

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YANGIN ÖNLEYİCİ BOYALARIN KULLANILDIĞI
SİLİNDİRİK KABUKLARDA BASINÇ YÜK ETKİSİ ALTINDA
BURKULMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih MACİT

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : HİDROLİK
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Elif AĞCAKOCA
Ortak Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mahyar MAALİ

Mayıs 2020

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YANGIN ÖNLEYİCİ BOYALARIN KULLANILDIĞI
SİLİNDİRİK KABUKLARDA BASINÇ YÜK ETKİSİ ALTINDA
BURKULMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih MACİT

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : HİDROLİK

Bu tez 21.05.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi
Hüseyin KASAP
Jüri Başkanı

Doç. Dr.
Nazile URAL
Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Zeynep YAMAN
Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Elif AĞCAKOCA
Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Mahyar MAALİ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fatih MACİT

04.05.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamın gerçekleştirilmesinde, eğitimim boyunca benden değerli bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, bana her konuda yol gösteren, yüksek lisans tezimin planlanmasından yazılmasına kadar her aşamada yanımda bulunan; eğitimci kişiliği, çalışkanlığı ve azmiyle bana örnek olan saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Elif AĞCAKOCA'ya ayrıca fikir ve tecrübeleriyle tez çalışmalarına yön veren çok değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep YAMAN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Mahyar MAALİ'ye teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın her safhasında olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da yanımda olan, ayrıca beni her konuda destekleyen, moral ve motivasyonumu yükselten, verdiğim her karara güvenen ve yanımda olan çok değerli eşim Miray MACİT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
1.2. Çelik Malzemesi ve Yangın Hakkında Yapılan Çalışmalar.....	2
1.3. Yangından Koruyucu Malzemeler Hakkında Yapılan Çalışmalar.....	9
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	14
2.1. Yapı Tasarımında Kullanılacak Yangın Eğrileri.....	14
2.1.1. Standart yangın modelleri	15
2.1.2. Oda yangınları	17
2.1.3. Tasarım yangınları.....	19
2.1.3.1. Basit tasarım yangını	19
2.1.3.2. Eurocode parametrik yangınları	19
2.2. Deneysel Çalışmalar.....	20
2.2.1. Kabartılmış boya (yangına dayanıklı boya)	21
2.2.1.1. Uygulama bilgileri	21
2.2.2. Deformasyon ölçme aleti (LVDT)	22

2.2.3. Fırın	23
2.2.4. Deney düzeneği, data logger ve bilgi/veri alış-veriş programı ..	24
2.2.5. Deneysel çalışmaların yapılışı.....	25

BÖLÜM 3.

ARAŞTIRMA BULGULARI	27
3.1. Dış Boyalı Çelik Silindir Deney Grubu	31
3.1.1. 100 mikron kalınlıkta boyanmış çelik silindirler	31
3.1.2. 200 mikron kalınlıkta boyanmış çelik silindirler	35
3.1.3. 400 mikron kalınlıkta boyanmış çelik silindirler	40
3.1.4. Dış Boyalı grup karşılaştırılması (100, 200 ve 400 mikron kalınlıklarda boyanmış çelik silindir gruplarının karşılaştırılması) .	45
3.2. İç-Dış Boyalı Çelik Silindir Grup	46
3.2.1. 100 mikron kalınlıkta boyanmış çelik silindirler	46
3.2.2. 200 mikronla boyanmış çelik silindirler.....	50
3.2.3. 400 mikronla boyanmış çelik silindirler.....	55
3.2.4. İç-Dış Boyalı grup karşılaştırılması (100, 200 ve 400 mikronla boyanmış çelik silindir gruplarının karşılaştırılması)	58
3.3. Boyasız Çelik Silindirler Grup	60
3.4. Tüm Grupları Karşılaştırma	65
3.5. Teorik Burkulma Hesaplamasında	68

BÖLÜM 4.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
KAYNAKÇA	72
ÖZGEÇMİŞ	75

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A_v	: Yangın odasındaki boşluk alanı
A_y	: Yakıtın yangın etkisindeki yüzey alanı
B	: Kaplama malzemelerinin ısı kapasitesi
d	: Silindirin çapı
E	: Elastik modülü
E	: Yakıtın toplam enerjisi
e_t	: Yangın yükü
F_v	: Havalandırma katsayısı
H	: Isınma ısısını
H_v	: Odanın boşluk yükü
$L_e=H$: Silindirin uzunluğu
Q_y	: 20 dakika yanma süresi olan bir yangında ısı salınım miktarıdır
R	: Silindirin çapı
r_m	: Yarı çap ortalama değeri
t	: Zamanı
t^*	: Sanal süre hayali bir zaman
$t=t_e$: Etkili kalınlık
t_b	: Yanma süresi
T_{max}	: Yangın sırasında maksimum sıcaklık
T_o	: Başlangıç sıcaklığı
ρ	: Özkütle

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Standart yangınlara ilişkin sıcaklık- zaman eğrileri grafiği.	16
Şekil 2.2. Sıcaklık-zaman eğrisinde yangın gelişim aşamaları (Buchanan, 2001).	17
Şekil 2.3. Sabit sıcaklıklı tasarım yangını (Buchanan, 2001).	19
Şekil 2.4. Kullanılan boya.....	22
Şekil 2.5. Deformasyon ölçüm aletleri (LVDT)	23
Şekil 2.6. Deformasyon ölçüm aletleri (LVDT)	24
Şekil 2.7. Deney düzeneği, vakum pompa ve data logger	25
Şekil 3.1. Standard yangın eğrisi ve çalışmada kullanılan yangınlar dereceleri.....	28
Şekil 3.2. Numune özellikleri ve yükleme şekli.....	29
Şekil 3.3. LVDT yerleştirme konumları ve sistem düzeneği	30
Şekil 3.4. Numune 100-C300-O'e ait Vakum -Deformasyon Grafiği	31
Şekil 3.5. Numune 100-C450-O'e ait Vakum –Deformasyon Grafiği	32
Şekil 3.6. Numune 100-C600-O'e ait Vakum –Deformasyon Grafiği	32
Şekil 3.7. 100-C300-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu	34
Şekil 3.8. 100-C450-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu	34
Şekil 3.9. 100-C600-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu	35
Şekil 3.10. 200-C300-O'e ait Vakum –Deformasyon.....	36
Şekil 3.11. 200-C450-O'e ait Vakum –Deformasyon.....	36
Şekil 3.12. 200-C600-O numunesine ait Vakum –Deformasyon	37
Şekil 3.13. 200-C300-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu	38
Şekil 3.14. 200-C450-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu	39
Şekil 3.15. 200-C600-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu	40
Şekil 3.16. 400-C300-O numunesine ait Vakum –Deformasyon	41
Şekil 3.17. 400-C450-Onumunesine ait Vakum –Deformasyon	41
Şekil 3.18. 400-C600-O numunesine ait Vakum –Deformasyon	42
Şekil 3.19. 400-C300-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu	43

Şekil 3.20. 400-C450-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu	44
Şekil 3.21. 400-C600-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu	44
Şekil 3.22. Dışı Boyalı grup, 100, 200 ve 400 mikron kalınlıklarda boyanmış çelik silindir grupların başlangıç burkulma değerlerinin karşılaştırması.....	45
Şekil 3.23. Dışı Boyalı grup, 100, 200 ve 400 mikron kalınlıklarda boyanmış çelik silindir grupların göçme kapasite değerlerinin karşılaştırması	46
Şekil 3.24. 100-C300-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon.....	47
Şekil 3.25. 100-C450-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon.....	47
Şekil 3.26. 100-C600-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon.....	47
Şekil 3.27. 100-C300-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu	49
Şekil 3.28. 100-C450-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu	49
Şekil 3.29. 100-C600-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu	50
Şekil 3.30. 200-C300-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon.....	50
Şekil 3.31. 200-C450-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon.....	51
Şekil 3.32. 200-C600-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon.....	51
Şekil 3.33. 200-C300-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu	53
Şekil 3.34. 200-C450-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu	54
Şekil 3.35. 200-C600-I-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu.....	54
Şekil 3.36. 400-C300-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon.....	55
Şekil 3.37. 400-C450-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon.....	56
Şekil 3.38. 400-C600-I-O’ e ait Vakum –Deformasyon	56
Şekil 3.39. 400-C300-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu	57
Şekil 3.40. 400-C450-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu	58
Şekil 3.41. 400-C600-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu	58
Şekil 3.42. İçi-Dışı Boyalı grup, 100, 200 ve 400 mikronla boyanmış çelik silindir grupların başlangıç burkulma karşılaştırması	59
Şekil 3.43. İçi-Dışı Boyalı grup, 100, 200 ve 400 mikronla boyanmış çelik silindir grupların göçme kapasite değerlerinin karşılaştırması.....	60
Şekil 3.44. C300 numunesine ait Vakum –Deformasyon	61
Şekil 3.45. C450 numunesine ait Vakum –Deformasyon	61
Şekil 3.46. C600 numunesine Vakum –Deformasyon.....	61
Şekil 3.47. İdeal model’e ait Vakum –Deformasyon.....	62

Şekil 3.48. C300 Numunesinin burkulma sonrası durumu	63
Şekil 3.49. C450 Numunesinin burkulma sonrası durumu	64
Şekil 3.50. C600 Numunesinin burkulma sonrası durumu	64
Şekil 3.51. İdeal modelin burkulma sonrası durumu	65
Şekil 3.52. 100 mikronla boyanmış çelik silindir grupların başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerlerinin karşılaştırması	66
Şekil 3.53. 200 mikronla boyanmış çelik silindir grupların başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerlerinin karşılaştırması	67
Şekil 3.54. 400 mikronla boyanmış çelik silindir grupların başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerlerinin karşılaştırması	67



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Deney Grupları ve İsimleri	29
Tablo 3.2. 100 mikron kalınlığında boya ile boyanmış numunelerin başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri.....	32
Tablo 3.3. 200 mikron kalınlıkta boyanmış numunelerinin başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri	37
Tablo 3.4. 400 mikron kalınlıkta boyanmış numunelerinin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri	42
Tablo 3.5. 100 mikron kalınlıkta boyanmış numunelerin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değeri	48
Tablo 3.6. 200 mikron kalınlıkta boyanmış numunelerin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri	51
Tablo 3.7. 400 mikronla boyanmış numunelerinin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri.....	56
Tablo 3.8. Boyasız numunelerinin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri.....	62
Tablo 3.9. Tüm numunelerin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri..	66
Tablo 3.10. Dışı boyalı deney grubu ve İdeal modelin başlangıç ve göçme kapasite değerlerinin karşılaştırılması.....	68
Tablo 3.11. İçi-dışı boyalı deney grubu ve İdeal modelin başlangıç ve göçme kapasite değerlerinin karşılaştırılması.....	68

ÖZET

Anahtar kelimeler: Çelik Silo, Kabartılmış Boya, Yangın sonrası burkulma davranışı

Açık deniz platformları, gemilerdeki petrol ve gaz tankları, denizaltılar, gemi gövdeleri ve iskeleler gibi kıyı yapıları modern endüstriyel tesislerin önemli bileşenleridir. Bu yapılarda yangın kaçınılmaz bir durumdur ve yangından korunmak önemli bir yer tutar. Bu nedenle yangından sonra bu yapıların hızlı ve düşük maliyetle işlevsel hale getirilmesi önemli bir konudur. Bu çalışma, silindirik tankların başlangıç burkulmasını ve göçme kapasite değerlerini incelemek amacıyla, yangından sonra yangına karşı koruyucu boyanın (100, 200 ve 400 mikron) silindirik tanklar üzerindeki etkisini araştırmaktır. Burada, farklı sıcaklıklarda (300-450-600 °C (BS EN 1991-1-2: 2002)) yangın uygulanmıştır. Yangına karşı koruyucu boya kullanılmış ve dış basınç altında farklı sıcaklığa sahip üç grupta 22 laboratuvar örneği incelenmiştir. Farklı teoriler ve kodlar altında test sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, içi veya içi-dışı 100 mikronluk boyalı örneklerin, burkulma yüklerinde herhangi bir fark olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte, boya kalınlığı 200 mikron olduğunda, içi ve dışı boyanmış silindirik tanklar 450 dereceye kadar yangına dayanıklıdır ve ideal model gibi davranmaktadır. Ayrıca, boya kalınlığı 400 mikron olduğunda, dışı boyalı silindirik tanklar 450 dereceye kadar yangına dayanıklı olmaktadır. Bu numunelerin göçme yükleri ideal modelin toplam burkulma yükünden daha büyük olmakta, böylece bu deney numuneleri 450 derece yangından sonra kullanılabilir.

EFFECTS OF ANTI-FIRE PAINT ON THE POST-FIRE BEHAVIOR OF THE CYLINDRICAL SHELLS UNDER VACUM PRESSURE

SUMMARY

Keywords: Steel Shell, intumescent paint,, buckling performance, fire exposure

Offshore platforms, oil and gas tanks in the ships, submarine and submersibles, bodies of ships, and coastal structures such as piers are important components of lifeline and modern industrial facilities. In these structures, fire is an inevitable position, and protecting it from fire takes an important place. therefore, it is an important issue to make these structures functional after the fire, quickly and with little cost. This study was to investigate the effect of verified Ani-Fire Paint (100, 200 and 400 microns) on cylindrical tanks after post-fire in order to examine the buckling and post-buckling of the cylindrical tanks. Herein, post-fire was introduced at different temperatures (300-450°C-600°C (BS EN 1991-1-2:2002)). 22 laboratory specimens in three groups with verified Ani-Fire Paint and different Temperature under external pressure are examined. The results of testing under different theories and codes were compared. This study shows that inside or inside-outside 100-micron painted specimens did not show any difference with each other in the buckling load. However, when the paint thickness is 200-microns, the cylindrical tanks painted inside and outside are resistant to fire up to 450 degrees and behave like a ideal model. Furthermore, when the paint thickness is 400-microns, the cylindrical tanks painted outside are resistant to fire up to 450 degrees, because the collapse loads of these specimens are bigger than the overall buckling load of the perfect model. So, these can be used after 450 temperature fire.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Çeşitli amaçlarla kullanılan çelik tanklar (Örn. silo, sıvı tankları, asfalt tankları, petrol tankları, ...) arasında en yaygın olanı, silindirik çelik depolama tanklarıdır. Hem işlenmiş ürünler hem de son ürünler tanklarda depolanır. Depolanan bu ürünlerin değeri yüksektir. Sızıntı, döküntü veya yangın sonucunda kaybedilecek ürünün hem işyerinin ekonomisi hem de geleceği üzerinde önemli etkileri vardır. Depolanan materyallerin doğası gereği, atmosferik hidrokarbon depolama tankı tesislerinde, insan ölümleri, çevreye ve varlıklara zarar verecek büyük kazaların meydana gelmesi her zaman risk dahilindedir. Bir silindir çelik tank çeşitli yangınlara maruz kalabilir bu yangınlar havuz yangını, tank yüzey yangınları, jet yangınları, boil-over, patlama (örn. Buhar bulutu patlaması (VCE), yıldırım (kıvılcım kaynağı olarak), ve insani hatlar (örn. Kaynak esnasında çıkan yangın) gibi yangınlardır. Günümüzde, silindir tanklar üzerinde yangınlardan korumak için çeşitli izolasyonlar yapılmaktadır ve yeni izolasyon sistemleri üretilmektedir. İzolasyonun en önemli etkisi, yangından sonra tankların işlevselliklerini kaybetmeden ve küçük bir revizeyle yeniden kullanılabilir duruma gelmeleridir. Başka bir ifadeyle, dünyada silindir tankların yangından sonra en az maddi hasarla, yeniden işleve girmeleri planlanıyor. Bu nedenle, Bu araştırma kapsamında çeşitli kalınlıklarda kabartılmış boya ile kaplanmış ince cidarlı silindirik tanklar çeşitli yangın derecelerine maruz bırakılarak burkulma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Üç grup olarak planlanan deneylerde ilk grupta silindirinin sadece dış yüzeyi boyanarak yangına maruz bırakılırken, ikinci grupta iç ve dış yüzeyleri boyanarak yangına maruz bırakılmıştır. Ayrıca, iki grupta farklı boya kalınlıkları ve yangın dereceleri incelenmiştir. Üçüncü grupta ise boya uygulanmamıştır. Deneyler 800*400*0.45 mm boyutlarında 22 adet numune ile yapılmıştır. Deney Modellerinde 100 µ, 200 µ ve 400 µ olmak üzere 3 çeşit boya kalınlığı kullanılmıştır. Tüm

deneylerde numunelere boya uygulandıktan sonra boya ölçme makinesi ile tüm silindir cidarında hatasız ve aynı kalınlıkta boya olacak şekilde ilgili ölçümler yapılmıştır. Numuneler boyadıktan sonra 24 saat kurumak üzere bekletildikten sonra ISO-Fire yönetmenliğine göre 300 °C, 450 °C ve 600 °C sıcaklıklarda 120 dakika süre ile Atatürk Üniversitesi fırınında yangına maruz bırakılmıştır.

Hazırlanan numuneler deney düzeneğine yerleştirilerek sızdırmazlıkları sağlanmıştır. Vakum pompası yardımıyla deneylerde vakum yapılmış ve yük hücresi yardımıyla veriler kaydedilmiştir. Deformasyon ölçüm cihazları (LVDT) yardımıyla ölçülerek veri toplama cihazı (datalogger) yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Verilerin toplanmasından sonra vakum-yerdeğiştirme grafikleri çizdirilmiştir. Böylelikle numunelerin boya kaplaması kullanılarak farklı ISO-Fire yangınına maruz kaldıktan sonra dayanımlarının artırılması hedeflenmiş olup ve böylece malzemenin atıl duruma geçmeden kullanım ömrünün uzatılması amaçlanmıştır.

