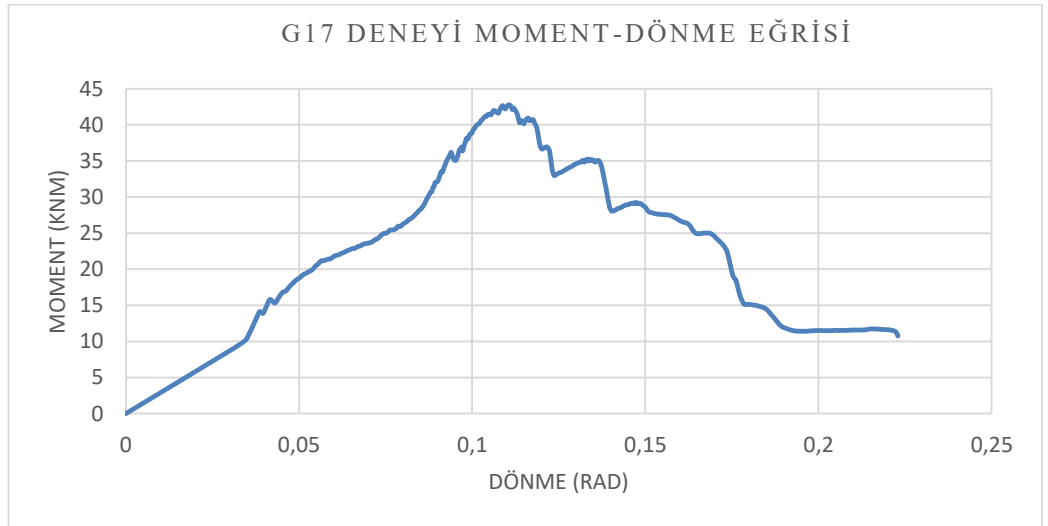
Şekil 4.11.G15-C1.5-P2-S deneyi moment-dönme grafiği

Bu grubun ikinci deneyi G16 isimli deney olup C200 profil et kalınlığı 2 mm, guse levhasının et kalınlığı 2 mm’dir. Berkitme levhası kullanılmıştır. Yangına karşı intümesan boya ile 200 mikron boyanmıştır. Deney numunesi fırından çıkarıldığında buruşmaya uğramıştır. Aynı G15 isimli deney gibi moment-dönme eğrisi (şekil 4.12) çizilmiştir ve özellikleri çizelge 4.3’de verilmiştir. Deney eğrisinde ani düşüş görülmüştür. Bu düşüş pompa uzunluğunun kısa gelmesinden dolayı pompa yerinin değiştirilip yüklemeye devam edilmesinden oluşmuştur.



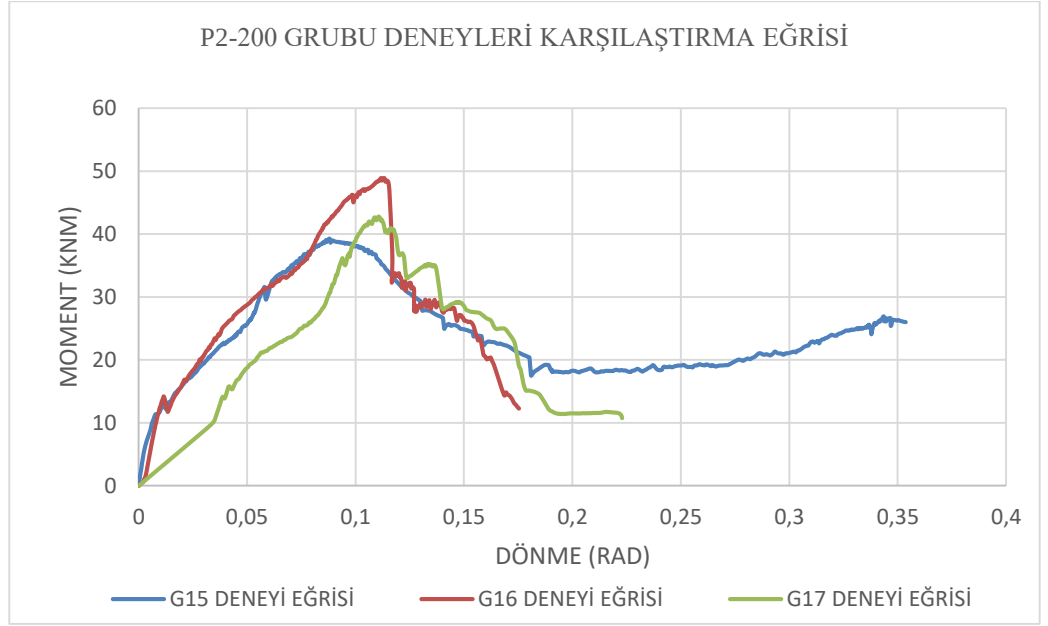
Şekil 4.12.G16-C2-P2-S deneyi moment-dönme grafiği

Üçüncü deneyin adı G17 olup C200 profil et kalınlığı 2 mm, guse levhasının et kalınlığı 2 mm'dir. Berkitme levhası kullanılmamıştır. Yangına karşı intümesan boya ile 200 mikron boyanmıştır. Deney numunesi fırından çıkarıldığında buruşmaya uğramıştır. Aynı G16 isimli deney gibi moment-dönme eğrisi (şekil 4.13) çizilmiştir ve özellikleri çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.13.G17-C2-P2 deneyi moment-dönme grafiği

Çizilen grafikler şekil 4.14’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.14. P2-200 grubu deneylerinin karşılaştırma eğrisi

Çizelge 4.3. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri

Deney Adı	DAYANIM (KN.m)				RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)					ENERJİ
	KR (knee range)	Mj.Rd	Mj.max	MÖCd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	ΘM.Rd	ΘMin.K.R	ΘMsup.k.R	ΘMj.max	ΘCd	KN.m*rad
G15-C1.5-P2-S	11,33-39,11	36,25	39,11	26,01	0,15	5,46	0,027	0,024	0,007	0,087	0,087	0,35	11,39
G16-C2-P2-S	13,29-48,29	42,74	48,89	12,3	0,5	8,4	0,06	0,036	0,012	0,11	0,11	0,175	5,35
G17 -C2-P2	13,89-41,83	41,83	42,64	10,74	0,98	1,56	0,62	0,106	0,039	0,106	0,111	0,222	5,92

Çizelge 4.3’e ve Şekil 4.14’e bakarak G15 isimli deneyle G16 isimli deney karşılaştırılmıştır. Dayanım, profil kalınlığı arttığında artış göstermektedir. Bu artış; moment dayanımında (Mj.Rd) 17,90 %, maksimum momentte (Mj.max) 25 % oranındadır. Kritik momentte (MÖCd) ise 111,46 % oranında azalma olmuştur. Rijitlik ($Sj.ini/Sj.p^{-1}$), profil kalınlığı arttığında 122,22 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde, profil kalınlığı artmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{Mj.max}$) 26,44 % artarken, dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 100 % oranında azalmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi profil kalınlığı artmasıyla 112,90 % azalmıştır.