1.2. Çelik Malzemesi ve Yangın Hakkında Yapılan Çalışmalar

Zehfuss yaptığı çalışmasında, konut ve ofis binalarındaki sınır koşullarını dikkate alarak, gerçekçi doğal yangın tasarımları için ısı denge modelleri oluşturmuştur. Bu modellerden yararlanılarak hazırlanan simülasyonlar sayesinde üretilen parametrik doğal yangın modeli oluşturulmuştur. Çalışmada sunulan ısı denge modeli, parametrik yangın eğrileri, performans tabanlı doğal yangın tasarım konseptinin bir parçası olarak yapısal yangın tasarımı için kolayca kullanılabilen basitleştirilmiş ampirik denklemlerden oluşturulmuştur. Parametrik yangın eğrileri, farklı ısı dengesi modellerinin sonuçları ve farklı yangın araştırma laboratuvarlarından yayınlanan yangın testleri ile karşılaştırılarak kontrol edilmiş ve doğrulanmıştır. Ayrıca çalışmada parametrik yangın eğrilerinin uygulanması bir örnekle gösterilmiştir. Performansa dayalı bir yapısal yangın tasarımı için; yangın senaryosunun ayrıntılı tartışma sayesinde daha gerçekçi olduğu vurgulanmıştır. Parametrik yangın eğrilerinin, yapısal yangın tasarımı için gelişmiş hesaplama yöntemleri (Eurocod'a göre) için bir temel oluşturabileceği belirtilmiştir. Basitleştirilmiş doğal yangın modeli her türlü yapıya uygulanabilse de, en çok çelik yapıların tasarımı için fayda sağlandığı ifade edilmiştir.

Gerçekçi yangın gelişiminin yanı sıra, genel yapıdaki yük dağıtımlarının dikkate alınmasının da yangın güvenliği tasarımında avantajlar sağladığı belirtilmiştir [1].

Sun yaptığı çalışmada; farklı özelliğe sahip tabakalar (FGM) kullanılarak üretilmiş malzemelerin silo tarzı yapılarda kullanılması durumunda yangın etkisinde oluşacak burkulma davranışının analitik çözümleri üretilmeye çalışılmıştır. Donnell'in silo teorisini benimseyerek Hamiltonian varyasyonel prensibi ile çözüm yöntemi oluşturmuştur. Daha sonra temel burkulma problemi özvektör çözümüne dönüştürülmüştür. Elde edilen çözümler, sınır koşullarının ve sıcaklığa bağlı FGM özelliklerinin termal burkulma davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca ısıya duyarlı, bileşimler açısından zengin olan işlevsel olarak derecelendirilmiş silindirik silolar (FGCS) için; termal alan koşullarının ihmal edilemeyeceği sonucuna varılmıştır. Çalışmada kullanılan çözümde geometrik ve doğal sınır koşulları kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre, kritik yüklerin ve burkulma modlarının belirlenmesine, özdeğer çözülmesi ile ulaşılabileceğini ifade etmiştir. Basitçe desteklenmiş silolar için, düzlem içi çevresel baskının azaltılması, termal burkulma yükünü büyük ölçüde azaltmakla birlikte aynı zamanda silonun üniform olmayan lokalize modlara göre burkulmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Silo kalınlığı ve hacim fraksiyon kuvvetinin burkulma yükü üzerinde etkisinin çok büyük olduğu vurgulanmıştır. Sıcaklık alanı etkilerinin sadece termal duyarlı bileşimler içeren FGCS'ler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [2].

Chikode yaptığı çalışmada; yangın etkisi altında bulunan silolara yerleştirilen halka şeklindeki elemanlarda oluşan dış basıncın, elemanın burkulma davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Yangın etkisine maruz kalan siloların mukavemetini artırmak için kullanılan bu halkalar belirli mesafelerde kesilmekte ancak bununla ilgili herhangi bir yönetmelik bulunmamaktadır. Yapılan çalışmada silo geometrisi, silo etrafına sarılan bu halkaların kesit özelliklerinin ve halkaların sarılma adım mesafelerinin; dış basınç etkisi altındaki burkulma yüküne olan etkisi sonlu eleman yöntemi ile araştırılmıştır [3].

Salashour yaptığı çalışmada; silindirik geometriye sahip yapıların dış basınç altındaki burkulma davranışlarını Ritz metodu kullanarak incelemiş ve sonuçları Timoshenko and Gere'in formülleri ile karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonunda; burkulma yükü ve statik eşitlik eğrilerini Ritz metodu kullanılarak elde edilmiş, öngörülen göçme yükünü Timoshenko teorisindeki değerlerden daha yüksek olduğunu ifade etmiştir. Ancak dış yük olarak hidrostatik basınç kullanılması durumunda burkulma yükünün azaldığı, böylece Timoshenko eşitliği ile deneysel sonuçların uyumlu olduğu ifade edilmiştir [4].

Pantousa yaptığı çalışmasında; benzin endüstrisinde yakıt depolamak için kullanılan üstleri kapalı sabit tavanlı siloların yangın etkisi altındaki burkulma davranışlarını incelemiştir. Çalışmada kullanılan silo, üst kısımları eşit kalınlıkta ve konik yapıya sahip olacak şekilde seçilmiştir. Sonlu eleman modelinde, lineer ve lineer olmayan analiz kullanılarak gerilme dağılımı, burkulma ve burkulma modları açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmanın sonunda; daha kısa tanklardaki burkulma öncesi kritik sıcaklıktaki gerilmenin, uzun ince tanklara oranla daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Kritik sıcaklıkların ve termal burkulma modunun silo geometrik özelliklerine (yükseklik/çap) bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. Sonuç olarak; sıcaklık değişiminin üniform olması ve üniform olmaması durumunda, siloların burkulma davranışlarının bütünüyle farklı olduğu ifade edilmiştir [5].

Gardner yaptığı çalışmada; paslanmaz çeliğin ve yapısal çeliğin yangın etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Paslanmaz çelik malzemesi yapısal çelik ile karşılaştırıldığında; karbon miktarı az, daha hafif, korozyon direnci fazla ancak dayanımı düşük olan bir malzeme olmaktadır. Ancak paslanmaz çeliğin yangın dayanımı yapısal çeliğe göre daha fazladır. Ayrıca uzun periyotta bakım maliyetinin, karbon çeliğine göre az olması ve yangın direnci gibi avantajlardan dolayı tercih edilmektedir. Yapının cephe kaplamasının taşıyıcı sisteminde, balkon trabzanlarında geniş şekilde kullanımı bulunmaktadır. Yapılan çalışmada; yangına maruz kalmış paslanmaz çeliğin yapısal çeliğe oranla yüksek sıcaklıkta dayanımını daha az kaybetmekte ancak yapısal çelikten daha fazla termal genişlemeye sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda Euro code'da bulunan paslanmaz çelik

elemanların ısı genleşme katsayılarını incelemiş ve revize edilmesi gerektiği ifade etmiştir [6].

Uppfeldt yaptığı çalışmada; soğukta şekil verilmiş dikdörtgen geometriye sahip aksenal yük etkisi altındaki çelik kolonların yangına maruz kaldığında elemanın mekanik davranışlarındaki değişim incelenmiştir. Mevcut yapılan bir projenin risk analizinin değerlendirilmesi için böyle bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada farklı enkesit değerlerine sahip soğukta şekil verilmiş elemanların yangın etkisi altındaki davranışının belirlenmesi için, sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Sonlu eleman modeli üzerinde parametrik çalışma yapmak için, deneysel verileri kullanarak sonlu eleman modeli doğrulanmıştır. Özellikle sonlu eleman modelinde elastik ötesi davranışta, çelik malzeme modeli oluşturulurken kullanılan 'imperfection' kusur tanımının local ve global olarak tanımlanmasının önemli olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca yangına maruz kalmış soğukta şekil verilmiş elemanların köşelerindeki dönme açısının sonlu eleman modelinin doğrulanmasında önemli olduğu ifade edilmiştir [7].

Qin yaptığı çalışmasında, literatürde yangına maruz kalan çelik elemanlar ve kısmi montaj elemanları üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, yangın yükü altında çelik iskeletli binaların göçme davranışını değerlendirmek için, altı katlı taşıyıcı sistemin 3 boyutlu sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Yangın yüklerini simüle etmek için iki farklı yangın senaryosu kullanılmış, standart ve parametrik bir yangın eğrisi seçilmiş ve bina modelinden bağımsız olarak uygulanmıştır. Herhangi bir kattaki bir bölmede meydana gelen yangının yapı sisteminde yanal deformasyon meydana getirdiğinin, ancak bir katın tamamında meydana gelen yangının tüm sistemin aşamalı dikey yer değiştirmesi ile birlikte çökmenin oluştuğu ifade edilmiştir. Çalışmada kullanılan simülasyon sonuçları, göçme mekanizması ve yapısal elemanların davranışları dahil olmak üzere çelik binaların yapısal tepkilerinin ve yangın olayları sırasındaki bağlantıların gelişmiş nümerik sonlu eleman analizi kullanılarak makul bir doğrulukla tahmin edilebileceğini göstermektedir. Yapının göçme anı ve göçme anına kadar yapısal bir sistemin deneysel olarak test edilmesi, yapıların göçme potansiyelini ve düzeninin değerlendirmenin en güvenilir yolu olduğu ifade edilmiştir. Öte yandan, kabul edilebilir doğruluk seviyesine sahip sayısal

simülasyonların, farklı yükleme senaryoları altında çeşitli yapısal sistemlerin çöküşünü değerlendirmek için kullanılabilceği ifade edilmiştir. Çalışılan modelde hem tüm yapının sistem tepkisi değerlendirilmiş hemde yapı bileşenleri tek tek değerlendirilmiştir. Modellenen altı katlı yapı sisteminin, yangını simüle etmek için iki zaman-sıcaklık eğrisine, ASTM E-119 standart yangın eğrisine ve EC3 parametrik yangın eğrisine tabi tutulduğu belirtilmiştir [8].

Kowalski yaptığı çalışmada, yüksek sıcaklığa maruz kalan beton elemandaki oluşumları incelemiştir. Beton elemanın davranışında EN 1992-1-2 standardının yeterli güvenliği sağladığını ifade etmiştir. Hatta betonun donma ısısının yüksek sıcaklık etkisi ile karşılaştırıldığında; donma ısısının betonun mekanik özelliklerine daha fazla zarar verdiğini ifade etmiştir. Ayrıca betonun sahip olduğu agrega cinsinin önemli olduğu özellikle silisli agreganın yangın dayanımının çok düşük olduğu, kalkerli agregaların ise yangın dayanımının yüksek olduğu deneysel olarak gösterilmiştir. Ayrıca yüksek beton kalitesine sahip elemanların yangın dayanımı diğer beton sınıflarına göre daha düşük olmaktadır. Yangına maruz kalan betonun mekanik özelliklerini incelendiğinde, artık gerilme miktarının ilk durumuna göre azaldığı ifade edilmiştir. Ayrıca yangına maruz kalmış bir elemanda oluşan ısı transferi, beton elemanında beklenmeyen ve ani davranışlara sebep olduğu ifade edilmiştir [9].

Winful yaptığı çalışmada; yüksek mukavemetli çelik (HSS) kolonların sıcaklık etkisi altındaki davranışını incelemiş, sonlu eleman davranışını deneysel olarak elde ettiği veriler yardımıyla doğrulamıştır. Model doğrulandıktan sonra, çelik sınıflarının burkulma davranışlarındaki etkisini belirlenmiş ve Eurocode yangına dayanıklılık tasarım kurallarını incelemiştir. Eurocode'un HSS için uygunluğunu değerlendirmek için iki farklı çelik sınıfının (S690QL ve S700MC), malzeme özelliklerini içeren parametrik çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonunda; Eurocode'un burkulma katsayılarına göre genellikle daha güvenli sonuçlar verdiğini ve S700MC'den yapılan kolonların burkulma direncini güvenli bir şekilde karşılayacağını, S690QL'den yapılan kolonlar için ise daha düşük bir burkulma eğrisinin gerekli olabileceğini göstermiştir. Buna ek olarak, HSS üretmek için kullanılan çeşitli alaşımlama ve üretim yolları

olması nedeniyle, yangın etkisinin çeliğin gerilme-birim şekil değiştirme üzerine olan etkisini incelenmiştir [10].

Fan yaptığı çalışmada; yangına maruz kalmış içi boş dikdörtgen geometriye sahip çelik elemanların mekanik özelliklerindeki değişimi incelenmiştir. Yaptığı deneysel çalışmaların sonucunda; yangının eleman dayanımına verdiği zarar, azaltma katsayısı ile ifade edilmiştir. Çalışmanın sonunda; elemanın yangın dayanımının belirlenmesinde en önemli etken, elemanın üzerine gelen yük oranı ve eleman derinliği olduğu ifade edilmiştir. Çalışmasında yangına maruz kalmış dikdörtgen enkesitli elemanların dayanımlarının belirlenmesinde azaltma faktörünün kullanılmasını önermiştir. Yangına maruz kalmış çelik elemanın Eurocode'a göre hesaplanan azaltma faktörü, standart test metodu ile elde edilen elemanın akma dayanımına oldukça yakın olmasına rağmen, elastisite modül hesabında ve çekme dayanımında azaltma faktörünün düşük kaldığı ifade edilmiştir. Çelik elemanın yangın sırasında ölçülen ısı genleşme katsayısı değerinin yönetmeliğe uygun olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca elemana gelen yük oranı arttığında, elemanın göçme moduna ulaşma sıcaklığı düşmektedir. Eleman en kesit değeri ne kadar büyük olursa kritik burkulma sıcaklığı o kadar büyük olmaktadır [11].

Casal yaptığı çalışmada; yaşanmış kaza analizleri ve ilgili vaka geçmişlerini incelemiştir. Spesifik kazalar üzerinde çalışılmasının, bu kazalarda nelerin yanlış gittiğinin anlaşılması ve gelecekte alınacak tedbirlerin anlaşılması açısından önemli olduğu belirtilmiştir. Geçmişte yaşanan çeşitli kazalardaki domino etkileri analiz edilmiş ve bazı kaza örnekleri domino etkisi olarak yorumlanmıştır. Kimyasal proses endüstrilerinde veya tehlikeli maddelerin taşınması sırasında meydana gelen yangınların, ekonomik ve insan kayıplarının yaşandığı tam ölçekli kazaların deneysel veri kaynağı olarak çok değerli olduğu vurgulanmıştır. Böyle bir alanda deneysel çalışma yapmanın çok zor pahalı ve çoğu durumda imkansız olduğu belirtilmiştir. Yaşanan kazalarda yapılan analiz sonuçlarının, risklerin ana kaynaklarını belirlenmesi, hangi kazaların tekrarlamasının daha olası olduğunun saptanması ve daha güvenli işletme prosedürlerinin belirlenmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Domino etkisi söz konusu olduğunda bu tip çalışmaların bu etkiye en sık neden olan orijininin ve

oluşabilecek vaka tekrarlarının ve sıklıklarının saptanması için kullanılabilceği belirtilmiştir. Bu açıdan bakıldığında risk analizlerinin domino etkisini sayısal olarak değerlendirmek için elverişli bir yol olacağı vurgulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, kazaya çok küçük bozukluk ve hataların sebep olduğu ancak bu durumun kazanın şiddetini ve hasarını ciddi şekilde artıran domino etkisini tetikleyebildiği belirtilmiştir. Bu nedenle, risk analizlerinde domino etkisinin göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır. Yeterli güvenlik önlemlerinin uygulanması, bu etkinin sıklığını önemli ölçüde azaltabileceği ve geçmiş kazalardan öğrenilebilen herhangi bir bilginin gerekli tedbirlerin uygulanmasında yardımcı olabileceği vurgulanmıştır [12].

Pourkeramat yaptığı çalışmada, çelik yapı ya da silo tarzı yapılarda kullanılan çelik malzemesinin yangın karşısındaki davranışında elemanın mekanik özelliklerinin etkisi incelenmiştir. Sonlu eleman oluşturulurken kullanılan malzeme modelinde artık gerilme, başlangıç eğriliği gibi etkilerin sonlu eleman modellemesinde kusur 'imperfection' olarak belirtilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Elemanın maruz kaldığı yangın etkisi, elemana termal yük olarak tanımlanmakta, bu yük elemanın burkulma davranışı göstermesinde etkili olmaktadır. Özellikle silo tarzı genişlik kalınlık oranı çok küçük olan yapılarda kusur etkisinin yapı davranışına olan etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda genişlik-kalınlık oranı arttıkça sıcaklık etkisi ile oluşacak lokal burkulmaya olan duyarlılığının %40'a kadar arttığını ifade etmiştir. Ayrıca termal yük ne kadar lokal olursa, o kadar az geometrik kusurun kritik burkulma sıcaklığını etkileyeceği belirtilmektedir [13].

Lou yaptığı çalışmada; çelik taşıyıcı sisteme sahip bir yapının yangın etkisi karşısındaki göçme mekanizmasını deneysel ve sonlu eleman modeli kullanarak incelemiştir. Lokal olmayan bir yangın senaryosunu simule etmek için gerçek yangın testi yapmıştır. Çelik taşıyıcı sistemin yangın karşısındaki dayanımını belirlemek için kolonların mafsallaşma sıcaklıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonunda; 20 dakikalık yangın sonrasında 8500 C kritik kolon sıcaklığı ile taşıyıcı sistem göçme durumuna gelmektedir. Deneysel sonuçlar, yangın sırasında ölçülen gaz sıcaklıklarının EN 1991-1-2de belirtilen parametrik yangından daha düşük olması, standart yangınlar için termal hasarın düşük hesaplandığı ifade edilmiştir. Ayrıca

parametrik yangın çalışmalarında ise; gerçekçi olmayan tahminler yapıldığını ifade edilmektedir. Standart yangınlardan yapılan tahminlerde, çelik sıcaklıkları 300 °C'ye kadar daha düşük tahmin edilmiştir. Tek katlı taşıyıcı sistem yüksekliği boyunca belirgin homojen olmayan gaz sıcaklık dağılımı, 200 °C sıcaklığa sahip iki bölge bir model oluşturduğu ifade edilmiştir. Yangın bölmesinin üstündeki elemanların maksimum sıcaklığı, sıcak duman yayılması nedeniyle 500 °C'yi aştığı ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada; deneysel sonuçlara dayanarak sayısal bir model oluşturulmuş ve doğrulanmıştır. Yangına maruz kalan taşıyıcı sistemin dışa doğru potansiyel bir çökme modu tahmin edildiği belirtilmiştir. Havalandırma koşullarını, oda sınırları ve elemanın termal özellikleri doğru değerlendirilerek, yangın karşısındaki yapı performansı daha doğru olacak şekilde ifade edileceğinin göstermişlerdir [14].

1.3. Yangından Koruyucu Malzemeler Hakkında Yapılan Çalışmalar

Lucherini yaptığı çalışmada; üç farklı yangın senaryosunda, farklı ısıtma koşullarını ve ısıtma hızlarında iki farklı ince kabartılmış kaplama (solvent bazlı ve su bazlı boya) kullanarak çelik numuneleri yangına karşı hazırlamış ve deney numuneleri için üç farklı deney düzeneği kurulmuştur. Kaplanmış çelik numuneleri için elektrikli fırında, gaz ocağında ve koni ısıtıcıda olmak üzere farklı standart ve standart dışı yangın koşulları oluşturmuştur. Standart ve standart olmayan yangın koşullarına maruz bırakarak iki farklı kabartılmış kaplamanın yalıtım özellikleri üzerinde deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Test edilen kabartılmış kaplamaların yalıtım performansı, termal direncin değişimi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda; deney elemanlarının ısı direnci gelişiminde ortak bir eğilim gözlenmiştir. Sonuçlar, yalıtım performansının açık bir şekilde ısıtma hızına bağlı olduğunu ve iki boyanın davranışında güçlü bir fark olduğunu göstermiştir. Su bazlı boyanın düşük ısıtma hızlarında daha iyi performans gösterdiğini, solvent bazlı boyanın ise yüksek ısıtma hızlarında daha iyi performans gösterdiğini ve çok düşük ısıtma hızlarında aktive olmadığını veya düzgün yalıtım sağlamadığını göstermiştir. Farklı boyaların farklı ısıtma koşullarına ve özellikle yangının ısıtma hızına göre farklı performanslara sahip oldukları için, bu çalışmada kabartılmış kaplamaların tasarımı için mevcut prosedürün

eksiklikleri olduğu doğrulanmıştır. Çalışmadaki tüm testlerde aynı termal direnç fazları tanımlanabilse de, sonuçların analiz edildiğinde kaplamaların yalıtım performanslarının ısıtma hızına bağlı olduğu ve iki boyanın davranışında güçlü bir fark olduğunu ifade edilmiştir. Mevcut bulgular, kabartılmış boyalarla korunan çelik elemanlar için güvenli ve daha doğru tasarım yöntemlerinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Güvenilir bir metodoloji, gerçekçi yangınlara maruz kalan farklı tipte kabartılmış kaplama ürünlerinin yalıtım özelliklerinin uygun bir şekilde değerlendirilmesinin sağlaması gerektiği belirtilmiştir. Son olarak kabartılmış kaplama performanslarını anlamak için kesinlikle daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu ve ürünlerin ve muhtemel yangın koşullarının çok geniş bir varyasyona olması nedeniyle su bazlı ve solvent bazlı boyalarla yapılan testlerin genişletilmesi gerekliliği vurgulanmıştır [15].

Bilotta yaptığı çalışmada, 30 yıllık bir yapıda bulunan, yangına karşı korumak için boyanmış çelik elemanlarda yaptığı deneysel çalışmayı değerlendirmiştir. Deneysel çalışma 2 bölümde gerçekleşmiştir. İlk bölümde, çelik ve sarılmış kompozit elemanlarda var olan yangın koruyucu boya kaplamalarının verimliliklerini değerlendirilmiş, ikinci aşamada ise, çelik elemanlar üzerindeki varolan boya kaldırılarak yeni boya yapılmış ve var olan boyanın üzerine tekrar yangın koruyucu boya uygulamaları yapılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmada, yangına karşı yapılan boya kaplamasının kalınlık ve yapışma mukavemeti ile homojenlik durumları değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda; yangından korumak için yapılan boya uygulaması ardından otuz yıl geçmesi durumunda yapısal elemanlara boya uygulamasının tekrar yapılmasının gerekli olduğu görülmüştür. Ayrıca; çelik elemanlar üzerinde var olan boya kaplamasının yangına karşı çok verimli olmadığı, hatta yaptıkları diğer deney grubunda bulunan yeniden boyanmış örneklerinde de benzer performanslara sahip oldukları ifade edilmiştir [16].

Jimenez yaptığı çalışmada; hidrokarbon yangını durumunda çelik elemanları korumak için farklı formülasyonlarda boya üretmeye çalışmıştır. Boya içine; yangına dayanıklı maddeler, borik asit ve amonyum polifosfatın dahil olduğu bir termoset epoksi-amin reçine karışımı hazırlamıştır. Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda; reçine

içeriğinin boyanın vizkozitesinde çok küçük bir azalmaya neden olduğu ancak boyanın mekanik dayanımında ve genişmesinde büyük katkı sağladığı ifade edilmiştir. Ayrıca borik asit viskozitedeki düşüşün anahtar katkı maddesi olmaktadır [17].

Wang yaptığı çalışmada; çelik elemanların yangına dayanıklı olması için solvent bazlı boya ile deneysel çalışma yapmıştır. Deneysel çalışmada P Tipi (epoksi poliüretan) ve S Tipi (alifatik akrilik poliüretan) esaslı boyaları farklı kalınlıklarda çelik elemanlara uygulayarak yangın dayanıma olan etkisini incelemiştir. Çelik elemana uygulanan boya katmanının kalınlığı artıkça yangın dayanımına karşı elemanın direnç kazandığı vurgulanmıştır. Özellikle son katmandaki boya özelliğinin boya dayanımında en etkili yüzey olduğu ifade edilmiştir [18].

Yasir ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Intumescent coating (IC) malzemesi kullanarak kaplanmış çelik elemanların yangına karşı dayanımını araştırmıştır. Char adı verilen IC tabakanın farklı kalınlıkta ve farklı teknikte kullanılması durumunda çelik elemanın alev karşısındaki davranışı araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada kabartılmış kaplamaların ana bağlayıcıları, alev geciktirici katkı maddeleri ve dolguların çelik elemanın yangına karşı davranışa olan etkisi incelenmiştir. Char tabakasının çeşitli malzemeler (asit, tuz ve nem) gibi nedenlerden dolayı elemanda oluşan tahribatin, char katmanına verdiği hasarın ve yangına maruz kaldığındaki elemana olan etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmanın sonunda; yukarıda belirtilen sorunların üstesinden gelmek için, dengeli char kalınlığı ve mukavemetin araştırılması ve buna uygun olacak şekilde kaplama seçilmesi gerektiği ifade edilmiştir [19].

Sofiyev yaptığı çalışmada; elastik madde (FG) ile kaplanmış silindirik geometriye sahip silo tarzı yapıların burkulma ve burulma modu analizleri yapılmıştır. Genel olarak bu maddelerin; ısı gerilmelerini azaltmak ve ısıdan korunmanın etkisini arttırmak için uzay araçlarında kullanıldığı ifade edilmiştir. Sofiyev çalışmasında; FG kaplamaların malzeme özelliklerinin, bileşenlerin hacim fraksiyonları açısından basit bir güç yasası dağılımına göre kalınlık yönünde derecelendirildiğini varsaymıştır. Silo yapısının zemin ile etkileşimini tanımlamak için iki parametrelili temel modeli veya Pasternak temel modeli kullanılmıştır. Temel denklemler Galerkin yöntemi

kullanılarak türetilmiş, çözülmüş ve Pasternak elastik temel üzerine oturan FG kaplamaları olan silindirik yapıların boyutsuz burkulma yükü ve boyutsuz burulma frekansı parametreleri için sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmasının sonunda; geometrik parametrelerin, FG kaplamaların hacim fraksiyon dağılımının ve temel sertliklerinin boyutsuz burkulma yükü ve boyutsuz burulma frekansı parametresi üzerindeki etkileri tartışılmıştır [20].

De Silva yaptığı çalışmada; intumescent coating olarak isimlendirilen (IC) malzemesinin kalınlık etkisini yangın yükü etkisi altında iken elemanda oluşan burkulma davranışını yüksek çözünürlüklü fotoğraf makinesi kullanarak deneysel olarak incelemiştir. Çalışmanın sonunda; ince tabaka şeklinde sürülen IC malzemesinin yeterince homojen dağılmadığı zaman, yangın dayanımının yeterli olmadığı ifade edilmiştir. IC kalınlık oranının yangın etkisi sonucu elemanda oluşacak dış basıncında etkili olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca yaptığı çalışmada; sonlu eleman programı kullanarak bulduğu değerleri deneysel veriler ile doğrulamıştır [21].

Zhang yaptığı çalışmada; çelik plakaları farklı kaplama malzemeleri kullanarak yangın etkisi altındaki davranışı cone calorimeter makinesi yardımı ile çelik malzemesindeki sıcaklıktaki değişim ve kütle kaybı gibi değerleri deneysel olarak elde edilmiştir. Yangına maruz kalan elemanda oluşan genişleme-zaman ilişkisi deneysel olarak elde edilmiştir. Elde edilen deneysel veriler matematiksel formüllerin oluşmasını sağlamıştır. Çalışmanın sonunda; yangın etkisi altında bulunan çelik elemanın davranışının tahmin edilmesi sağlanmıştır. Literatürde yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak yangın sırasında elemandan ya da koruyucu tabakadan çıkan gazın, numerik formülasyonda dikkate alınması gerektiği bulunmuştur [22].

Kandola yaptığı çalışmada; fiber polimer lamine malzemesi ile kaplanmış elemanın yangın etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Yangın etkisi karşısında gösterdiği davranışı yeni bir yaklaşım ile doğrulamaya çalışmıştır. Çalışmanın sonunda; yüksek sıcaklıkta sonlu eleman modelinin daha doğru sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Ayrıca üç boyutlu sonlu eleman modelinde; fiberin malzeme tipi seçilirken çatlak oluşumlu eleman tipi seçilmesi durumunda sonlu elemanların daha doğru sonuç verdiği

gösterilmiştir. Yaklaşımın daha doğru sonuç verebilmesi için daha fazla çalışma yapılması tavsiye edilmiştir [23].

Li yaptığı çalışmada; çelik malzemenin sarılması ile elde edilen koruyucu katmanın sıcaklık iletimi üzerine deneysel araştırma yapmıştır. Çelik malzemeye yerleştirilen ısı iletkenlik cihazı sayesinde, elemanın ne kadar yangına dayanıklı olduğu bulunmaya çalışılmıştır. Kullandığı kaplama malzemesi yangın karşısında hacmini genişleten bir kaplama türüdür. Ayrıca çalışmasında, çelik elemanın sarıldığı kaplamanın yangın dayanımına olan katkısının hesaplanabilmesi için analitik formül geliştirmiştir. Yangın dayanımını etkileyen en önemli faktörün, dolayısı ile analitik formüldeki katsayıların; kaplama kalınlığı ve kesit özelliğinde etkili olduğu ifade edilmiştir. Yangın dayanımı için malzeme ile sarılmış çelik profil ile çelik levhaların yaklaşık aynı sonuçları verdiği ifade edilmiştir. Ayrıca yangın etkisini azaltmak için kullanılan sargı malzemesinin ısı iletken katsayısı arttığı zaman, çeliğin ısıdan etkilenmesi ve hasar görmesinin azaldığı ifade edilmiştir [24].

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yapı Tasarımında Kullanılacak Yangın Eğrileri

Yapının yangına karşı gösterdiği başarıda elemanların dayanım önemli bir yere sahip olmaktadır. Elemanların yangın karşısında gösterdikleri davranış sıcaklık- zaman ilişkisi ile ifade edilmektedir. Yangının sahip olduğu sıcaklık-zaman ilişkisi aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

- Standart yangınlar (ISO834 (Fire Resistance Tests-Elements of building construction),
- ASTM E119 (Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials), Hidrokarbon)
- Oda yangınları (Parametrik, Pencere yangınları)
- Bölge Modelleri (Tek bölge ve ileri bölge modelleri)
- Alan Modelleri (İleri yangın ve duman modellemesi)

Standart yangınlar ve oda yangınları basit modellerde kullanılan yangın olarak kabul edilmektedir. Bölge ve alan modelleri ise ileri modellerde kullanılmaktadır. Dünyanın pek çok ülkesinde yapılan çalışmalarda yapının yangın başarısını belirlemek için birbir ya da belirli şartlar dahilinde ölçeklendirilmiş numuneler üzerinde yangın deneyleri yapılmaktadır. Yapılara uygulanacak yangın etkileri ISO834 ve ASTM E119 standartlarındaki eğriler olmaktadır.

Standart yangınlarda; odanın gaz sıcaklığı üniform olarak alınmaktadır. Standart yangın türü genel tutuşma sonrası yangınlar için daha uygun olduğu düşünülmektedir. İleri yangın modelleri teorik olarak geliştirilmiş bilgisayar modellemesinde, ısı ve kütle geçişine izin verilen modellerdir. Duman hareketi ve alev sıçraması standart

yangınlarda dikkate alınmaz iken, ileri yangın modellerinde ise duman ve alev sıçraması dikkate alarak yangın modeli oluşturabilmektedir. Oda yangınları; ortamdaki yangın yükü, havalandırma koşullarına bağlı olarak değişen gerçek sıcaklık-zaman eğrisini de kullanılabilen yangın sınıfındandır. Oda yangınları için kabul edilen eğride, standart yangından farklı olarak yangın sonunda sönme aşaması da görülebilmektedir. Oda yangınlarında, yangının sönme aşamasına kadar standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrileri dikkate alınarak belirlenen sıcaklık dağılımının birbirine eşit olduğu kabul edilmektedir.

2.1.1. Standart yangın modelleri

Standart yangınlar gerçek yangını temsil edememekle birlikte, standart yangın eğrileri, yangının temsil edilmesi için kullanılan en basit yoldur. Standart yangın modellerinde sıcaklık-zaman ilişkisi havalandırma şartlarından ve sınır koşullarından tamamen ayrı oluşturulmaktadır. Standart yangın modelindeki sıcaklık-zaman eğrisi, gelişmiş yangını temsil ederek, yapıya uygulanan yangın testlerinde taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan elemanların yangın karşısında gösterdikleri başarıları belirlemektedir. Standart ve gerçek yangınlar arasındaki ısıtma hızı, yangın şiddeti ve süresindeki farklılıklar, uygulandıkları yapılarındaki farklı yapısal davranışların oluşmasına neden olmaktadır. Örneğin, kısa süreli ancak yüksek sıcaklığa maruz kalan bir eleman, üzerinde oluşan ısıl şok nedeniyle, elemanın kavlanmasına sebep olmaktadır. Tam tersine uzun süreli düşük sıcaklıklı bir yangına maruz kalan eleman, dayanımında daha büyük azalmalara oluşabilmektedir. Ayrıca standart yangınlar genellikle çok şiddetli yangın koşullarını temsil edememektedir. Bu yüzden standart yangınlara göre tasarlanmış yapı elemanları gerçek yangınlara maruz kaldığında ayakta kalamamaktadır. Örneğin modern ofisler; polimer, plastik, yapay deri, laminetler vb. malzemelerden oluşan dekorasyon, mobilya, bilgisayar ve elektrikli aygıtlardan dolayı yüksek miktarda hidrokarbon kökenli yakıtlar içermektedir. Bu nedenle bu tür yapılarındaki gerçek yangınlar, geleneksel standart yangınlara göre daha şiddetli olmaktadır. Standart yangın modellerinin yukarıda belirtilen temel sakınca ve sınırları bulunmaktadır. Bununla birlikte standart yangınlar tasarımların dezavantaj ve sınırları olmasına rağmen en basit ve yaygın kullanılan, performansa dayalı yaklaşımlar

yapabilen, standart yangın deneylerinden elde edilen bulgu ve gözlemlere bağlı olarak geliştirilmiş bir model olarak tanımlanmaktadır.