Çizelge 4.3'e ve Şekil 4.14'e bakarak G16 isimli deneyle G17 isimli deney karşılaştırılmıştır. Yani berkitmeli deneyle berkitmesiz deney karşılaştırılmıştır. Dayanım; berkitme kullanılmasıyla moment dayanımı ($M_{j.Rd}$) 2,18 % oranında artmış , maksimum moment ($M_{j.max}$) 14,66 % oranında artmıştır ve kritik moment ($M_{\Theta Cd}$) 14,53 % oranında artmıştır. Rijitlik ($S_{j.ini}/S_{j.p^{-1}}$), berkitme kullanılmasıyla 933,33 % azalmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde berkitme kullanılmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{M_{j.max}}$) 0,91 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) ise 26,86 % oranında azalmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi berkitme kullanılmasıyla 10,65 % azalmıştır.

Çizelge 4.4'te göçme modelleri sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.15.G15-C1,5-P2-S Deneyi göçme modu



Şekil 4.16.G16-C2-P2-S deneyi göçme modu



Şekil 4.17.G17-C2-P2 deneyi göçme modu

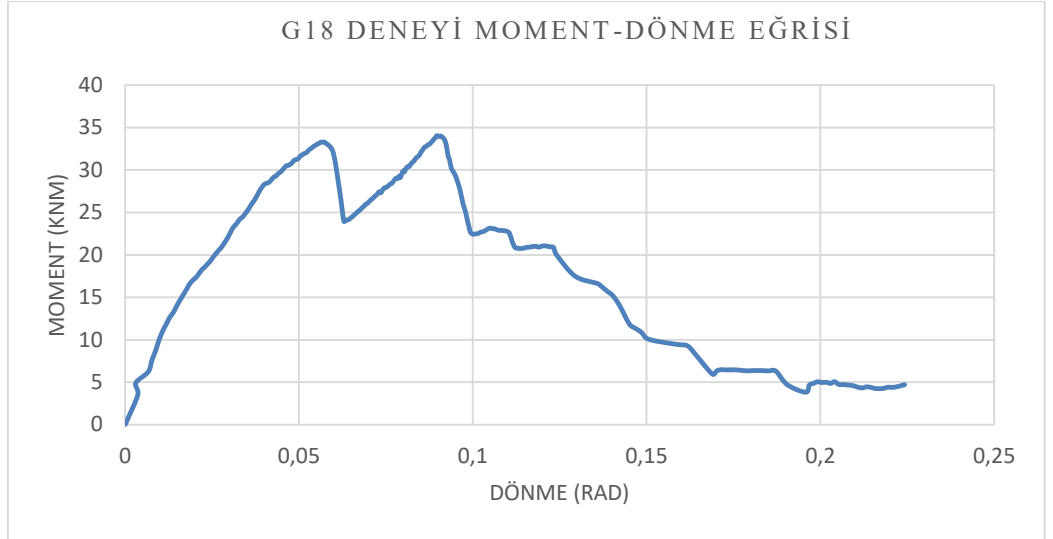
Çizelge 4.4. Göçme modları

Deney Adı	Guse buruşması	Akılı vida	Kiriş	Levha yırılması
G15-C1.5-P2-S		✓	✓	
G16-C2-P2-S	✓	✓		
G17-C2-P2	✓	✓		

4.1.3. P3-200 grup deneyi

Bu grupta toplam 1 adet deney yapılmıştır. Bu deney G18 isimli deneydir. G18 deneyi, C200 profil et kalınlığı 2 mm, guse levhasının et kalınlığı 3 mm'dir. Berkitme levhası kullanılmamıştır. Yangına karşı intümesan boya ile 200 mikron boyanmıştır. Deney numunesi fırından çıkarıldığında burulmaya uğramıştır. Bölüm 3'te şekil 3.16'daki formüllere göre moment-dönme eğrisi çizilmiştir ve moment-dönme özellikleri belirlenmiştir. Şekil 4.18'de oluşturulan grafikte moment dayanımı, birleşimin rijitliği ve dönme kapasitesi Eurocode-3 teki formüllere göre hesaplanmıştır. Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.18.G18-C2-P3 deneyi moment-dönme grafiği

Çizelge 4.5. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri

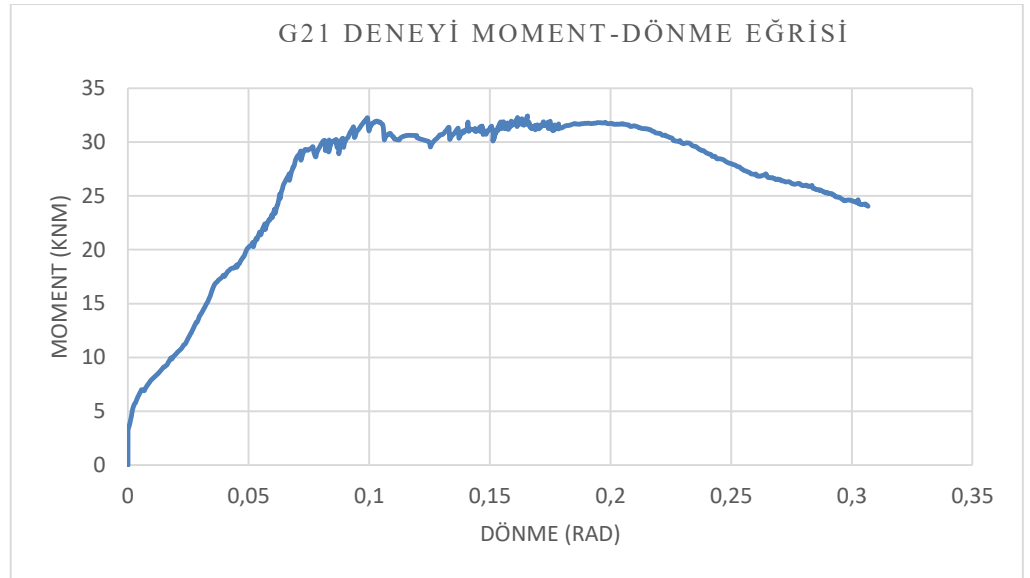
Deney Adı	DAYANIM (KN.m)				RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)					ENERJİ
	KR (knee range)	Mj,Rd	Mj,max	MØCd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	ØM,Rd	ØMin.K.R	ØMsup.k.R	ØMj,max	ØCd	KN.m*rad
G18-C2-P3	11,02-33,25	32,35	33,88	4,7	0,29	10,62	0,027	0,031	0,01	0,05	0,091	0,22	4,24