En çok kullanılan standart sıcaklık-zaman eğrileri ISO 834 (1975) ve ASTM E119'dur. İngiliz (BS476) ve Avustralya (AS1530) gibi diğer bazı ulusal standartlarda bu yangınları kullanmaktadır. ISO834'de verilen sıcaklık-zaman eğrisi, t zamanı ve T_0 ($^{\circ}\text{C}$) başlangıç sıcaklığını göstermek üzere, ISO 834 standart yangın eğrisine ait denklem;

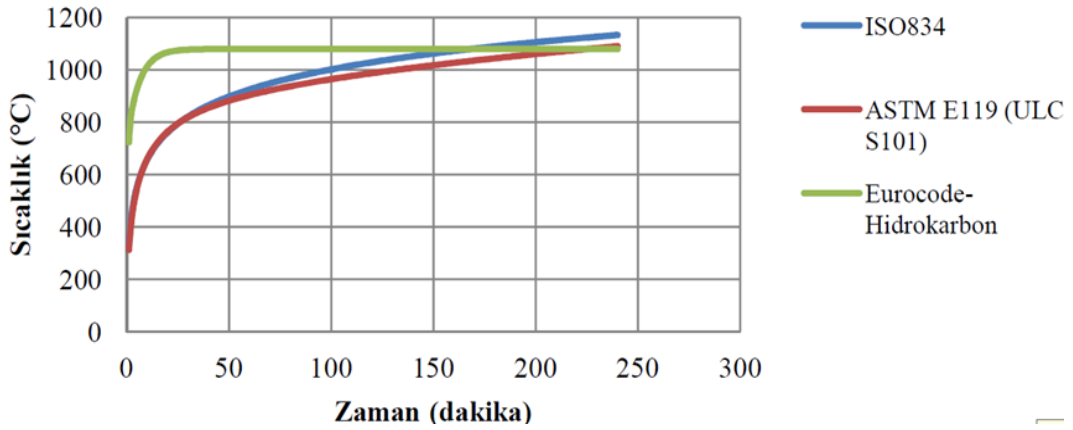
$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_0 \quad (2.1)$$

ASTM eğrisine ait denklem;

$$T = 750 \left(1 - e^{-3.79553 \sqrt{t/60}} \right) + 170.41 \sqrt{t/60} + T_0 \quad (2.2)$$

Eurocode eğrisine ait denklem;

$$T = 1080(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t}) + T_0 \quad (2.3)$$



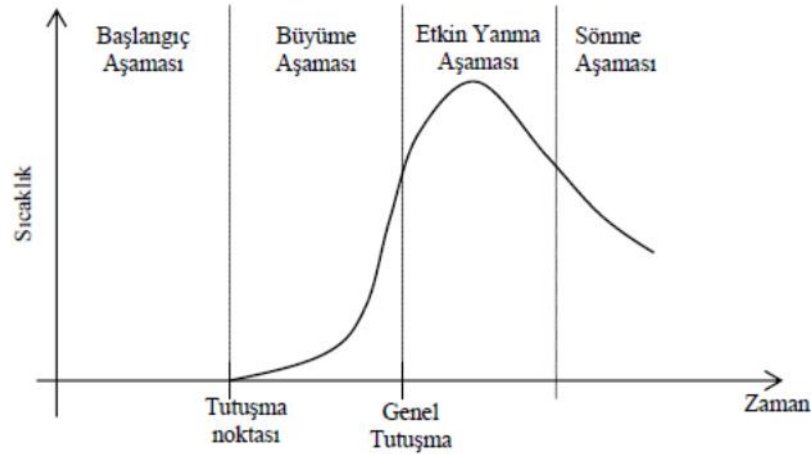
Şekil 2.1. Standart yangınlara ilişkin sıcaklık- zaman eğrileri grafiği.

Yukarıda ifade edilen standart eğriler, yangının sönme aşamalarının bulunmamasını nedeniyle gerçek yangını temsil edememektedir. Yapının yangın performansının

belirlenmesinde; gerçek yangına daha doğru bir yaklaşım sunan ve hesaplaması basit olan oda yangınlarının kullanılması tavsiye edilmektedir (Şekil 2.1.).

2.1.2. Oda yangınları

Oda yangınlarında sıradan bir oda içerisinde gelişen genel tutuşma sonrası yangın olarak tanımlanmaktadır. Yangın sırasında söndürme işleminin olmadığı ve yangının gelişim aşamaları (başlangıç, büyüme, etkin yanma ve sönme) olmak üzere dört aşamadan oluşan yangın türüdür. Yangın olayında, tutuşma sınırından sonra yangın çok hızlı gelişmektedir. Bu durumda yanan gazlarla birlikte havanın akışı aşırı türbülanslı olmakta ve yapılar bu aşamadan sonra çok daha fazla zarar görmektedirler. Bu yüzden bu aşamada oluşan sıcaklıkların yapıların tasarım aşamasında dikkate alarak dizayn edilmesi gerekmektedir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Sıcaklık-zaman eğrisinde yangın gelişim aşamaları (Buchanan, 2001).

- Yakıt Denetimli Yanma

Yangının ilk aşaması olan tutuşma sonrası özellikle çok iyi havalandırılmış, yanabilecek yüzey alanı sınırlı yakıt içeren, çok iyi havalandırılmış odalarda, yanma miktarı yakıtın yüzey alanı tarafından belirlenmektedir. Yakıt denetimli bir yanmada, toplam yangın yükü ve yanma süresinin her ikisinin de bilinmesi halinde bir yakıtın

ortalama ısı salınım miktarı hesaplanabilmektedir. Aşağıdaki formülde; E yakıtın toplam enerjisini (MJ) göstermek üzere, Q_y 20 dakika yanma süresi olan bir yangında ısı salınım miktarıdır. (Denklem 2.4)

$$Q_y = \frac{E}{1200} \quad (2.4)$$

olarak ifade edilmektedir.

Yanma süresinin belirli olmadığı durumlarda ise, ısı salınım miktarının hesabı odadaki yakıtın geometrik özelliklerinin bilinmesini gerektirmektedir. Bu durumda, A_y yakıtın yangın etkisindeki yüzey alanını, H (MJ/kg) ısınma ısısını, ρ özkütlesini göstermek üzere, yakıt denetimli bir yangında ısı salınım miktarıdır. (Denklem 2.5, Denklem 2.6)

$$Q_y = 10^{-5} \rho x A_y x H \quad (2.5)$$

İfadesiyle belirlenmektedir. Bu durumda, E (MJ) yakıtın enerjisini göstermek üzere, yanma süresi olarak ifade edilmektedir. (Denklem 2.6)

$$t_b = \frac{E}{Q_y} \quad (2.6)$$

- Sıcaklık Değişimleri

Yangının genel tutuşma sonrasındaki sıcaklık değişimi, binaların yangına açısından yapısal tasarımda önemli rol oynamaktadır. Yangın andaki sıcaklık, odada yanma sonucu salınan ısı miktarı ile odadan çıkan tüm ısı miktarı arasındaki dengeye bağlı olmaktadır. Havalandırma boşluklarından ısı değişimi ve ısı tranferi, duvar, döşeme ve tavandan ısı iletimi yoluyla ısının odadan çıkması gerçekleşmektedir. T_{max} yangın sırasında maksimum sıcaklık olmaktadır. (Denklem2.4, Denklem 2.5).

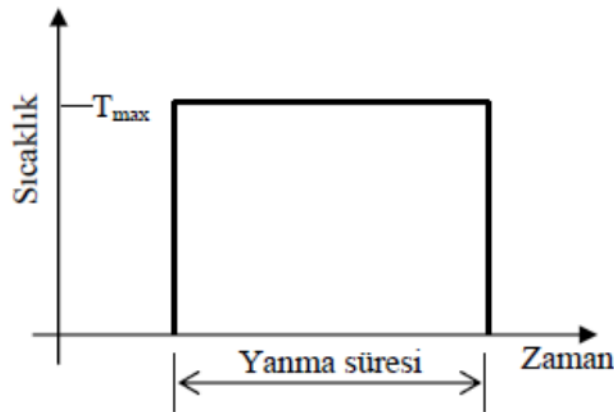
$$\Omega = \frac{A_t - A_v}{A_v \sqrt{H_v}} \quad (2.7)$$

$$T_{\max} = \frac{6000(1-e^{-0.1\Omega})}{\sqrt{\Omega}} \quad (2.8)$$

2.1.3. Tasarım yangınları

2.1.3.1. Basit tasarım yangını

Basitleştirilmiş yangın modelleri, sınırlı bir uygulama alanındaki; yakıt yükü, havalandırma boşlukları ve kaplama malzemelerinin ısı özellikleri gibi yapıya özgü parametreler sıcaklık-zaman ilişkisini ortaya koymaktadır. Basit yangın tasarımında; sıcaklığın zamanın bir fonksiyonu olarak üniform bir şekilde dağıldığı varsayılmaktadır. Yangın tasarımları için kullanılan bu yöntemde dikkate alınan sıcaklık-zaman eğrisi Şekil 2.3.'te verilmektedir. Basit tasarım yangın modeli, yangının oluştuğu bölgedeki gazların sıcaklığını zamanın fonksiyonu olarak ifade etmektedir. Doğal yangın modelleri ise; yapıya özgü fiziksel parametreler göz önüne alınarak hesaplanmaktadır. Temsili ve doğal yangın modeli olmak üzere iki tür yangın modeli bulunmaktadır.



Şekil 2.3. Sabit sıcaklıklı tasarım yangını (Buchanan, 2001).

2.1.3.2. Eurocode parametrik yangınları

Eurocode1'de sıcaklık-zaman eğrisi, yangın yükü, havalandırma boşlukları ve duvar kaplama malzemelerinin ısı özelliklerinin bir fonksiyonu olarak elde edilmektedir. Yanma Periyodu İçin Bağıntı aşağıda verilmiştir. Bu bağıntıdaki sanal süre (t*); hayali

bir zamanı(saat), F_v havalandırma katsayısını, b ($W2s/m4K2$) kaplama malzemelerinin ısı kapasitesini, göstermektedir (Denklem 2.6, Denklem 2.7, Denklem 2.8).

$$T = 1325(1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*}) \quad (2.9)$$

$$\tau = \frac{(F_v/0.04)^2}{(b/1160)^2} \quad (2.10)$$

olmak üzere,

$$t^* = \tau x t \quad (2.11)$$

Yanma Süresi: Yanma süresi (t_b), e_t yangın yükünü (toplam yüzey alanı) ve E yakıtın toplam enerjisini (MJ), A_v yangın odasındaki boşluk alanı, H_v odanın boşluk yüksekliği göstermektedir Denklem (2.9).

$$t_b = 0.00013e_t/F_v = \frac{0.00013E}{A_v\sqrt{H_v}} \quad (2.12)$$

2.2. Deneysel Çalışmalar

Bu tez kapsamındaki çalışmalarda; boya olarak kabartılmış boya, deformasyonları ölçüm aleti (LVDT), yangın için fırın, vakum pompası ve deney verilerinin alınabilmesi için 118 kanallı veri toplama sistemi (Data Logger) kullanılmıştır. Hazırlanan deney düzeneğine numunelerin lehim yapılan yerleri şeffaf silikon yardımıyla silikonlamıştır. Vakum pompası yardımıyla deneyler yapılmış, dasyLab programında yazılan program yardımıyla deney sonuçları bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Deneyler sonuçlandıktan sonra elde edilen bulgular teorik olarak hesaplanan Jawad, Ross ve Venstel and Kaurthaer teorilerine göre karşılaştırılmıştır.

2.2.1. Kabartılmış boya (yangına dayanıklı boya)

Çelik, Betonarme ve ahşap yapıları için geliştirilen yangına dayanıklı boya; genişerek yangın yalıtımı sağlayan intumesan yapıda, yangın geciktirici su bazlı boyadır. Sürülerek uygulandığı yüzeyde kuruyarak eksik bir tabaka oluşturur. Mükemmel alev geciktirici özelliği sahiptir, yangın anında kimyasal reaksiyona girerek şişer ve yüzeydeki sıcaklığın kritik derecelere yükselmesini engeller. Su buharı geçirgendir. Bu özelliği sayesinde uygulandığı yüzeyin nefes almasını engellemez. Ahşap, beton, prefabrik ve çelik yapılarda kullanıma son derece elverişlidir.

2.2.1.1. Uygulama bilgileri

Uygulamadan önce yüzeyler temiz ve kuru olmalıdır. Yağ, kir, çamur gibi maddelerden arındırılmalı, kalkan partiküller temizlenmelidir. Uygulama yapılmadan önce yüzeye uygun bir astar uygulanır.

Uygulama Şekli: Uygulama fırça, rulo ya da uygun bir püskürtücüyle yapılabilir. Boya kullanılmadan önce homojen oluncaya kadar karıştırılmalıdır. Astar uygulaması sonrası yüzeye iki kat halinde 4 saat arayla sulandırmadan uygulama yapılır ve boya işlemi bitirilir. Dış mekan uygulamalarında ve su ve yüksek neme maruz kalan iç mekan uygulamalarında Anti-Fire Paint (yangın koruyucu boya) koruyucu son kat olarak fırça, rulo veya uygun bir püskürtürücü ile 0.3-0.5 kg/m² sarfiyatla uygulanır.

Uygulama koşulları: uygulama yapılan yüzey uygulama esnasında ve sonrasında yağmur, su, mekanik darbeler vb. tüm dış etkenlerden 24 saat korunmalıdır. Su ve neme maruz kalacak yüzeylerde Anti-Fire Paint son kat uygulanmalıdır.

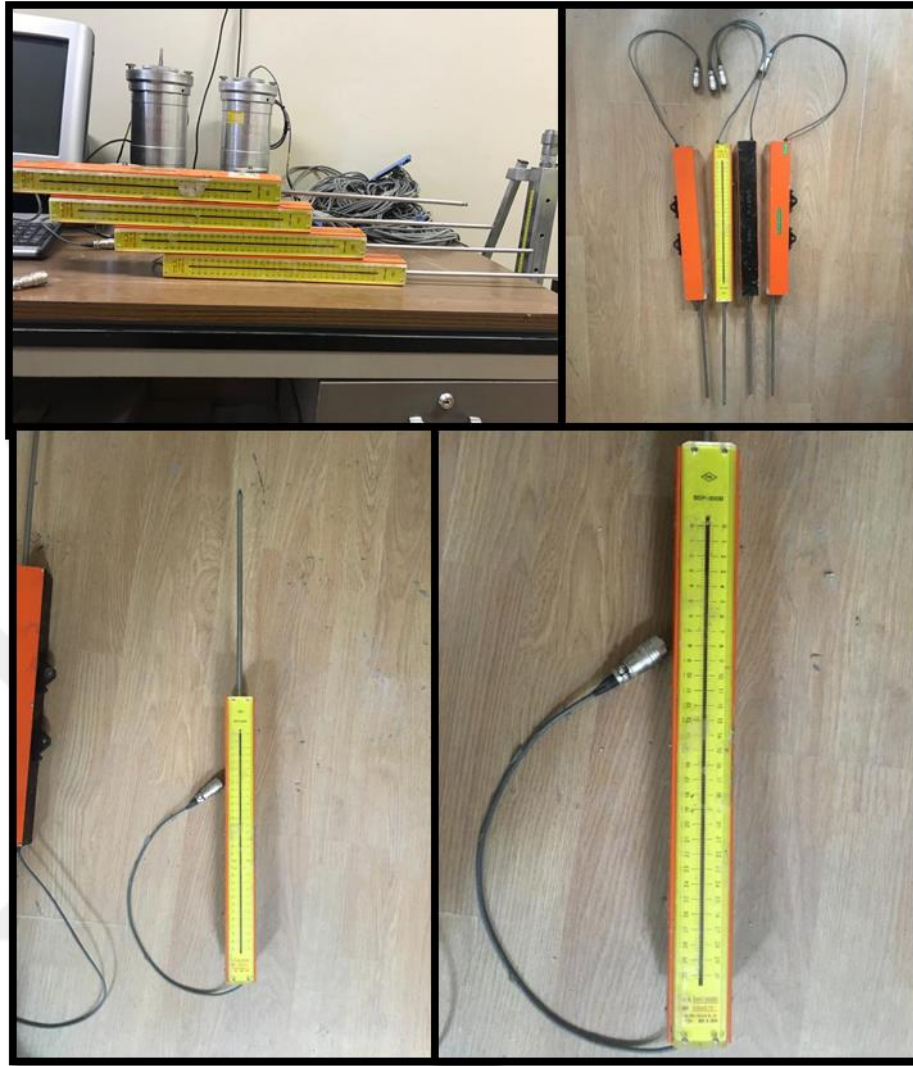
Deney numuneleri Isonem (Anti-fire paint plus) kullanarak, yangına karşı korumaya alındı. Kullanılmış olduğumuz boya, TS-EN 1504-2 standardına uygun olarak üretilmiş. Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Kullanılan boya

2.2.2. Deformasyon ölçme aleti (LVDT)

Yapı laboratuvarında sıkça kullanılan deformasyon ölçüm aleti yardımıyla 0,001 mm hassasiyetli ölçümler yapılabilmektedir. Bu çalışmamızda 300mm ye kadar ölçüm yapabilen SDP-300D Japonya üretimli cihazlar kullanılmıştır. Şekil 2.2.'de kullanılan LVDT' nin görünümü verilmiştir. Uygun bir şekilde dirençlere bağlanarak veri toplama cihazı ve dasyLab programı yardımıyla veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.



Şekil 2.5. Deformasyon ölçüm aletleri (LVDT)

2.2.3. Fırın

Atatürk Üniversitesi fırını çalışma sıcaklıkları 1000°C ve 512 lt. iç hacme sahip, kül fırınlarıdır. Yangın fırını ısı odası tek hücreli yapıya sahiptir. Tek hücreli yapı sayesinde rezistansları kapalı bir alanda tutulmakta, numune sıçramalarından ve ark yapmalardan korumaktadır. $800*800*800$ mm boyutları sayesinde 800 mm yükseklikte, 800mm genişlik ve 800mm derinlik numuneler kolaylıkla içine yerleşebilir.