Şekil 4.19.G18-C2-P3 Deneyi göçme modu

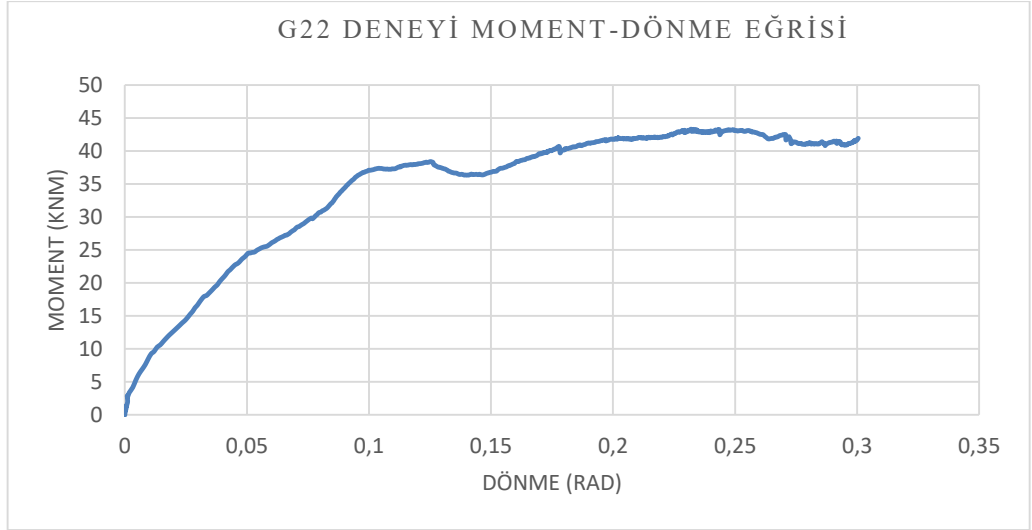
4.1.4. P1,5-400 grup deneyi

Bu grupta toplam 2 adet deney yapılmıştır. Bu deneyler G21 ve G22 isimli deneylerdir. Birinci Deney adı G21 olup C200 profil et kalınlığı 1,5 mm, guse levhasının et kalınlığı 1,5 mm'dir. Berkitme levhası kullanılmıştır. Yangına karşı intümesan boya ile 400 mikron boyanmıştır. Deney numunesi fırından çıkarıldığında buruşmaya uğramıştır. Bölüm 3'te şekil 3.16'daki formüllere göre moment-dönme eğrisi çizilmiştir ve moment-dönme özellikleri belirlenmiştir. Şekil 4.20'de oluşturulan grafikte moment dayanımı, birleşimin rijitliği ve dönme kapasitesi Eurocode-3 teki formüllere göre hesaplanmıştır. Çizelge 4.6'de gösterilmiştir.



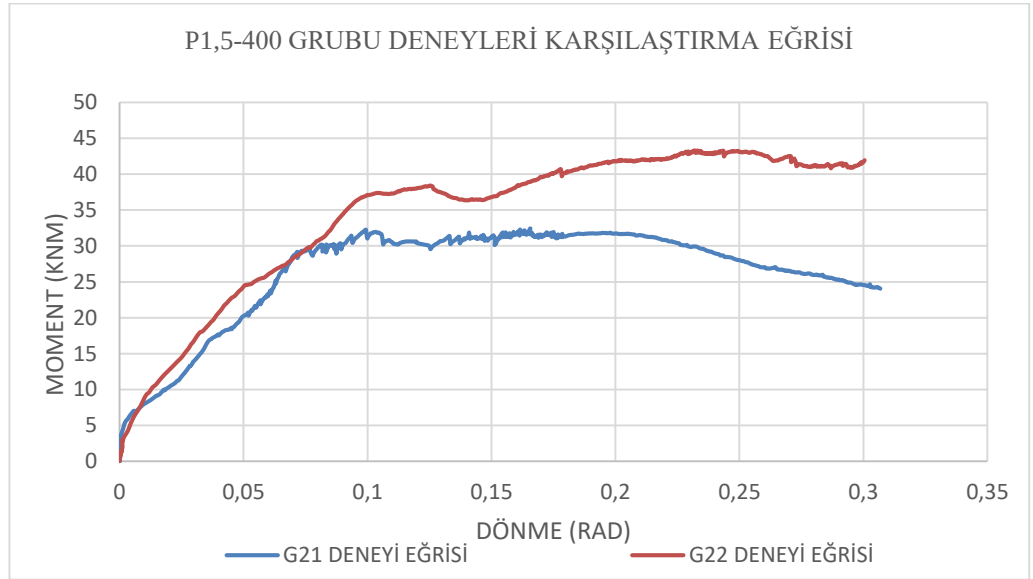
Şekil 4.20.G21-C1.5-P1.5-S Deneyi Moment-Dönme grafiği

Bu grubun ikinci deneyi G22 isimli deney olup C200 profil et kalınlığı 2 mm, guse levhasının et kalınlığı 1,5 mm'dir. Berkitme levhası kullanılmıştır. Yangına karşı intümesan boya ile 400 mikron boyanmıştır. Deney numunesi fırından çıkarıldığında buruşmaya uğramıştır. Aynı G21 isimli deney gibi moment-dönme eğrisi (şekil 4.21) çizilmiştir ve özellikleri çizelge 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.21.G22-C2-P1.5-S Deneyi Moment-Dönme grafiği

Çizilen grafikler şekil 4.22’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.22.P1,5-400 grubu deneyleri karşılaştırma eğrisi

Çizelge 4.6. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri

Deney Adı	DAYANIM (KN.m)				RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)					ENERJİ
	KR (knee range)	Mj.Rd	Mj.max	MØCd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	ØM.Rd	ØMin.K.R	ØMsup.k.R	ØMj.max	ØCd	KN.m*rad
G21-C1.5-P1.5-S	5,85-28,90	23,37	32,27	24,04	0,106	2,05	0,051	0,015	0,003	0,07	0,099	0,3	8,44
G22-C2-P1.5-S	8,47-37,38	34,64	42,98	41,83	0,38	7,3	0,052	0,043	0,009	0,104	0,23	0,3	12,72

Çizelge 4.6'ya ve Şekil 4.22'ye bakarak G21 isimli deneyle G22 isimli deney karşılaştırılmıştır. Dayanım, profil kalınlığı arttığında artış göstermektedir. Bu artış; moment dayanımında (Mj.Rd) 48,22 %, maksimum momentte (Mj.max) 33,19 % ve kritik momentte (MØCd) 74 % oranındadır. Rijitlik ($Sj.ini/Sj.p^{-1}$), profil kalınlığı arttığında 1,96 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde; profil kalınlığı arttığında maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{Mj.max}$) 132,32 % artmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) ise değişmemiştir. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi profil kalınlığı artmasıyla 50,71 % artmıştır. Sonuç olarak, profil kalınlığı arttıkça birleşim kapasitesi artış göstermektedir.

Şekil 4.23 ve şekil 4.24 de deneylerin göçme modları görülmektedir.