Fırınlarımız ısı transfer hesaplamaları ve ısıtma için gerekli ısı güçlerinin hesaplandığı mühendislik çalışmaları sonucunda; yüksek sıcaklıklara dayanıklı seramik hücreler ve düşük ısı transfer katsayısına sahip yüksek kaliteli fiber boardlar kullanılarak imal edilmiştir. Fırınlarımızda kullanıcı güvenliği ön plandadır. Fırının dış yüzey sıcaklığı; gerekli yalıtım ve havalandırma boşluklu yapısı ile minimuma indirilerek kullanıcı için güvenli çalışma alanı oluşturulmuştur. Fırın kapağı açıldığında elektriği kesen emniyet sistemi ve yüksek sıcaklık koruma alarmı bulunmaktadır. Isıtıcı elemanlar fırınların sıcaklığına, ihtiyaç duyduğu güce ve sıcaklık dayanımlarına göre hesaplanarak uygulanır. Fırınların sıcaklıklarına göre uygun rezistanslar kullanılmaktadır. Numuneler boyandıktan sonra ve yangın fırın derecesi ayarlandıktan sonra fırının içine uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 2.3.'de çalışmalarımızda kullandığımız fırın gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Deformasyon ölçüm aletleri (LVDT)

2.2.4. Deneysel düzeneği, data logger ve bilgi/veri alışı-verişi programı

Deneysel düzeneği Fatih ve arkadaşları tarafından Atatürk Üniversitesinde yapılmıştır. Deneysel düzeneğinde iki plaka arasına çelik silindirik tankları yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çelik silindiriklerin içine hava giriş çıkışı olmaması için şeffaf silikonla üst ve alt birleşim noktaları iyice kapatılmış ve gerçek mesnet davranışı sergilemek için çelik levhalar yerleştirilmiştir. Çelik silindirik içindeki havayı vakumlamak ve

vakumun yük değerini almak için (yük hücresi) düzeneğin üst kısmında açılmış deliklerden biri vakum yapacak olan motorun ucuna plastik hortum ile bağlanmış, diğeri ise yük hücresini data logger'a bağlamak için kullanılmıştır. Data logger programı ile bu açılan deliklerin birine yerleştirilmiş olan basınç ölçen sensörlerden, LVDT ölçüm aletlerinden elektrik kabloları sayesinde gelen veriler bilgisayara aktarılmıştır. Kullanılan bu aletlerin görselleri Şekil 2.4.'te verilmiştir.



Şekil 2.7. Deney düzeneği, vakum pompa ve data logger

2.2.5. Deneysel çalışmaların yapılışı

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çelik silindir numuneler yangına dayanıklı kabaran boya ile kaplandıktan sonra fırına koyulmuştur. Bu işlemlerin ardından deney

için hazırlanan düzeneğin içine numuneler yerleştirilmiştir. Hava giriş ve çıkışını engellemek ve mesnetlerde gerçek davranışı sergilemek için numunelerin alt ve üst tarafına çelik levhalar yerleştirilerek şeffaf silikon ile kapatılmıştır. Numunelere LVDT, yük ölçme ve deformasyon ölçme sensörü yerleştirilmiştir. Vakum pompası yardımı ile içindeki hava boşaltılan numunenin deformasyonları data logger yardımı ile veriler bilgisayara aktarılmıştır.



BÖLÜM 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çelik silindir numunelerin hepsi S355 galvanizli çelikten üretilmiştir. S355 galvanizli çelik hazırlandıktan sonra, yükseklik 800 mm ve boy 1256 mm soğuk kesimle galvaniz çelikler kusursuz olarak kesildikten sonra, numuneler, silindir makineyle silindir şekline getirilmişlerdir. Silindir yüzeyinde kusur oluşturmamak için silindir makinesinde şekil verme işleminin tek seferde değil 3 adımda gerçekleştirilmiş olması bu konuda en dikkat eden husus olmuş ve bu şekilde kusursuz numuneler elde edilmiştir. Numuneler hazırlandıktan sonra lehim yardımıyla silindirin iki ucu kaynaklanmıştır. (Lehim kaynak tekniği ince cidarlı çelik malzemelerde kullanılmaktadır).

Bu çalışmanın amacı, silindir numunelerin farklı kalınlıkta yangına dayanıklı boya uygulamaları ve farklı yangın derecelerinde vakum yük altında burkulma davranışının incelenmesidir. Bu amaçla üç farklı boya kalınlığında üç grup numune hazırlanarak toplamda 22 adet numunede deney yapılmıştır. Dokuz numuneden oluşan ve “Dışı Boyalı” olarak adlandırılan ilk grupta silindirin yalnızca dış yüzeyine koruyucu boya uygulaması yapılmıştır. “İçi-Dışı Boyalı” olarak adlandırılan ve yine dokuz numune bulunan ikinci grupta, silindirin iç ve dış yüzeyine koruyucu boya uygulaması yapılmıştır. “Boyasız Grup” olarak adlandırılan üçüncü grupta numunelere koruyucu boya uygulaması yapılmamış dört adet numune yer almaktadır ve diğer iki gruptaki numuneleri test etmek için kullanılmışlardır.

Yangından koruyucu boya kalınlıkları olarak 100, 200 ve 400 mikron kalınlıklar kullanılmıştır.

Yangın sıcaklıkları standart yangın eğrisi göz önünde bulundurularak 300, 450, 600 °C olarak, belirlenmiştir. (örneğin, 300 °C yangına maruz kalan numuneler için,

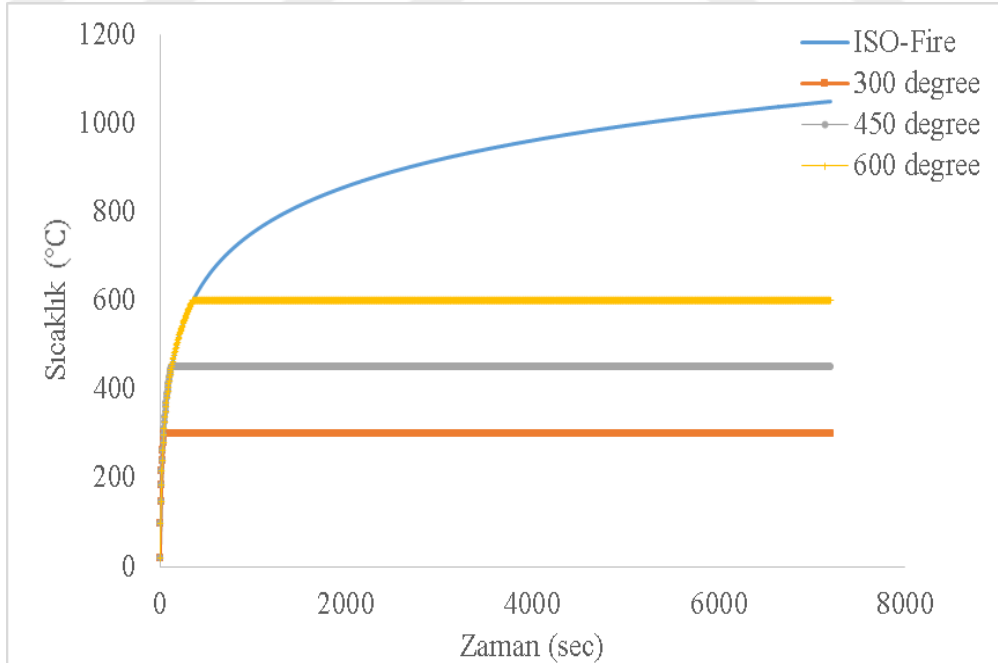
numuneler fırının içine koyulduktan sonra yangına maruz bırakılıp ve standart eğride yangın 300 °C yükseltilir ve 7200 saniye 300 °C bekletildikten sonra fırından çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır). Yangın eğrisi (ISO834: Eurocode 1: Actions on structures-Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Standard yük-zaman grafiği: $\Theta_g = 20 + 345 \log_{10}^{(8t+1)}$ [°C]

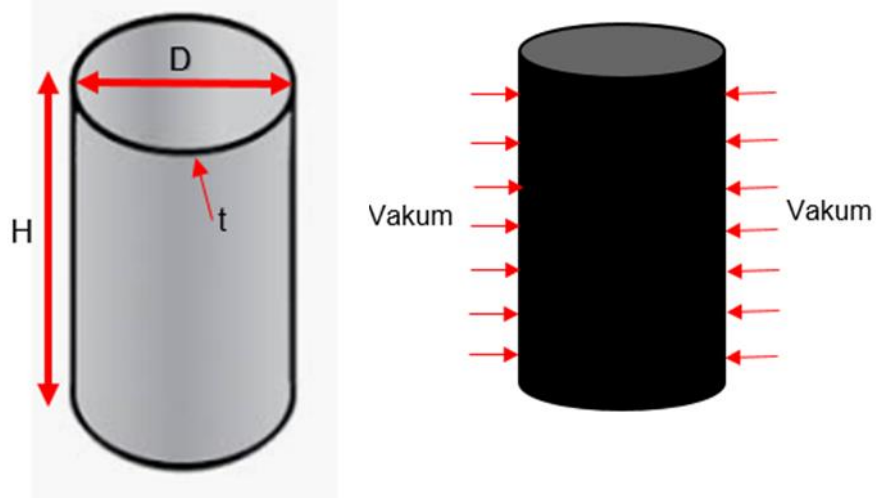
Burada:

Θ_g : Yangın bölmesindeki gaz sıcaklığı [°C]
t: zaman min

Standard yangın eğrisi ve bu çalışmada kullanılan yangın dereceleri Şekil 3.1. gösterilmiştir. Şekil 3.2. kullanılan deney numunelerinin şekli verilmiştir ve Tablo 3.1.'de, deney grupları ve isimleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Standard yangın eğrisi ve çalışmada kullanılan yangınlar dereceleri



Şekil 3.2. Numune özellikleri ve yükleme şekli

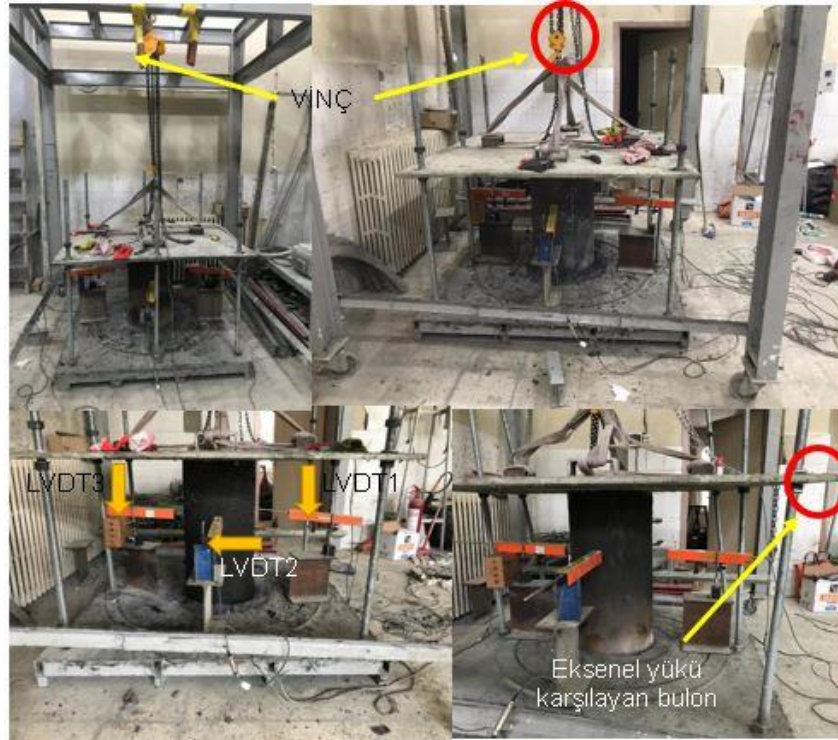
Tablo 3.1. Deney Grupları ve İsimleri

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	H (mm)	D (mm)	t (mm)
Dış Boyalı	100	100-C300-O	300	800	400	0.45
		100-C450-O	450			
		100-C600-O	600			
	200	200-C300-O	300			
		200-C450-O	450			
		200-C600-O	600			
		400	400-C300-O			
	400-C450-O		450			
	400-C600-O		600			
	İçi-Dışı Boyalı	100	100-C300-I-O			
100-C450-I-O			450			
100-C600-I-O			600			
200		200-C300-I-O	300			
		200-C450-I-O	450			
		200-C600-I-O	600			
		400	400-C300-I-O	300		
400-C450-I-O			450			
400-C600-I-O			600			
Boyasız		-	C300	300		
	C450		450			
	C600		600			
	İdeal		-			

Tüm numuneler fırından çıkarıldıktan sonra deney makinasına aşağıdaki adımlara tabi tutulmuştur.

- Numuneler deney makinasının alt ringine yerleştirilir.

- Şekil 3.3.'te gösterildiği gibi makinanın bulonları 800mm yüksekliğine ayarlanır. Bu işlemin amacı üst plaka yerleştirilirken aksel basınç kuvvetinden dolayı, numunelere kuvvet uygulamada ve tüm kuvvetin bulonlar tarafından taşınmasıdır.
- Üst başlık yavaşça vinç yardımıyla (Şekil3.3.) yerleştirdikten sonra, numunenin üst ve alt başlık etrafından hava girişi olmaması için şeffaf silikon çekilir. Gerçek mesnet tepkisi oluşması için, çelik ringler numunenin üst ve alt başlıkta çevresine yerleştirildikten sonra ve tekrar silikonlanır.
- Hazırlanan numunenin etrafına 0 (LVDT1)-90 (LVDT2)-180 (LVDT3)-270° (LVDT4) açı ile 4 adet LVDT, H/2 yüksekliğinde yerleştirilir. Data logger programı açılarak LVDT ve içi basınç değerleri kontrol edilir. Vakum pompası çalıştırıldıktan sonra Data logger programından veri akışı gerçekleşmesi için deney başlatılır. Bir süre sonra çelik silindirik tankın içindeki hava yavaş yavaş boşaltılmaya başlanır ve malzeme burkulma davranışları göstermeye başlar. Burkulmanın artması ve içeri hava girmesinin sonucunda deney sonlandırılır. İlgili görseller Şekil 3.3.'te verilmiştir.

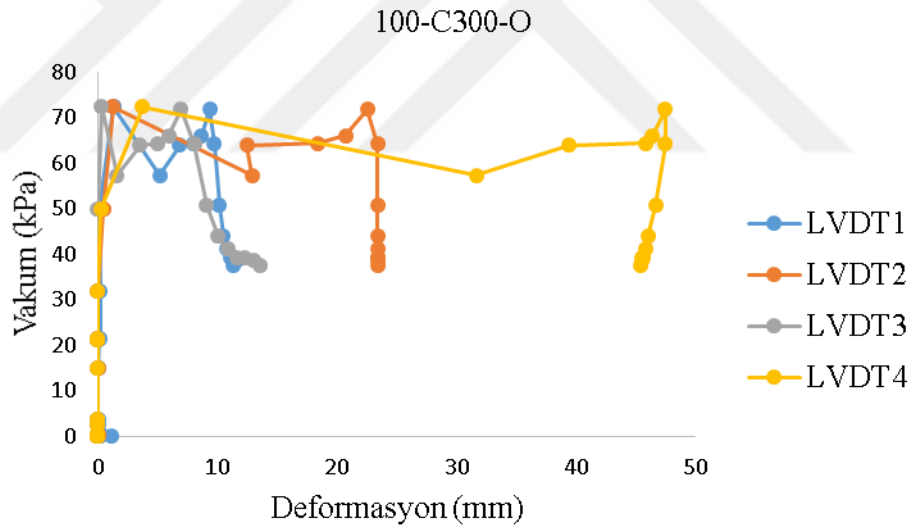


Şekil 3.3. LVDT yerleştirme konumları ve sistem düzeneği

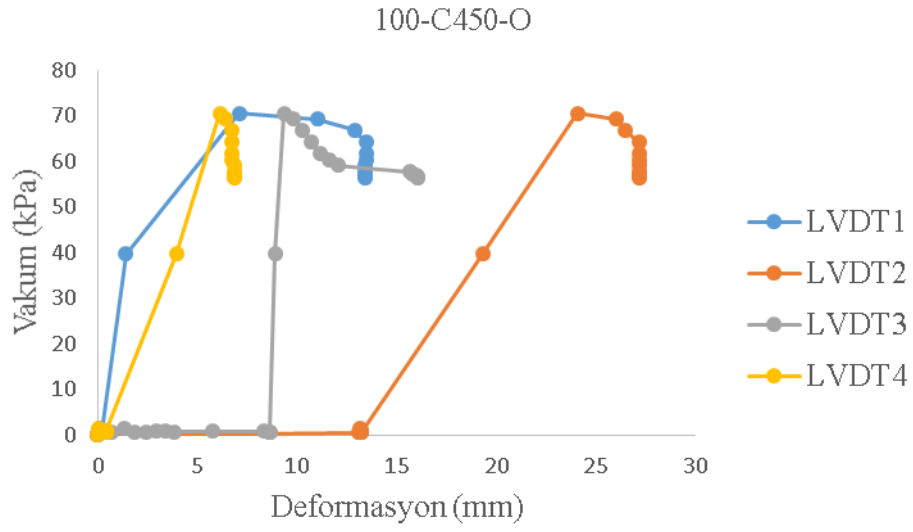
3.1. Dışı Boyalı Çelik Silindir Deney Grubu

3.1.1. 100 mikron kalınlıkta boyanmış çelik silindirler

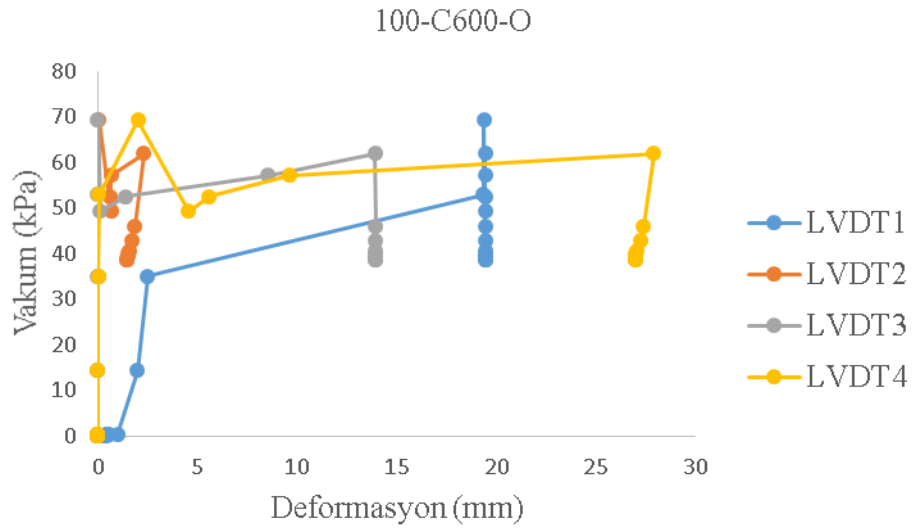
Numunelerin hepsi galvanizli ST355 çelikten üretilmiştir. Numuneler temizledikten sonra dış yüzeylerine 100 mikron kalınlığında yangına dayanıklı boya (kabaran boya) sürülmüştür. Numuneler test makinesine yerleştirdikten sonra LVDT'ler konumlandırılarak (0-90-180-270° açı ve H/2 yüksekliğinde) data logger'a bağlanarak ve yükleme yapılarak deney gerçekleştirilmiştir. Yük altında numunenin burkulması sonucu içerisine hava girişi gerçekleştiğinde deney sonlandırılmıştır. Şekil 3.4., 3.5. ve 3.6.'da 3 numune için Yük-Deformasyon grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri elde edilmiştir. Tablo 3.2.'de ise burkulma değerleri verilmiştir.



Şekil 3.4. Numune 100-C300-O'ye ait Vakum -Deformasyon Grafiği



Şekil 3.5. Numune 100-C450-O'e ait Vakum –Deformasyon Grafiği



Şekil 3.6. Numune 100-C600-O'e ait Vakum –Deformasyon Grafiği

Tablo 3.2. 100 mikron kalınlığında boya ile boyanmış numunelerin başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Başlangıç burkulma (kPa)	Göçme kapasite değeri (kPa)	Dalga Sayısı
Dışı Boyalı	100	100-C300-O	300	49.91	72.40	4
		100-C450-O	450	39.74	70.63	4
		100-C600-O	600	35.097	69.38	4

Tablo 3.2.'de görüldüğü gibi başlangıç burkulmasından sonra tüm numuneler mukavemet göstererek göçme davranışı burkulmaya kadar ulaşmıştır. Bu davranışa ileri burkulma adı verilmiştir. Deneysel çalışma sonunda Dışı Boyalı gurubunda ilk burkulma sonrasında burkulma kapasite değerinde artma olduğu gözlemlenmiştir. 100-C300-O numunesinde başlangıç burkulmasından göçme kapasite değerine kadar %31.0 artış olmuştur. Bu artış 100-C450-O ve 100-C600-O numunelerinde sırasıyla %43.73 ve %48.15 şeklindedir. Ayrıca, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulma değeri azalmıştır. 100-C300-O numunesindeki başlangıç burkulması 100-C450-O numunesinde %25.59 oranında azalmıştır. 100-C300-O numunesindeki başlangıç burkulmasındaki azalma 100-C600-O numunesinde %42.21 oranında olmuştur. Göçme kapasite değerleri incelendiğinde, yangın derecesi arttığında göçme kapasite değerlerinin azaldığı görülmektedir. 100-C300-O numunesindeki göçme kapasite değeri 100-C450-O numunesinde %2.50 oranda azalmıştır. 100-C300-O numunesindeki göçme kapasite değeri değerindeki azalma 100-C600-O numunesinde %4.35 oranında olmuştur. Sonuç olarak, başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri incelendiğinde, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri azalmıştır.

Şekil 3.7., 3.8. ve 3.9.'da numunelerin deney öncesi ve sonrasına ait görüntüler yer almaktadır. Şekillerde görüldüğü üzere, diğer numunelerle kıyaslandığında 100-C600-O numunesinde daha fazla göçme oluşmuştur ve şekil değiştirme gözükmektedir. Yalnızca sıcaklık artarken şekil değiştirme azalmıştır. Ayrıca deneylerin yapılması esnasında sıcaklık artarken numune yumuşadığından dolayı hemen deforme olduğu gözetlenmiştir. Ayrıca, sıcaklık artarken dalga boyutlarında eşitlenme gözükmektedir.



Şekil 3.7. 100-C300-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu



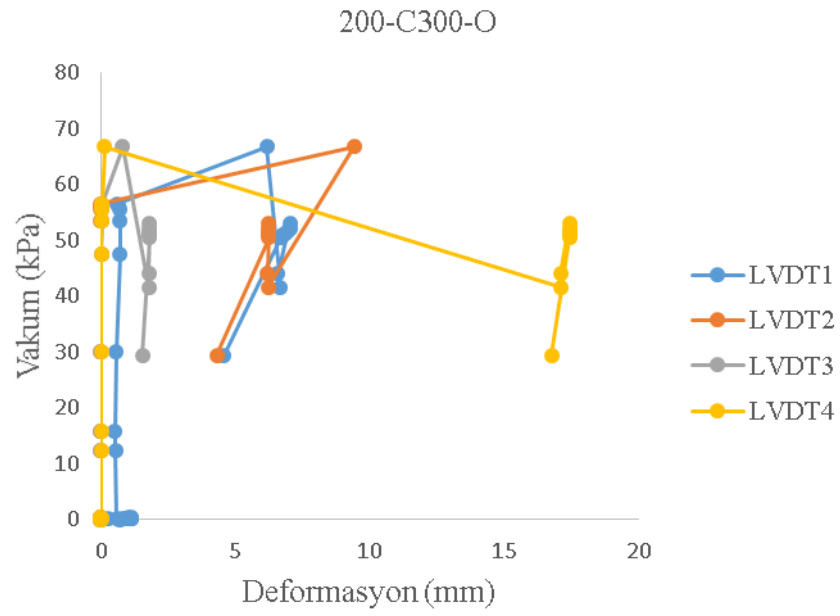
Şekil 3.8. 100-C450-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu



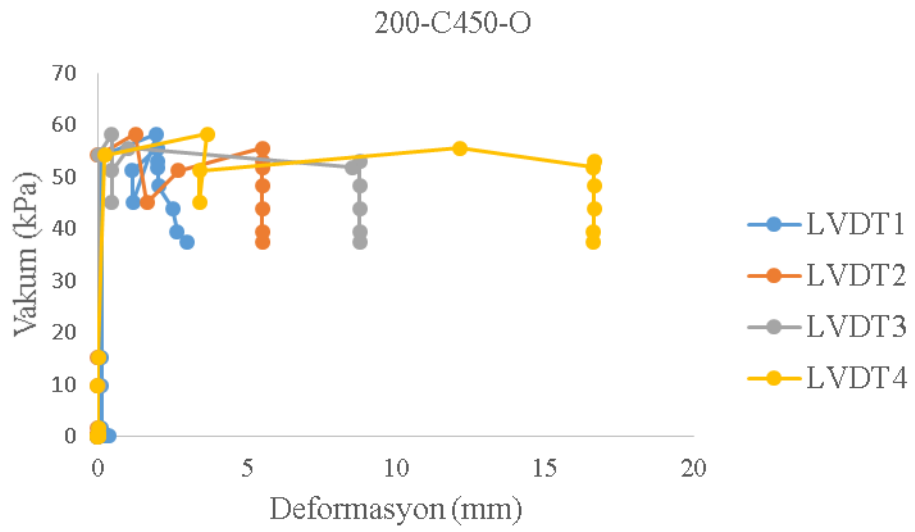
Şekil 3.9. 100-C600-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu

3.1.2. 200 mikron kalınlıkta boyanmış çelik silindirler

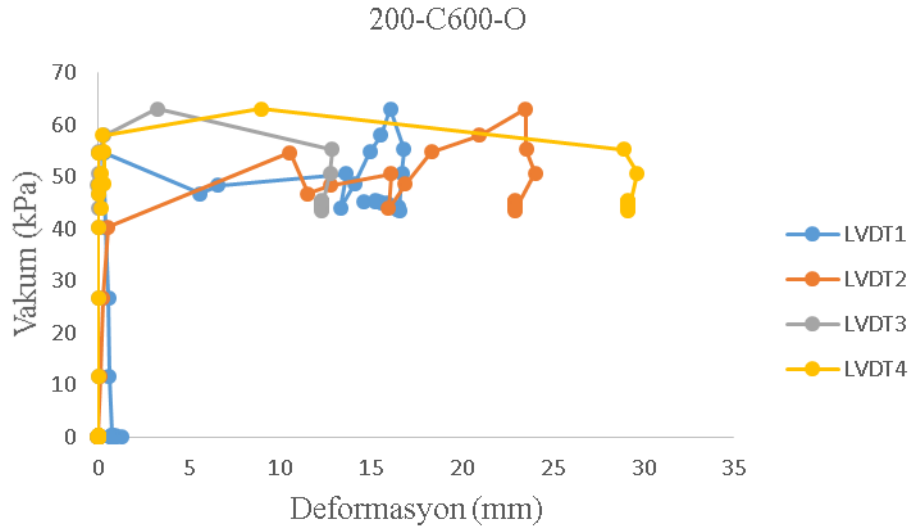
Numunelerin hepsi galvanizli ST355 çelikten üretilmiştir. Numuneler temizledikten sonra dış yüzeylerine 200 mikron kalınlığında yangına dayanıklı boya (kabaran boya) sürülmüştür. Numuneler test makinesine yerleştirdikten sonra LVDT'ler konumlandırılarak (0-90-180-270° açı ve H/2 yüksekliğinde) data logger'a bağlanarak ve yükleme yapılarak deney gerçekleştirilmiştir. Yük altında numunenin burkulması sonucu içerisine hava girişi gerçekleştiğinde deney sonlandırılmıştır. Şekil 3.10., 3.11. ve 3.12.'de 3 numune için Yük-Deformasyon grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri elde edilmiştir. Tablo 3.3.'te burkulma değerleri verilmiştir.



Şekil 3.10. 200-C300-O'e ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.11. 200-C450-O'e ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.12. 200-C600-O numunesine ait Vakum –Deformasyon

Tablo 3.3. 200 mikron kalınlıkta boyanmış numunelerinin başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Başlangıç burkulma (kPa)	Göçme kapasite değeri (kPa)	Dalga Sayısı
Dışı Boyalı	200	200-C300-O	300	56	66.72	4
		200-C450-O	450	54.19	58.32	4
		200-C600-O	600	40.33	62.96	4

Tablo 3.3.'te görüldüğü Dışı Boyalı gurubunda ilk burkulma sonrasında burkulma kapasite değerinde artma olduğu gözlemlenmiştir.

200-C300-O numunesinde başlangıç burkulmadan göçme kapasite değerine kadar %16.07 artış olmuştur. Bu artış 200-C450-O ve 200-C600-O numunelerinde sırasıyla %7.08 ve %35.99 şeklindedir. Ayrıca, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulma değeri azalmıştır. 200-C300-O numunesindeki başlangıç burkulması 200-C450-O numunesinde %3.34 oranında azalmıştır. 200-C300-O numunesindeki başlangıç burkulması 200-C600-O numunesinde %38.85 oranında olmuştur. Göçme kapasite değerleri incelendiğinde, yangın derecesi arttığında göçme kapasite değerlerinin azaldığı görülmektedir. 200-C300-O numunesindeki göçme kapasite değeri 200-C450-O numunesinde %14.40 oranda azalmıştır. 200-C300-O numunesindeki göçme kapasite değerindeki azalma 200-C600-O numunesinde %5.97 oranında olmuştur.

Sonuç olarak, başlangıç ve göçme kapasite değerleri incelendiğinde, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri azalmıştır.

Şekil 3.13., 3.14. ve 3.15.'de numunelerin deney öncesi ve sonrasına ait görüntüler yer almaktadır. Şekillerde görüldüğü üzere, diğer numunelerle kıyaslandığında 200-C600-O numunesinde daha fazla göçme oluşmuştur ve şekil değiştirme gözükmemektedir. Yalnızca sıcaklık artarken şekil değiştirme azalmıştır. Ayrıca deneylerin yapılması esnasında sıcaklık artarken numune yumuşadığından dolayı hemen deforme olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.13. 200-C300-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu



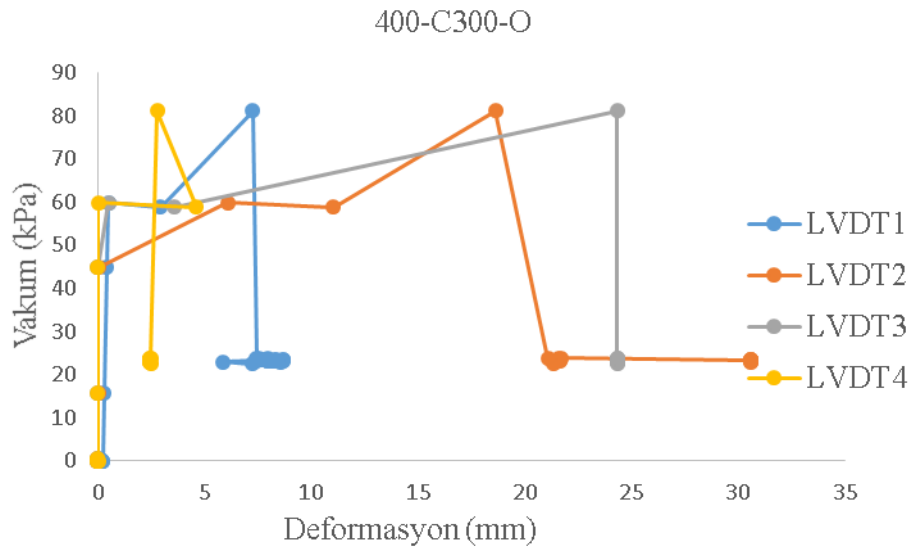
Şekil 3.14. 200-C450-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu



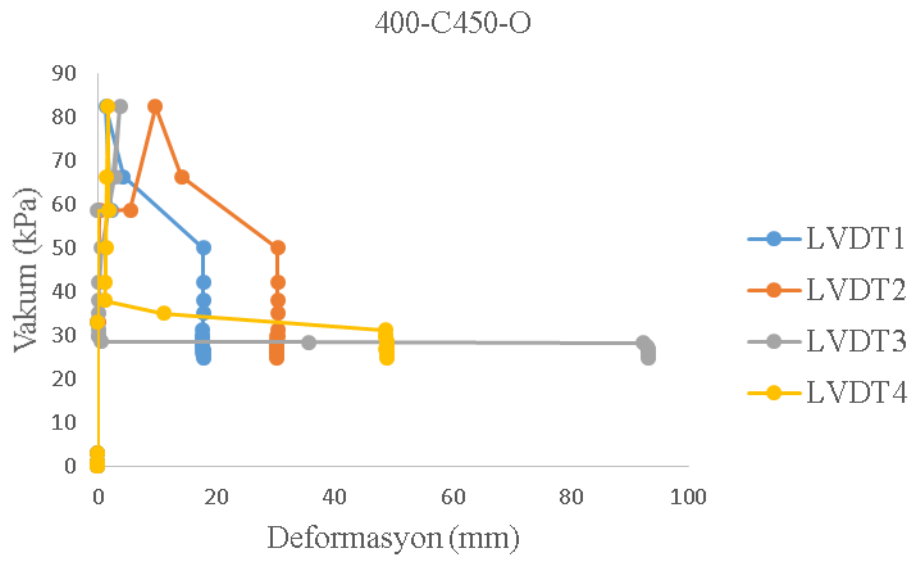
Şekil 3.15. 200-C600-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu

3.1.3. 400 mikron kalınlıkta boyanmış çelik silindirler

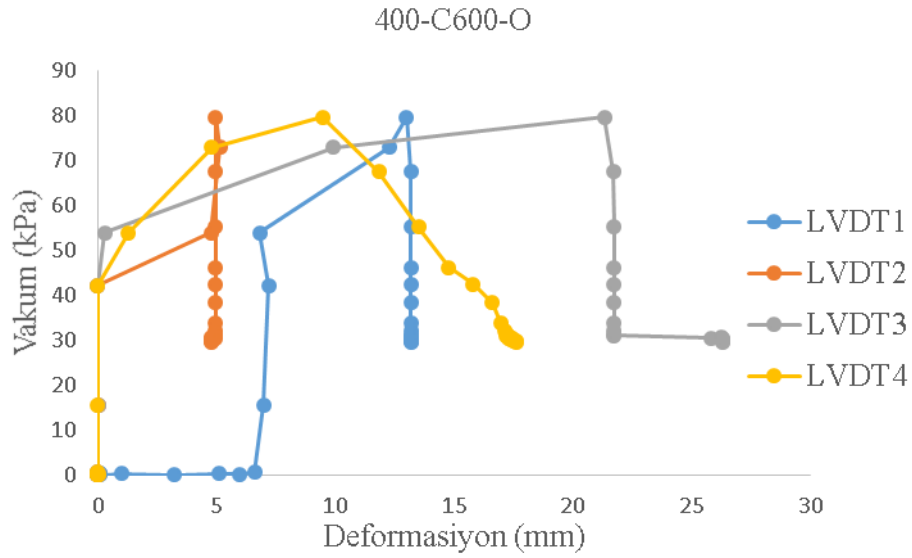
Numunelerin hepsi galvanizli ST355 çelikten üretilmiştir. Numuneler temizledikten sonra dış yüzeylerine 400 mikron kalınlığında yangına dayanıklı boya (kabarık boya) sürülmüştür. Numuneler test makinesine yerleştirdikten sonra LVDT'ler konumlandırılarak (0-90-180-270° açı ve H/2 yüksekliğinde) data logger'a bağlanarak ve yükleme yapılarak deney gerçekleştirilmiştir. Yük altında numunenin burkulması sonucu içerisine hava girişi gerçekleştiğinde deney sonlandırılmıştır Şekil 3.16., 3.17. ve 3.18.'de 3 numune için Yük-Deformasyon grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri elde edilmiştir. Tablo 3.4.'te burkulma değerleri verilmiştir.