Şekil 4.23. G21-C1,5-P1,5-S Deneyi göçme modu



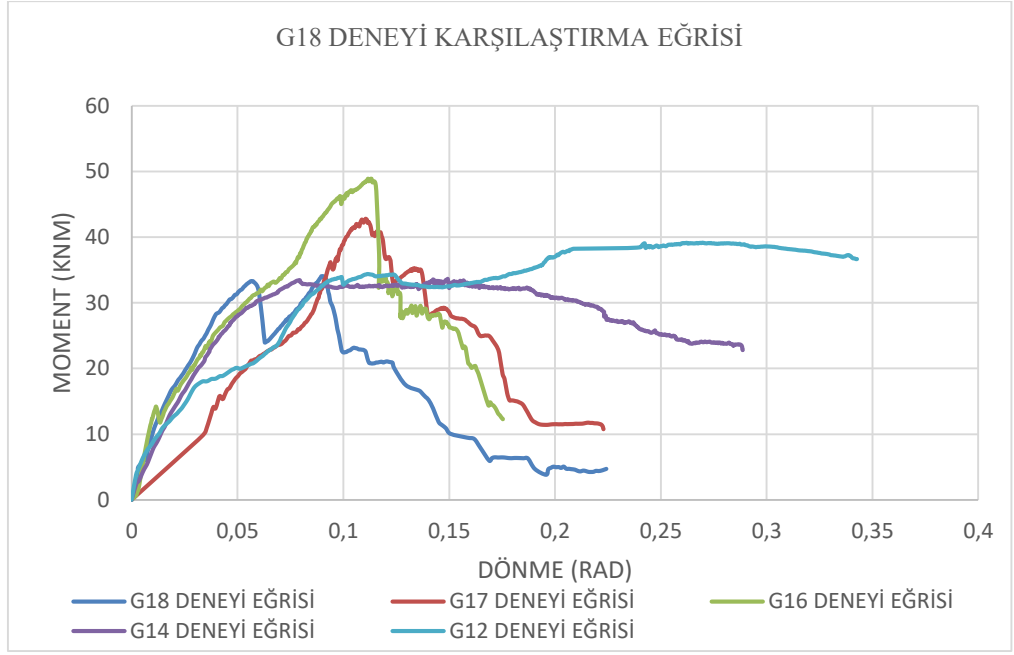
Şekil 4.24.G22-C2-P1,5-S Deneyi göçme modu

Çizelge 4.7. Göçme modları

Deney Adı	Berkitme buruşması	Akılı vida	Kiriş	Levha yırtılması
G21-C1.5-P1.5-S	✓	✓		
G22-C2-P1.5-S	✓	✓		

4.1.5. G18 deneyinin karşılaştırılmaları

Bu karşılaştırılmada, G18 isimli deneyinin G12,G14,G16,G17 isimli deneylerle karşılaştırılması yapılmıştır. Bu deneylerin moment-dönme eğrisinden formüllerle sonuçlanan değerler çizelge 4.8 de verilmiştir. Deney grafiklerinin karşılaştırılması ise şekil 2.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25. G18 Deneyi karşılaştırma eğrisi

Çizelge 4.8. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri

Deney Adı	DAYANIM (KN.m)				RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)					ENERJİ
	KR (knee range)	Mj.Rd	Mj.max	MÖCd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	ΘM.Rd	ΘMin.K.R	ΘMsup.k.R	ΘMj.max	ΘCd	KN.m*rad
G12-C2-P1.5-S	5,67-37,83	33,4	39,1	36,66	0,2	9,8	0,02	0,035	0,0043	0,205	0,27	0,34	12,87
G14-C2-P1.5	13,15-33,11	32,25	33,11	22,84	0,33	7,87	0,04	0,04	0,018	0,076	0,076	0,28	7,83
G16-C2-P2-S	13,29-48,29	42,74	48,89	12,3	0,5	8,4	0,06	0,036	0,012	0,11	0,11	0,175	5,35
G17-C2-P2	13,89-41,83	41,83	42,64	10,74	0,98	1,56	0,62	0,106	0,039	0,106	0,111	0,222	5,92
G18-C2-P3	11,02-33,25	32,35	33,88	4,7	0,29	10,62	0,027	0,031	0,01	0,05	0,091	0,22	4,24

Çizelge 4.8'e ve Şekil 4.25'e bakarak G18 isimli deneyle G12 isimli deney karşılaştırılmıştır. Guse levha kalınlığı artığında ve berkitme levhası kullanıldığında; moment dayanımında (Mj.Rd) 3,25 % oranında azalma, maksimum momentte (Mj.max) 15,41 % oranında azalma ve kritik momentte (MÖCd) 680 % oranında azalma görülmüştür. Rijitlik ($Sj.ini/Sj.p^{-1}$), 35% oranında artmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde; maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{Mj.max}$) 196,70 % oranında

azalmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 54,55 % oranında azalmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi 203,54 % oranında azalmıştır.

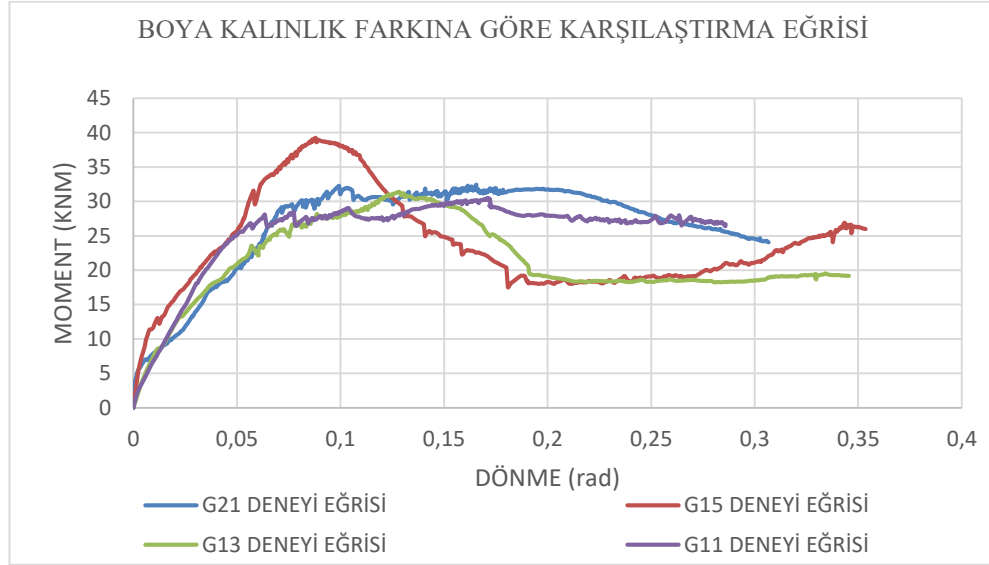
Çizelge 4.8'e ve Şekil 4.25'e bakarak G18 isimli deneyle G14 isimli deney karşılaştırılmıştır. Guse levha kalınlığı artığında; moment dayanımında ($M_{j.Rd}$) 0,31 % oranında artma, maksimum momentte ($M_{j.max}$) 2,33 % oranında artma ve kritik momentte ($M_{\Theta Cd}$) 385,96 % oranında azalma görülmüştür. Rijitlik ($S_{j.ini}/S_{j.p^{-1}}$), guse levha artmasıyla 48,15 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde; maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{M_{j.max}}$) 19,74 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 27,27 % oranında azalmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi 84,67 % oranında azalmıştır.