Şekil 3.16. 400-C300-O numunesine ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.17. 400-C450-Onumunesine ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.18. 400-C600-O numunesine ait Vakum –Deformasyon

Tablo 3.4. 400 mikron kalınlıkta boyanmış numunelerinin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Başlangıç burkulma (kPa)	Göçme kapasite değeri (kPa)	Dalga Sayısı
Dış boyalı	400	400-C300-O	300	59.79	81.18	4
		400-C450-O	450	58.47	82.36	5
		400-C600-O	600	42.17	79.63	5

Tablo 3.4.'te görüldüğü gibi başlangıç burkulmadan sonra tüm numuneler mukavemet göstererek göçme kapasite değerine kadar çıkmışlar bu davranışa ileri burkulma adı verilmiştir. 400-C300-O numunesinde başlangıç burkulmadan göçme kapasitesine kadar %26.35 artış olmuştur. Bu artış 400-C450-O ve 400-C600-O numunelerde sırasıyla %29.01 ve %47.04 şeklindedir. Ayrıca, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulma değeri azalmıştır. 400-C300-O numunesindeki başlangıç burkulması 400-C450-O numunesinde %2.26 oranında azalmıştır. 200-C300-O numunesindeki başlangıç burkulmasındaki azalma 200-C600-O numunesinde %41.78 oranında olmuştur. Sonuç olarak, başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri incelendiğinde, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri azalmıştır.

Şekil 3.19., 3.20. ve 3.21. numunelerin deney öncesi ve sonrasına ait görüntüler yer almaktadır. Şekillerde görüldüğü gibi Şekillerde görüldüğü üzere, diğer numunelerle

kıyaslandığında 400-C600-O numunesinde göçme daha fazladır ve deformasyon gözükmemektedir. Ayrıca deneylerin yapılması esnasında sıcaklık artarken numune yumuşadığından dolayı hemen deforme olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, sıcaklık artarken dalga sayısı artış göstermiştir.



Şekil 3.19. 400-C300-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu



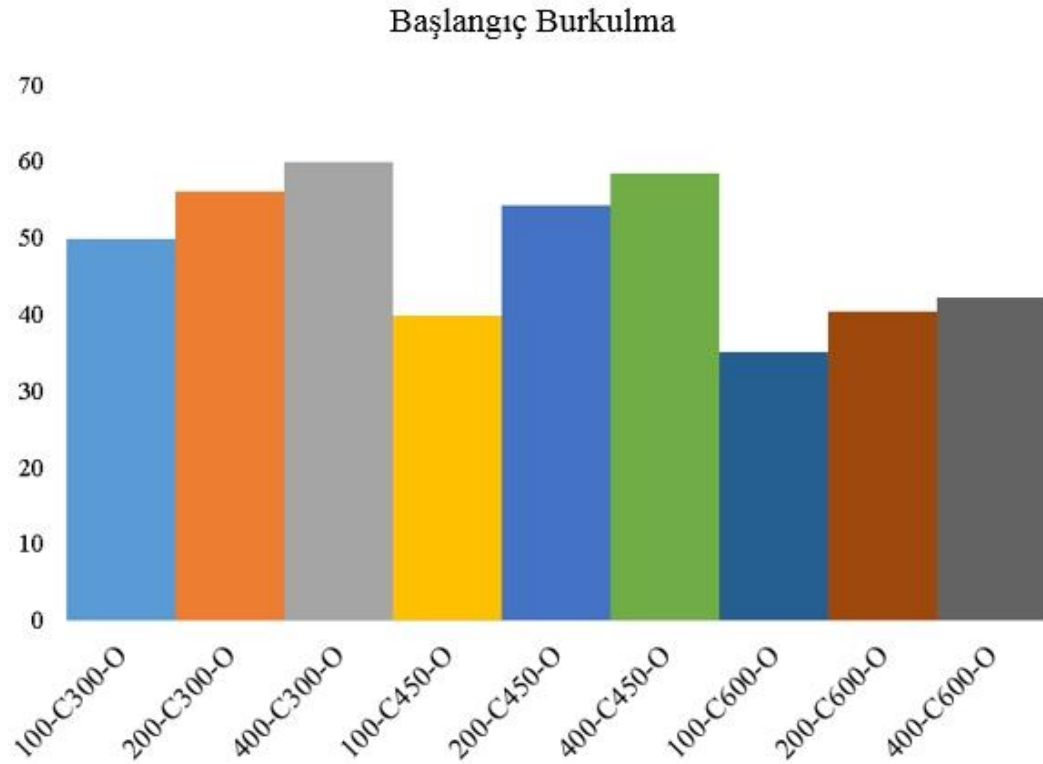
Şekil 3.20. 400-C450-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu



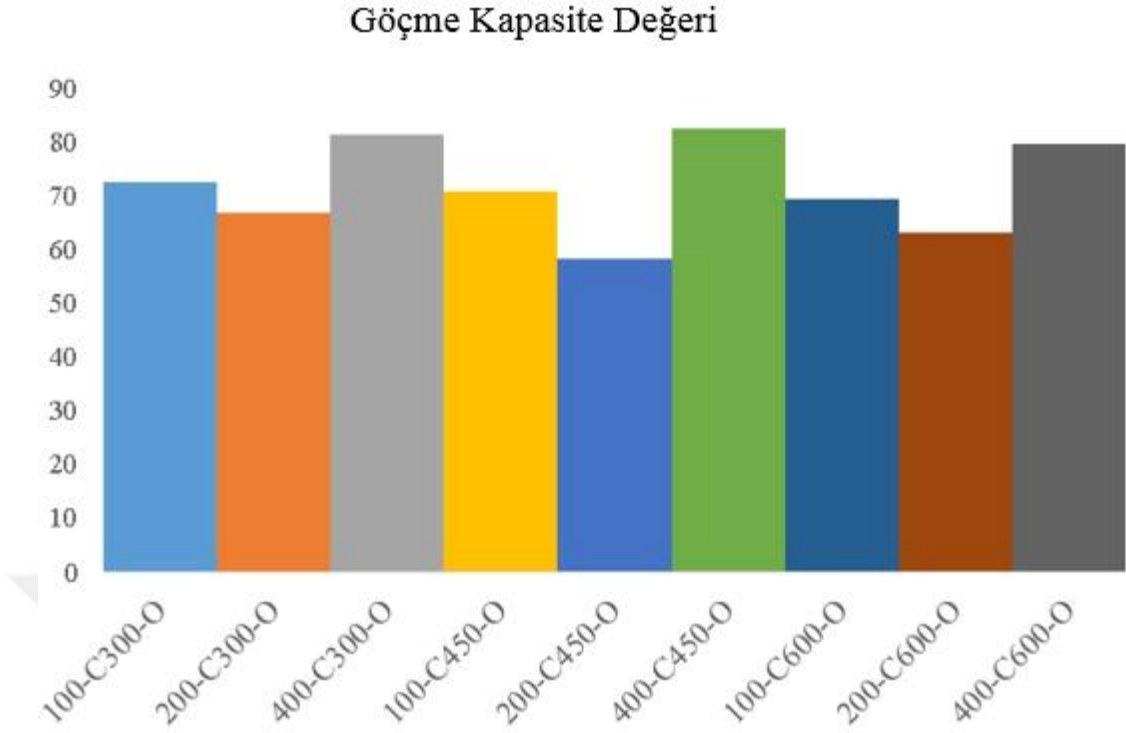
Şekil 3.21. 400-C600-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu

3.1.4. Dışı Boyalı grup karşılaştırılması (100, 200 ve 400 mikron kalınlıklarda boyanmış çelik silindir gruplarının karşılaştırması)

Şekil 4.22. ve 4.23.'de tüm numunelerin başlangıç burkulma değerleri ve göçme kapasite değerleri birbiriyle kıyaslanmıştır. Şekil 4.22.'e bakıldığında, boya kalınlığı arttıkça başlangıç burkulmasının arttığı görülmektedir. Ayrıca, 100-C450-O numunesinin başlangıç değeri, 200-C600-O ve 400-C600-O numunelerinin başlangıç burkulma değerinden azdır. Sonuç olarak, yangına maruz kalan silindir tanklarda boya kalınlığı artarken sıcaklık artış gösterdiğinde de başlangıç burkulmada değeri azalmamakta ve boya kalınlığı yangına karşı bir yalıtım sergilediği görülmektedir. Şekil 4.23.'de gösterildiği üzere, boya kalınlığı arttıkça göçme kapasite değerleri artmaktadır.



Şekil 3.22. Dışı Boyalı grup, 100, 200 ve 400 mikron kalınlıklarda boyanmış çelik silindir gruplarının başlangıç burkulma değerlerinin karşılaştırması

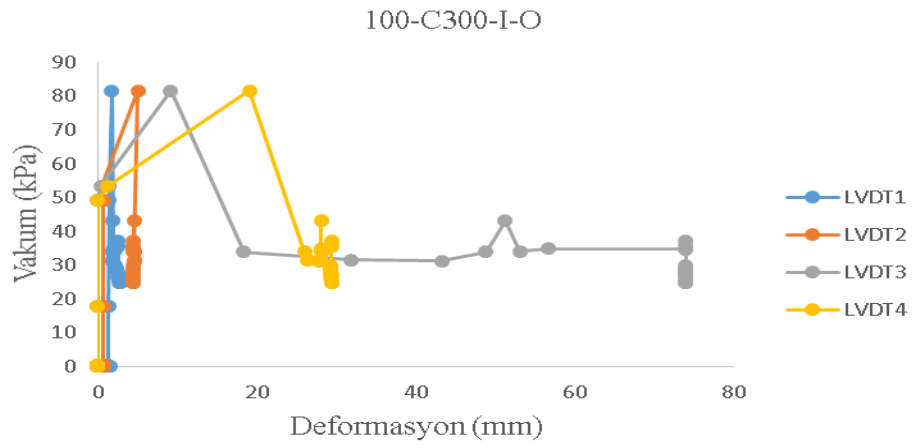


Şekil 3.23. Dışı Boyalı grup, 100, 200 ve 400 mikron kalınlıklarda boyanmış çelik silindir grupların göçme kapasite değerlerinin karşılaştırması

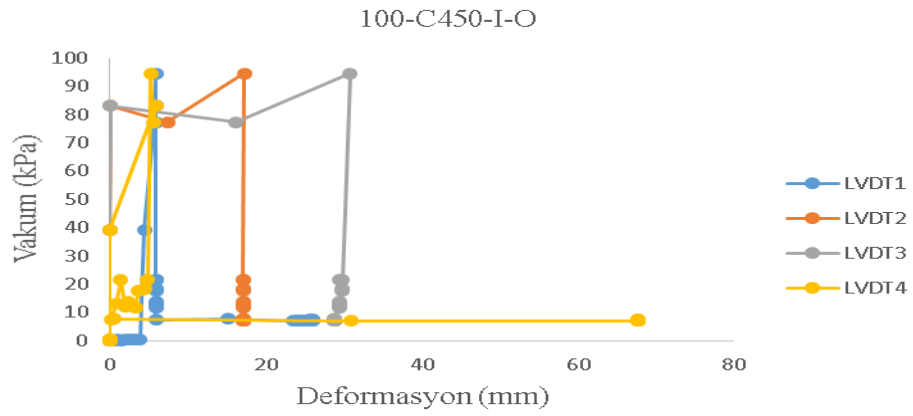
3.2. İçi-Dışı Boyalı Çelik Silindir Grup

3.2.1. 100 mikron kalınlıkta boyanmış çelik silindirler

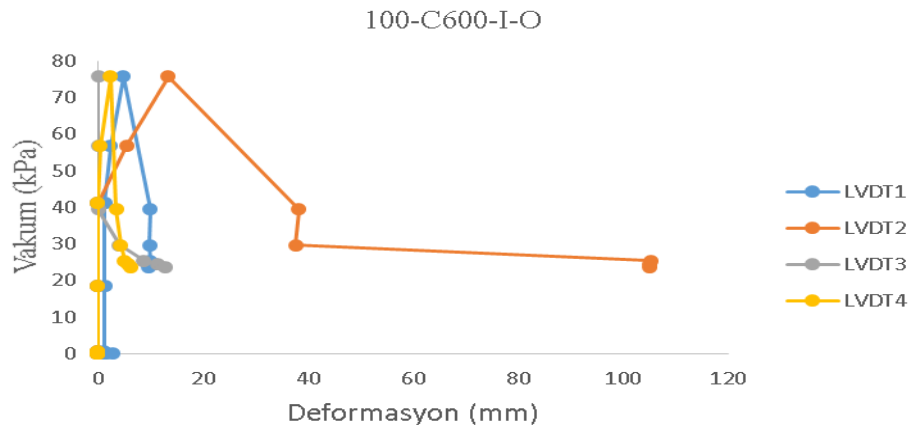
Numunelerin hepsi galvanizli ST355 çelikten üretilmiştir. Numuneler temizledikten sonra dış yüzeylerine 100 mikron kalınlığında yangına dayanıklı boya (kabaran boya) sürülmüştür. Numuneler test makinesine yerleştirdikten sonra LVDT'ler konumlandırılarak (0-90-180-270° açı ve H/2 yüksekliğinde) data logger'a bağlanarak ve yükleme yapılarak deney gerçekleştirilmiştir. Yük altında numunenin burkulması sonucu içerisine hava girişi gerçekleştiğinde deney sonlandırılmıştır. Şekil 3.24., 3.25. ve 3.26.'da 3 numune için Yük-Deformasyon grafikleri verilmiştir, bu grafiklerden başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri elde edilmiştir. Tablo 3.5.'te burkulma değerleri verilmiştir.



Şekil 3.24. 100-C300-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.25. 100-C450-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.26. 100-C600-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon

Tablo 3.5. 100 mikron kalınlıkta boyanmış numunelerin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değeri

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Başlangıç burkulma (kPa)	Göçme kapasite değeri (kPa)	Dalga Sayısı
İç-Dışı Boyalı	100	100-C300-I-O	300	53.45	81.62	5
		100-C450-I-O	450	39.22	94.67	5
		100-C600-I-O	600	41.21	75.72	5

Tablo 3.5.'te görüldüğü gibi başlangıç burkulmadan sonra tüm numuneler dayanım göstererek göçme kapasite değerine kadar çıkmışlar bu davranışa ileri burkulma adı verilmiştir. İç-Dışı Boyalı gurubunda ilk burkulma sonrasında burkulma kapasitesinde artma olduğu gözlemlenmiştir.

100-C300-I-O numunesinde başlangıç burkulmadan göçme kapasite değerine kadar %34.51 olmuştur. Bu artış 100-C450-I-O ve 100-C600-I-O numunelerinde sırasıyla %58.57 ve %45.57 şeklindedir. Ayrıca, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulma değeri azalmıştır. 100-C300-I-O numunesindeki başlangıç burkulması 100-C450-I-O numunesine %36.28 oranında azalmıştır. 100-C300-I-O numunesindeki başlangıç burkulmasındaki azalma 100-C600-I-O numunesinde %29.70 oranında olmuştur. Göçme kapasite değerleri incelendiğinde, yangın derecesi arttığında göçme kapasite değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma 100-C300-I-O O numunesindeki göçme kapasite değeri 100-C600-I-O numunesinde %7.79 oranda olmuştur. Sonuç olarak, başlangıç ve göçme kapasite değeri incelendiğinde, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri azalmıştır.

Şekil 3.27., 3.28. ve 3.29.'da numunelerin deney öncesi ve sonrasına ait görüntüler yer almaktadır. Şekillerde görüldüğü üzere, diğer numunelerle kıyaslandığında 100-C600-O numunesinde daha fazla göçme oluşmuştur ve şekil değiştirme gözükmemektedir. Yalnızca sıcaklık artarken şekil değiştirme azalmıştır. Ayrıca deneylerin yapılması esnasında sıcaklık artarken numune yumuşadığından dolayı hemen deforme olduğu gözlemlenmiştir. Şekillerde görüldüğü üzere, diğer numunelerle kıyaslandığında 100-C600-O numunesinde daha fazla göçme oluşmuştur ve şekil değiştirme gözükmemektedir. Yalnızca sıcaklık artarken şekil değiştirme azalmıştır.