Çizelge 4.8'e ve Şekil 4.25'e bakarak G18 isimli deneyle G16 isimli deney karşılaştırılmıştır. Guse levha kalınlığı artığında ve berkitme levhası kullanıldığında; moment dayanımında ($M_{j.Rd}$) 32,12 % oranında azalma, maksimum momentte ($M_{j.max}$) 44,30 % oranında azalma ve kritik momentte ($M_{\Theta Cd}$) 161,70 % oranında azalma görülmüştür. Rijitlik ($S_{j.ini}/S_{j.p^{-1}}$), 122,22 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde; maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{M_{j.max}}$) 20,88 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 25,71 % oranında artmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi 26,18 % oranında azalmıştır.

Çizelge 4.8'e ve Şekil 4.25'e bakarak G18 isimli deneyle G17 isimli deney karşılaştırılmıştır. Guse levha kalınlığı artığında; moment dayanımında ($M_{j.Rd}$) 29,30 % oranında azalma, maksimum momentte ($M_{j.max}$) 25,86 % oranında azalma ve kritik momentte ($M_{\Theta Cd}$) 128,51 % oranında azalma görülmüştür. Rijitlik ($S_{j.ini}/S_{j.p^{-1}}$), guse levha artmasıyla 2196,30 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde; maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{M_{j.max}}$) 21,98 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 0,91 % oranında azalmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi 39,62 % oranında azalmıştır.

4.1.6. Boya kalınlığına göre karşılaştırmalar

Bu karşılaştırmada, 400 mikron boyalı G21 isimli deney ile 200 mikron boyalı G11, G13, G15 isimli deneylerin ve 400 mikron boyalı G22 deney ile 200 mikron boyalı G12, G14, G16 isimli deneylerin karşılaştırılmaları yapılmıştır. Şekil 4.26’da eğrilerin karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 4.26. Boya kalınlık farkına göre karşılaştırma eğrisi

Çizelge 4.9. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri

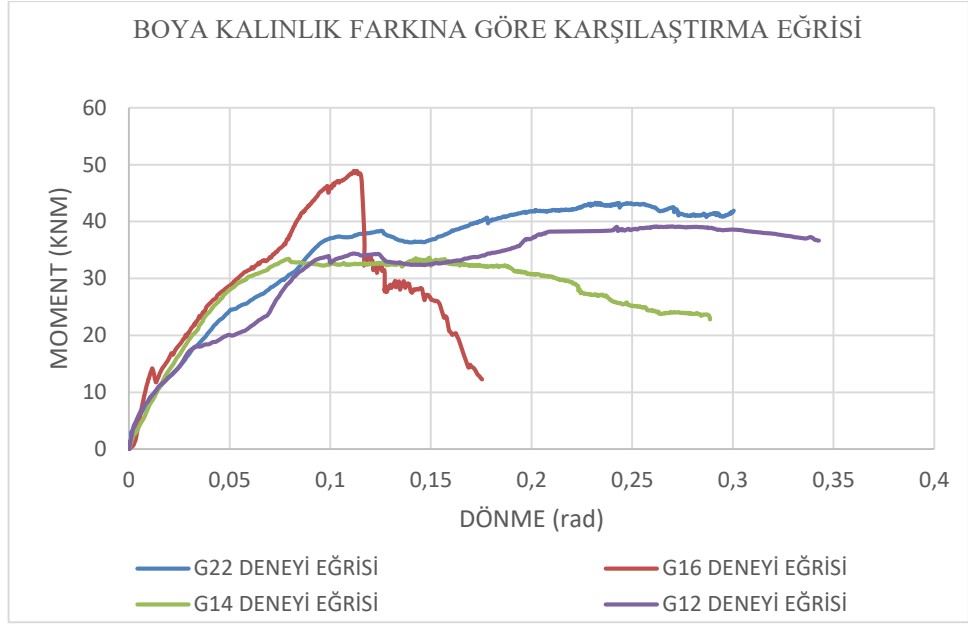
Deney Adı	DAYANIM (KN.m)				RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)					ENERJİ KN.m*rad
	KR (knee range)	Mj.Rd	Mj.max	MÖCd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	ΘM.Rd	ΘMin.K.R	ΘMsup.k.R	ΘMj.max	ΘCd	
G11-C1.5-P1.5-S	20,75-27,76	27,07	30,33	26,7	0,38	9,6	0,039	0,047	0,036	0,062	0,17	0,28	7,38
G13-C1.5-P1.5	8,71-25,73	21,85	31,41	19,18	0,19	1,98	0,095	0,02	0,012	0,071	0,128	0,34	8,6
G15-C1.5-P2-S	11,33-39,11	36,25	39,11	26,01	0,15	5,46	0,027	0,024	0,007	0,087	0,087	0,35	11,39
G21-C1.5-P1.5-S	5,85-28,90	23,37	32,27	24,04	0,106	2,05	0,051	0,015	0,003	0,07	0,099	0,3	8,44

Çizelge 4.9’a ve Şekil 4.26’ya bakarak G21 isimli deneyle G11 isimli deney karşılaştırılmıştır. Boya kalınlığı arttığında; moment dayanımında (Mj.Rd) 15,83 % oranında azalma, maksimum momentte (Mj.max) 6,40 % oranında artma ve kritik momentte (MÖCd) 11,06 % oranında azalma görülmüştür. Rijitlik (Sj.ini/Sj.p⁻¹), boya

kalınlığı arttığında 30,77 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde boya kalınlığı artmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{Mj,max}$) 71,72 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 7,14 % artmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi boya kalınlığı artmasıyla 14,36 % artmıştır.

Çizelge 4.9'a ve Şekil 4.26'ya bakarak G21 isimli deneyle G13 isimli deney karşılaştırılmıştır. Boya kalınlığı arttığında ve berkitme kullanıldığında; moment dayanımında ($Mj.Rd$) 6,96 % oranında artma, maksimum momentte ($Mj.max$) 2,74 % oranında artma ve kritik momentte ($M\Theta Cd$) 25,34 % oranında artma görülmüştür. Rijitlik ($Sj.ini/Sj.p^{-1}$), boya kalınlığı arttığında ve berkitme kullanıldığında 86,27 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde; boya kalınlığı artmasıyla ve berkitme kullanılmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{Mj,max}$) 29,29 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 13,33 % oranında azalmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi 1,90 % oranında azalmıştır.

Çizelge 4.9'a ve Şekil 4.26'ya bakarak G21 isimli deneyle G15 isimli deney karşılaştırılmıştır. Boya kalınlığı arttığında ve guse levha kalınlığı azaldığında; moment dayanımında ($Mj.Rd$) 55,11 % oranında azalma, maksimum momentte ($Mj.max$) 21,20 % oranında azalma ve kritik momentte ($M\Theta Cd$) 8,19 % oranında azalma görülmüştür. Rijitlik ($Sj.ini/Sj.p^{-1}$), boya kalınlığı arttığında ve guse levha kalınlığı azaldığında 88,89 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde; boya kalınlığı artmasıyla ve guse levha kalınlığı azalmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{Mj,max}$) 13,79 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 16,67 % oranında azalmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi 34,95 % oranında azalmıştır.



Şekil 4.27. Boya kalınlık farkına göre karşılaştırma eğrisi

Çizelge 4.10. Moment-Dönme grafiklerinden Eurocode-3 formüllerine göre hesaplanan dayanım, rijitlik ve dönme değerleri

Deney Adı	DAYANIM (KN.m)				RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)					ENERJİ
	KR (knee range)	Mj.Rd	Mj.max	MÖCd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	ΘM.Rd	ΘMin.K.R	ΘMsup.k.R	ΘMj.max	ΘCd	KN.m*rad
G12-C2-P1.5-S	5,67-37,83	33,4	39,1	36,66	0,2	9,8	0,02	0,035	0,0043	0,205	0,27	0,34	12,87
G14-C2-P1.5	13,15-33,11	32,25	33,11	22,84	0,33	7,87	0,04	0,04	0,018	0,076	0,076	0,28	7,83
G16-C2-P2-S	13,29-48,29	42,74	48,89	12,3	0,5	8,4	0,06	0,036	0,012	0,11	0,11	0,175	5,35
G22-C2-P1.5-S	8,47-37,38	34,64	42,98	41,83	0,38	7,3	0,052	0,043	0,009	0,104	0,23	0,3	12,72

Çizelge 4.10'a ve Şekil 4.27'ye bakarak G22 isimli deneyle G12 isimli deney karşılaştırılmıştır. Boya kalınlığı arttığında; moment dayanımında ($M_{j.Rd}$) 3,71 % oranında artma, maksimum momentte ($M_{j.max}$) 9,92 % oranında artma ve kritik momentte ($M_{ÖCd}$) 14,10 % oranında artma görülmüştür. Rijitlik ($S_{j.ini}/S_{j.p-1}$), boya kalınlığı arttığında 160 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde; boya kalınlığı artmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{Mj.max}$) 17,39 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 13,33 % azalmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi boya kalınlığı artmasıyla 1,18 % azalmıştır.

Çizelge 4.10'a ve Şekil 4.27'ye bakarak G22 isimli deneyle G14 isimli deney karşılaştırılmıştır. Boya kalınlığı arttığında ve berkitme levha kullanıldığında; moment dayanımında ($M_{j.Rd}$) 7,41 % oranında artma, maksimum momentte ($M_{j.max}$) 29,81 % oranında artma ve kritik momentte ($M_{\Theta Cd}$) 83,14 % oranında artma görülmüştür. Rijitlik ($S_{j.ini}/S_{j.p^{-1}}$), boya kalınlığı arttığında ve berkitme kullanıldığında 30 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde; boya kalınlığı artmasıyla ve berkitme levhası kullanılmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{M_{j.max}}$) 202,63 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 7,14 % artmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi 62,45 % artmıştır.

Çizelge 4.10'a ve Şekil 4.27'ye bakarak G21 isimli deneyle G16 isimli deney karşılaştırılmıştır. Boya kalınlığı arttığında ve guse levha kalınlığı azaldığında; moment dayanımında ($M_{j.Rd}$) 23,38 % oranında azalma, maksimum momentte ($M_{j.max}$) 13,75 % oranında azalma ve kritik momentte ($M_{\Theta Cd}$) 240,08 % oranında artma görülmüştür. Rijitlik ($S_{j.ini}/S_{j.p^{-1}}$), boya kalınlığı arttığında ve guse levha kalınlığı azaldığında 15,38 % oranında azalmıştır. Dönme kapasitesi incelendiğinde; boya kalınlığı artmasıyla ve guse levha kalınlığı azalmasıyla maksimum momente denk gelen dönme ($\Theta_{M_{j.max}}$) 109,09 % oranında artmıştır. Dönme kapasitesi (Θ_{Cd}) değeri 71,43 % oranında artmıştır. Ayrıca, enerji yutma kapasitesi 137,75 % oranında artmıştır.

4.1.7. Mevcut literatürde olan deneylerle karşılaştırma

Çizelge 4.11'de görüldüğü gibi P1.5-200 grubu yangına maruz kalan deneyler ile literatürde mevcut olan deneyler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda yangına karşı intümesan boyasının kullanılmasıyla dayanım büyük bir artış göstermiştir. Rijitlik yangına maruz kalan deneylerde düşüş göstermiştir. Ayrıca maksimum dönme yangına maruz kalan deneylerde artış göstermiştir. Kritik dönme azalmıştır. Sonuç olarak P1.5-200 grup deneylerde boya koruması dayanımda bir güçlendirme malzemesi gibi davranmıştır.

Çizelge 4.11. Mevcut Literatürde Yapılan Deneylerle P1.5-200 Grup Deneylerinin Karşılaştırma Tablosu

Deney Adı	DAYANIM (KN.m)			RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)				
	Mj.Rd	Mj.max	MθCd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	θM.Rd	θMin.K.R	θMsup.k.R	θMj.max	θCd
G11-C1.5-P1.5-S	27,07	30,33	26,7	0,38	9,6	0,039	0,047	0,036	0,062	0,17	0,28
G12-C2-P1.5-S	33,4	39,1	36,66	0,2	9,8	0,02	0,035	0,0043	0,205	0,27	0,34
G13-C1.5-P1.5	21,85	31,41	19,18	0,19	1,98	0,095	0,02	0,012	0,071	0,128	0,34
G14-C2-P1.5	32,25	33,11	22,84	0,33	7,87	0,04	0,04	0,018	0,076	0,076	0,28
T8 (sagiroglu ve ark)	12.53	13.11	12.60	6.82	0.95	7.18	0.043	0.031	0.052	0.056	0.294
T9 (sagiroglu ve ark)	13.58	13.79	11.18	6.30	0.24	26.25	0.050	0.029	0.062	0.086	0.37
T11 (sagiroglu ve ark)	12.19	12.9	10.91	6.57	0.29	22.66	0.04	0.028	0.086	0.096	0.33
T12 (sagiroglu ve ark)	13.98	14.03	13.12	5.31	0.34	15.62	0.058	0.02	0.057	0.061	0.342

Çizelge 4.12’de görüldüğü gibi P2-200 grubu yangına maruz kalan deneyler ile literatürde yapılan mevcut deneyler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda yangına karşı intümesan boyasının kullanılması, sadece profil et kalınlığı 2 mm ve plaka kalınlığı 2 mm olan deneylerde etkili olmamıştır. Dayanım büyük oranda düşüş göstermiştir. Rijitlik yangına maruz kalan deneylerde düşüş göstermiştir. Ayrıca maksimum dönme ve kritik dönme değerlerinde, yangına maruz kalan deneylerde azalma görülmüştür.

Çizelge 4.12. Mevcut Literatürde Yapılan Deneylerle P2-200 Grup Deneylerinin Karşılaştırma Tablosu

Deney Adı	DAYANIM (KN.m)			RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)				
	Mj.Rd	Mj.max	MΘCd	Sj.ini	Sj.p-l	Sj.ini/Sj.p-l	ΘM.Rd	ΘMin.K.R	ΘMsup.k.R	ΘMj.max	ΘCd
G15-C1.5-P2-S	36,25	39,11	26,01	0,15	5,46	0,027	0,024	0,007	0,087	0,087	0,35
G16-C2-P2-S	42,74	48,89	12,3	0,5	8,4	0,06	0,036	0,012	0,11	0,11	0,175
G17-C2-P2	41,83	42,64	10,74	0,98	1,56	0,62	0,106	0,039	0,106	0,111	0,222
T14(sagirolu ve ark)	11.51	13	12.13	5.34	0.15	35.6	0.046	0.04	0.22	0.22	0.37
T15(sagirolu ve ark)	18.28	18.46	16.23	6.27	0.056	112	0.064	0.045	0.086	0.124	0.355
E7(sagirolu ve ark)	65.55	69.27	25.76	33.89	0.334	87	0.038	0.017	0.149	0.152	0.337

Çizelge 4.13’de görüldüğü gibi P3-200 grup yangına maruz kalan deney ile literatürde yapılan mevcut deney karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda yangına karşı intümesan boyasının kullanılmasıyla dayanım büyük artış göstermiştir. Rijitlik yangına maruz kalan deneyde düşüş göstermiştir. Maksimum dönme ve kritik dönme yangına maruz kalan deneyde azalmıştır. Sonuç olarak P3-200 grup deneylerde yangına karşı intümesan boya koruması, dayanımda bir güçlendirme malzemesi gibi davranmıştır.

Çizelge 4.13. Mevcut Literatürde Yapılan Deneylerle P3-200 Grup Deneylerinin Karşılaştırma Tablosu

Deney Adı	DAYANIM (KN.m)			RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)				
	Mj.Rd	Mj.max	MΘCd	Sj.ini	Sj.p-l	Sj.ini/Sj.p-l	ΘM.Rd	ΘMin.K.R	ΘMsup.k.R	ΘMj.max	ΘCd
G18-C2-P3	32,35	33,88	4,7	0,29	10,62	0,027	0,031	0,01	0,05	0,091	0,22
E8(sagirolu ve ark)	77.75	80.25	27.26	34	0.45	76	0.035	0.019	0.12	0.123	0.478

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.14'te görüldüğü gibi P1.5-400 grubu yangına maruz kalan deneyler ile literatürde mevcut deneyler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda yangına karşı intümesan boyasının kullanılmasıyla dayanım, yangın boyası kullanılan deneylerde büyük artış göstermiştir. Rijitlik yangına maruz kalan deneylerde düşüş göstermiştir. Maksimum dönme yangına maruz kalan deneylerde artmış fakat kritik dönme azalmıştır. Sonuç olarak P1.5-400 grubu deneylerde yangına karşı intümesan boya koruması, dayanımda bir güçlendirme malzemesi gibi davranmıştır.

Çizelge 4.14. Mevcut Literatürde Yapılan Deneylerle P1.5-400 Grup Deneylerinin Karşılaştırma Tablosu

Deney Adı	DAYANIM (KN.m)			RİJİTLİK (KN m/rad)			DÖNME (rad)				
	Mj.Rd	Mj.max	MÖCd	Sj.ini	Sj.p-1	Sj.ini/Sj.p-1	ΘM.Rd	ΘMin.K.R	ΘSup.k.R	ΘMj.max	ΘCd
G21-C1.5-P1.5-S	23,37	32,27	24,04	0,106	2,05	0,051	0,015	0,003	0,07	0,099	0,3
G22-C2-P1.5-S	34,64	42,98	41,83	0,38	7,3	0,052	0,043	0,009	0,104	0,23	0,3
T8(sagiroglu ve ark)	12.53	13.11	12.60	6.82	0.95	7.18	0.043	0.031	0.052	0.056	0.294
T9(sagiroglu ve ark)	13.58	13.79	11.18	6.30	0.24	26.25	0.050	0.029	0.062	0.086	0.37

Genel olarak, yangına karşı koruyucu intümesan boyası kullanarak dayanım güçlendirilmiştir. Ancak rijitlik ve kritik dönme değerleri azalış göstermiştir. Levha kalınlığı 2 mm'den 3 mm'ye arttığında yangına karşı koruyucu intümesan boyasının etki etmediği görülmüştür. Ayrıca yangına maruz kalan boyalı veya boyasız deneylerde berkitme kullanılması çok önem arz etmediği görülmüştür.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada ve ülkemizde teknolojinin gelişmesiyle daha ince ve düşük maliyetli yapı elemanları üretilmeye başlanmıştır. Üretilen yapı elemanlarından biriside hafif çelik yapı elemanlarıdır. Bu hafif çelik yapı elemanlarının direnci oldukça azdır. Bu yapılarda yangınlara karşı önlem alınmazsa büyük maddi ve manevi kayıplara neden olunur. Diğer yapı elemanlarında olduğu gibi hafif çelik yapı elemanlarında da yangına karşı can ve mal güvenliğini sağlamak için çeşitli izolasyon malzemeleri bulunmaktadır. Yapılan bu deneysel çalışmada ise, soğuk haddelenmiş çelik yapılardan oluşan çerçevelerde yangına karşı koruyucu intümesan boya kullanarak akıllı vidalı kolon-kiriş birleşimlerinin yangın sonrası davranışları incelenmiştir. Toplam 4 grupta 10 deney yapılmış ve 200-400 mikron yangına karşı koruyucu intümesan boya kullanılmıştır. Deney numuneleri ISO-FIRE 8 3 4'e göre yangına maruz bırakılarak, hafif çelik moment-dönme davranışları incelenmiştir. Ayrıca bu tez deneyleri, literatürde yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında varılan sonuçlar sıralanmıştır:

- P1.5-200 grubu deneylerinin karşılaştırılması yapılarak sonuçlar belirlenmiştir. Profilin et kalınlığının artmasıyla berkitmeli ve berkitmesiz deneylerde dayanım artmıştır, rijitlik azalmıştır. Dönme ise berkitmeli deneylerde artmıştır, berkitmesiz deneylerde azalmıştır. Ayrıca, berkitmeli deneylerle berkitmesiz deneyler karşılaştırıldığında kritik dayanım artmıştır, rijitlik azalmıştır ve maksimum dönme artmıştır.
- P2-200 grubu deneylerinin karşılaştırılması yapılarak sonuçlar belirlenmiştir. Profilin et kalınlığının artmasıyla dayanımda artış görülmüştür. Berkitme levhası kullanılmasıyla dayanım artmıştır, rijitliğin azaldığı görülmüştür. Ayrıca berkitme levhası kullanılmasıyla enerji değeri azalmıştır.
- P1.5-400 grubu deneylerinin karşılaştırılması yapılarak sonuçlar belirlenmiştir. Deney numunelerin boya kalınlığı 400 mikron olmakla beraber profil kalınlığının artmasıyla dayanım artmıştır. Rijitlik az bir oranda artmıştır. Enerji yutma kapasitesi artmıştır.
- Göçme modları incelendiğinde; berkitme levhası kullanılmasıyla guse levhanın buruştuğu ve akıllı vidaların kesildiği görülmüştür. Berkitme levhası

kullanılmadığında et kalınlığı ince olan kirişlerin deformasyona uğradığı görülmüştür. Ayrıca berkitmesiz deneylerde et kalınlığı fazla olan kiriş ve guse levhasında burulma olmamıştır. Vidalar kesilmiştir.

Mevcut literatür deneyleriyle karşılaştırma sonuçları sıralanmıştır:

- Deneylerde kullanılan yangına karşı intümesan boya ile; dayanım büyük bir artış göstermiştir. Fakat rijitlik yangına maruz kalan deneylerde azalış göstermiştir. Ayrıca maksimum dönme yangına maruz kalan deneylerde artış göstermiştir. Kritik dönme azalmıştır. Sonuç olarak P1.5-200 grup deneylerde boya koruması dayanımda bir güçlendirme malzemesi olarak davranmıştır.
- P2-200 grup deneylerde dayanım büyük ölçüde düşüş göstermiştir. Rijitlik yangına maruz kalan deneylerde düşüş göstermiştir. Ayrıca maksimum dönmede ve kritik dönmede azalma görülmüştür. Bu yüzden P2-200 grup deneylerde boya kullanımıyla dönmelerinde bir azalış görülmüştür.
- P3-200 grup deneylerde yangına karşı intümesan boya koruması dayanımda bir güçlendirme malzemesi olarak davranmıştır. Dayanım, yangın boyası kullanılan deneylerde büyük artış göstermiştir. Rijitlik yangına maruz kalan deneylerde azalış göstermiştir. Maksimum dönme ve kritik dönme yangına maruz kalan deneylerde azalmıştır.
- 400 mikron kalınlıktaki yangına karşı intümesan boya koruma olarak davranmıştır. Dayanım, yangın boyası kullanılan deneylerde büyük artış göstermiştir. Rijitlik yangına maruz kalan deneylerde düşüş göstermiştir. Maksimum dönme yangına maruz kalan deneylerde artmıştır fakat kritik dönme azalmıştır. Sonuç olarak P1.5-400 grup deneylerde boya dayanımda bir güçlendirme malzemesi olarak davranmıştır.

Bu tez çalışması sonunda;

Tez çalışması kapsamında incelenmeyen; farklı yangın etkilerinin, farklı koruma boyalarının ve malzemelerinin, hafif çelik üzerinde moment-dönme davranışına etkisinin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- AISI, Specification For The Design Of Cold-Formed Steel Structural Members, American Iron And Steel Institute, Washington, DC, 2007
- Bilotta, A., Silva, D. ve Nigro, E. 2016. Tests On İntumescent Paints For Fire Protection Of Existing Steel Structures 121, 410-422
- Bose, B., Youngson G. K. ve Wang Z. M. 1996. "An Appraisal Of The Design Rules İn Eurocode 3 For Bolted End Plate Joints By Comparison With Experimental Results", Proceedings From The Institute Of Civil Engineers Structures And Buildings.
- Cai, Y. ve Young, B. 2019. Structural Behaviour Of Cold-Formed Stainless Steel Bolted Connections At Post-Fire Condition 152, 312-321
- Cirpici, B., Orhan, S., Kilic, M., Maali, M. ve Sagioglu, M. 2021. Experimental Behavior Of Cold-Formed Stainless Steel Screwed Beam–Column Connections At Post-Fire Condition, Iranian Journal Of Science And Technology, Transactions Of Civil Engineering 45, 1593-1609
- Coelho, M. G., Bijlaard, F. S. K. ve Kolstein, H. 2009. Experimental behaviour of high-strength steel web shear panels. Engineering Structures 31, 1543-1555
- Lu, J., Hongbo, L., Chen, Z. ve Liao, X., 2016. Experimental Investigation Into The Post-Fire Mechanical Properties Of Hot-Rolled And Cold-Formed Steels 121, 291-310
- Lucherini, A. ve Maluk, C. 2019. Intumescent Coatings Used For The Fire-Safe Design Of Steel Structures: A Review 162, 105712
- Maali, M., Sagioglu, M., Kılıc, M. Ve Aydın, A. C. 2017. Investigation Of Moment Resistance Characteristic Of Bolted Semi-Rigid Connections: An Experimental Study, International Journal Of Engineering Research in Mechanical And Civil Engineering.
- Macit, F. 2020. Yangın Önleyici Boyaların Kullanıldığı Silindirik Kabuklarda Basınç Yük Etkisi Altında Burkulma Davranışlarının İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Mermer, O. 2008. Hafif Çelik Konutlarda Yangın Güvenliği. Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı
- Özkan, E. 2002. Çelik Yapı Bileşenlerinde Alınması Gereken Yangın Güvenlik Önlemleri ve Bir Uygulama Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

- Puspitasari, W. C., Ahmad, F., Ullah, S., Hussain, P., Yusof, M. ve Masset, P. 2019. The Study Of Adhesion Between Steel Substrate, Primer, And Char Of İntumescent Fire Retardant Coating 127, 181-193
- Sagiroglu, M., Mahyar, M., Cirpici, B.K., Yazıcı, C. ve Solak, M. S. 2018. Experimental Behavior of Screwed Beam-to-Column Connections in Cold-Formed Steel Frames. Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum. Makale yayımlanmak üzere sunulmuştur.
- Solak, M. S. 2019. Hafif Çelik Çerçevelerde Vidalı Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Deneysel Davranışı. Y. Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- TC 7- TWG 7.10. 2009. The Testing Of Connections With Mechanical Fasteners İn Steel Sheeting And Sections 2nd Edition. European Convention For Constructional Steelwork , 42, Portugal,
- Wong, M., ve Chung, K. 2002. Structural Behaviour Of Bolted Moment Connections İn Cold-Formed Steel Beam-Column Sub-Frames, Journal Of Constructional Steel Research 58, 253-274
- Yan, X., Xia, Y., Blum, H. ve Gernay, T. 2021. Post-Fire Mechanical Properties Of Advanced High-Strength Cold-Formed Steel Alloys 159, 107293
- Yazıcı, C. .2018. Hafif Çelik Yapılarda Vidalı Kiriş-Kolon Birleşim (Berkitmeli) Davranışının Deneysel Olarak Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Yu, Y., Lan, L., Ding, F. And Wang, L. 2019. Mechanical Properties Of Hot-Rolled And Cold-Formed Steels After Exposure To Elevated Temperature: A Review 213, 360-376
- Yu, W.K. ve Chung, K.F. 2005. Analysis Of Bolted Moment Connections İn Cold-Formed Steel Beam-Column Sub-Frames, Journal Of Constructional Steel Research 61, 1332-1352
- Zhang, H., Wang, F., Yang, J. ve Wang, X. 2021. Evaluation On The Behaviour Of Screwed CFS Joints Subjected To Combined Loading 180, 106582