Ayrıca deneylerin yapılması esnasında sıcaklık artarken numune yumuşadığından dolayı hemen deforme olduğu gözlemlenmiştir. Dalga boylarında eşitlenme olmuştur.



Şekil 3.27. 100-C300-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu



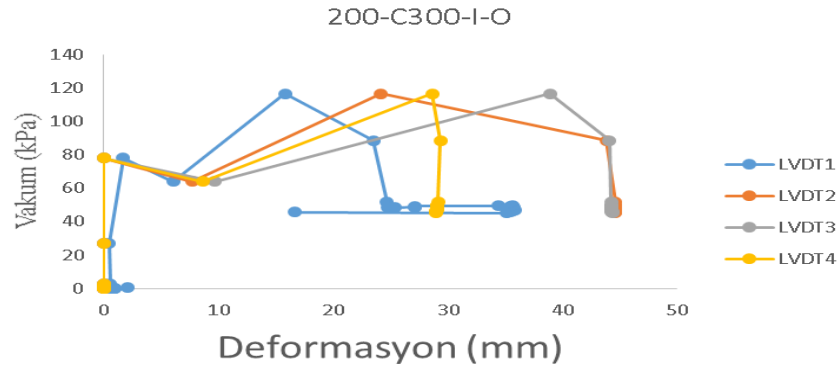
Şekil 3.28. 100-C450-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu



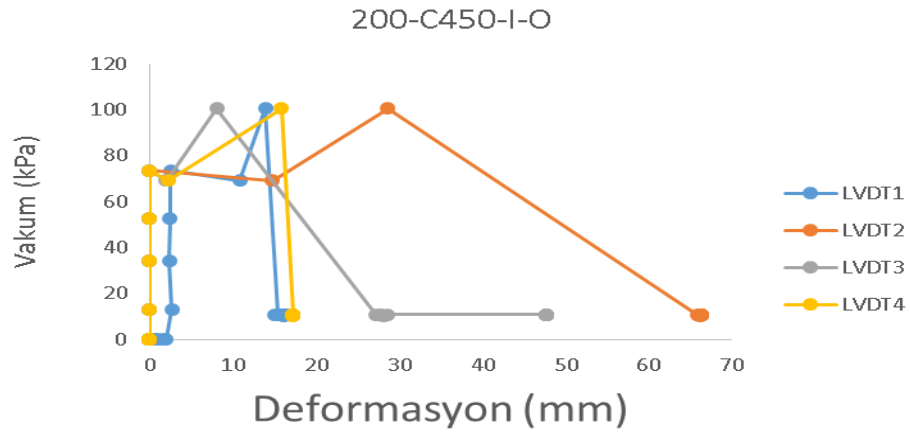
Şekil 3.29. 100-C600-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu

3.2.2. 200 mikronla boyanmış çelik silindirler

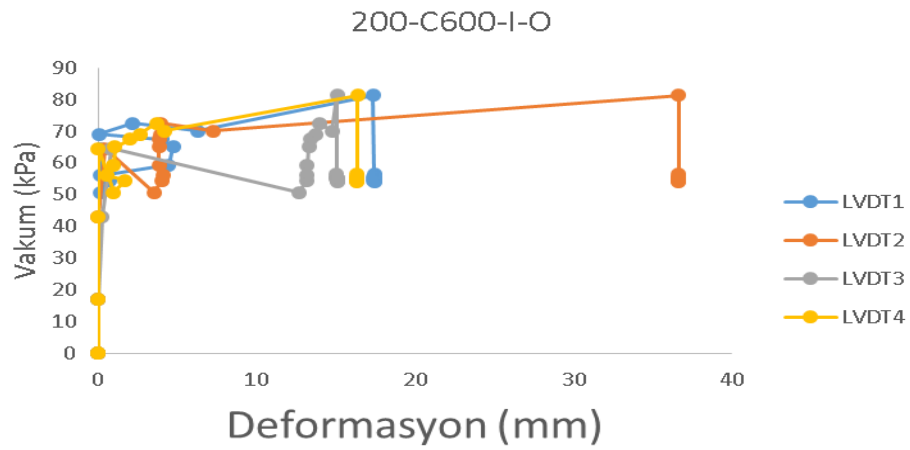
Numunelerin hepsi galvanizli ST355 çelikten üretilmiştir. Numuneler temizledikten sonra dış yüzeylerine 200 mikron kalınlığında yangına dayanıklı boya (kabaran boya) sürülmüştür. Numuneler test makinesine yerleştirdikten sonra LVDT'ler konumlandırılarak (0-90-180-270° açı ve H/2 yüksekliğinde) data logger'a bağlanarak ve yükleme yapılarak deney gerçekleştirilmiştir. Yük altında numunenin burkulması sonucu içerisine hava girişi gerçekleştiğinde deney sonlandırılmıştır. Şekil 3.30., 3.31. ve 3.32.'de 3 numune için Yük-Deformasyon grafikleri verilmiştir, bu grafiklerden başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri elde edilmiştir. Tablo 3.6.'da burkulma değerleri verilmiştir.



Şekil 3.30. 200-C300-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.31. 200-C450-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.32. 200-C600-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon

Tablo 3.6. 200 mikron kalınlıkta boyanmış numunelerin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Başlangıç burkulma (kPa)	Göçme kapasite değeri (kPa)	Dalga Sayısı
İçi-Dışı Boyalı	200	200-C300-I-O	300	77.93	116.57	4
		200-C450-I-O	450	73.51	100.72	4
		200-C600-I-O	600	64.61	81.28	5

Tablo 3.6.'da görüldüğü gibi başlangıç burkulmadan sonra tüm numuneler dayanım göstererek göçme kapasite değerine kadar çıkmışlar bu davranışa ileri burkulma adı verilmiştir.

İçi Dışı Boyalı gurubunda ilk burkulma sonrasında burkulma kapasite değerinde artma olduğu gözlemlenmiştir.

200-C300-I-O numunesinde başlangıç burkulmadan göçme kapasite değerine kadar %33.15 olmuştur. Bu artış 200-C450-I-O ve 200-C600-I-O numunelerinde sırasıyla %27.02 ve %20.51 şeklindedir. Ayrıca, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulma değeri azalmıştır. 200-C300-I-O numunesindeki başlangıç burkulması 200-C450-I-O numunesine %6.01 oranında azalmıştır. 200-C300-I-O numunesindeki başlangıç burkulmasındaki azalma 200-C600-I-O numunesinde %20.02 oranında olmuştur. Göçme kapasite değerleri incelendiğinde, yangın derecesi arttığında göçme kapasite değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma 100-C300-I-O O numunesindeki göçme kapasite değeri 100-C600-I-O numunesinde %43.42 oranında olmuştur. Sonuç olarak, başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri incelendiğinde, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulma değerleri ve göçme kapasite değerleri azalmıştır.

Şekil 3.33., 3.34. ve 3.35.'de numunelerin deney öncesi ve sonrasına ait görüntüler yer almaktadır. Şekillerde görüldüğü üzere, diğer numunelerle kıyaslandığında 100-C600-O numunesinde daha fazla göçme oluşmuştur ve şekil değiştirme gözükmemektedir. Yalnızca sıcaklık artarken şekil değiştirme azalmıştır. Ayrıca deneylerin yapılması esnasında sıcaklık artarken numune yumuşadığından dolayı hemen deforme olduğu gözetlenmiştir. Şekillerde görüldüğü üzere, diğer numunelerle kıyaslandığında 200-C600-O numunesinde daha fazla göçme oluşmuştur ve şekil değiştirme gözükmemektedir. Yalnızca sıcaklık artarken şekil değiştirme azalmıştır. Ayrıca deneylerin yapılması esnasında sıcaklık artarken numune yumuşadığından dolayı hemen deforme olduğu gözetlenmiştir.



Şekil 3.33. 200-C300-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu



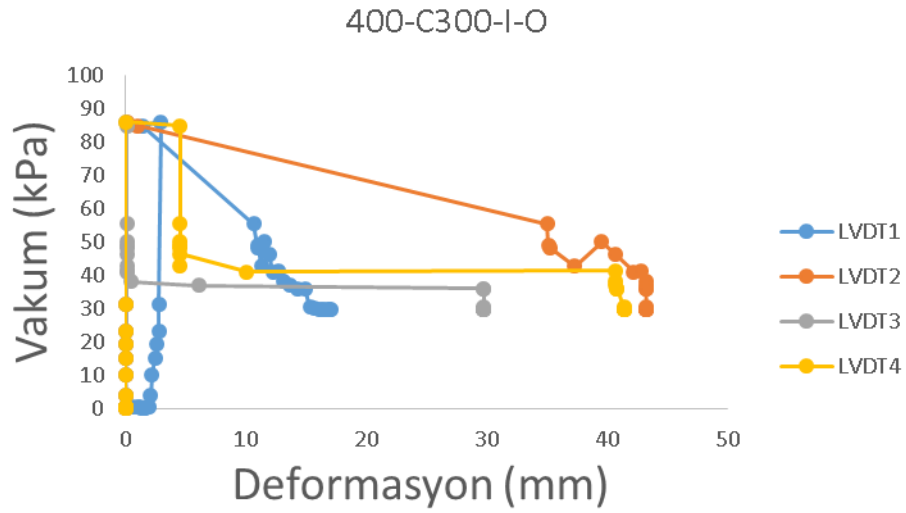
Şekil 3.34. 200-C450-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu



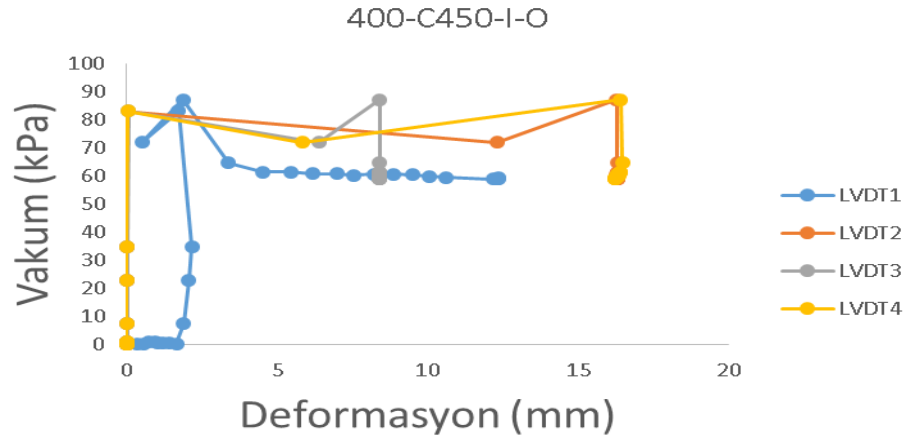
Şekil 3.35. 200-C600-I-O Numunesinin burkulma önce ve sonrası durumu

3.2.3. 400 mikronla boyanmış çelik silindirler

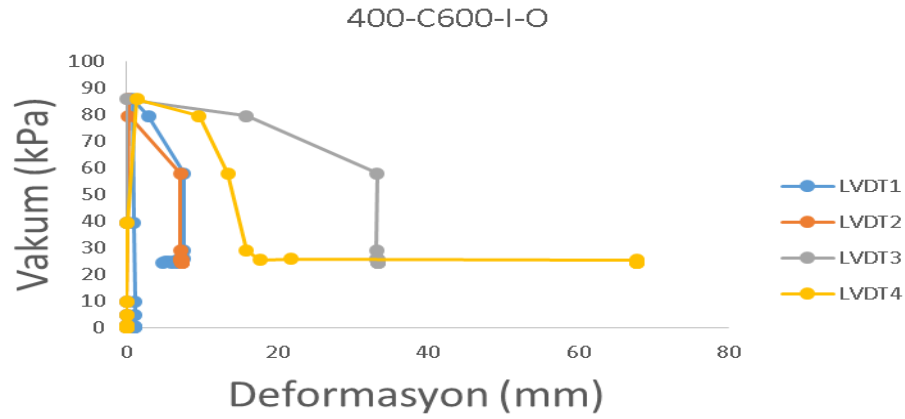
Numunelerin hepsi galvanizli ST355 çelikten üretilmiştir. Numuneler temizledikten sonra dış yüzeylerine 400 mikron kalınlığında yangına dayanıklı boya (kabaran boya) sürülmüştür. Numuneler test makinesine yerleştirdikten sonra LVDT'ler konumlandırılarak (0-90-180-270° açı ve H/2 yüksekliğinde) data logger'a bağlanarak ve yükleme yapılarak deney gerçekleştirilmiştir. Yük altında numunenin burkulması sonucu içerisine hava girişi gerçekleştiğinde deney sonlandırılmıştır. Şekil 3.36., 3.37. ve 3.38.'de 3 numune için Yük-Deformasyon grafikleri verilmiştir, bu grafiklerden başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri elde edilmiştir. Tablo 3.7.'de burkulma değerleri verilmiştir.



Şekil 3.36. 400-C300-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.37. 400-C450-I-O numunesine ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.38. 400-C600-I-O'e ait Vakum –Deformasyon

Tablo 3.7. 400 mikronla boyanmış numunelerinin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Başlangıç burkulma (kPa)	Göçme kapasite değeri (kPa)	Dalga Sayısı
İçi-Dışı Boyalı	400	400-C300-I-O	300	85.97	85.97	4
		400-C450-I-O	450	83.02	87.08	4
		400-C600-I-O	600	79.01	85.82	4

Tablo 3.7’de görüldüğü gibi başlangıç burkulmadan sonra tüm numuneler dayanım göstererek göçme kapasite değerine kadar çıkmışlar bu davranışa ileri burkulma adı verilmiştir. 400-C450-I-O ve 400-C600-I-O numunelerde başlangıç burkulmadan göçme kapasite değerine kadar sırasıyla %4.66 ve %7.93 artış olmuştur. Ayrıca, başlangıç burkulmaya bakıldığında, yangın derecesi arttığında başlangıç

burkulmasının da azaldığı görülmüştür. Bu azalma 400-C300-I-O numunesinden 400-C450-I-O numunesine %3.55 oranda ve 400-C300-I-O numunesinden 400-C600-I-O numunesine %8.81 orandadır. Sonuç olarak, başlangıç burkulması incelendiğinde yangın derecesi artığında başlangıç burkulması azalmaktadır.

Şekil 3.39., 3.40. ve 3.41.'de numunelerinin deneyden önceki ve deneyden sonra görüntüleri yer almaktadır. Şekillerde görüldüğü üzere 200-C600-I-O numunesinin göçme şekli diğer numunelerle kıyaslandığında daha fazladır ve deformasyon gözükmemektedir. Yalnızca sıcaklık artarken şekil değiştirme azalmıştır. Ayrıca deneyler yapıma esnasında sıcaklık artarken numune yumuşadığından dolayı hemen deforme olduğu gözletlenmiştir.



Şekil 3.39. 400-C300-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu



Şekil 3.40. 400-C450-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu

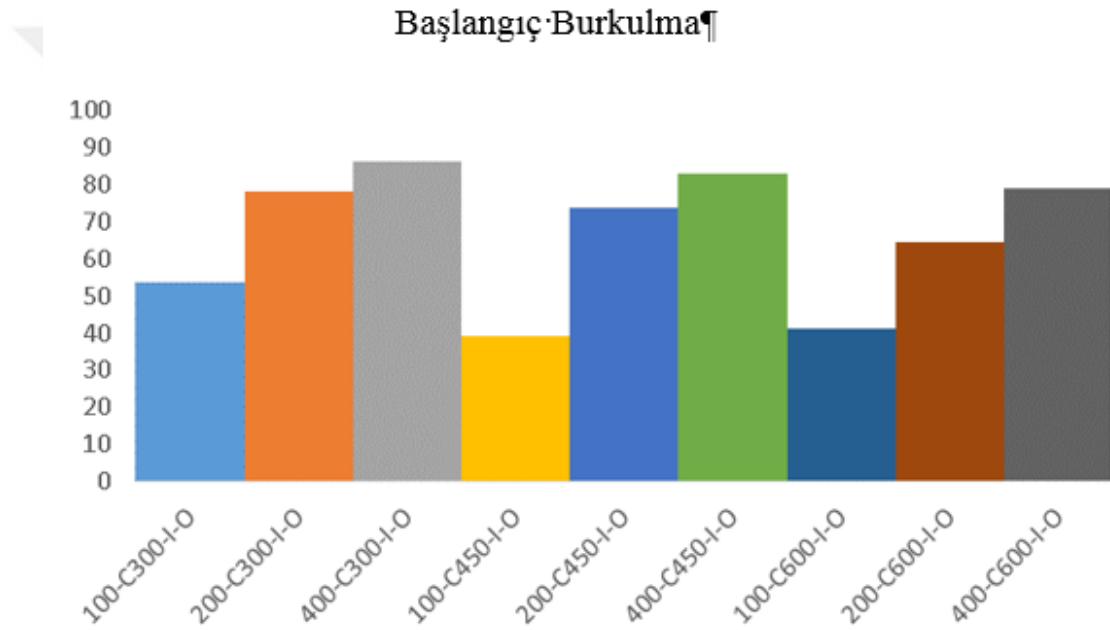


Şekil 3.41. 400-C600-I-O Numunesinin burkulma öncesi ve sonrası durumu

3.2.4. İçi-Dışı Boyalı grup karşılaştırılması (100, 200 ve 400 mikronla boyanmış çelik silindir grupların karşılaştırması)

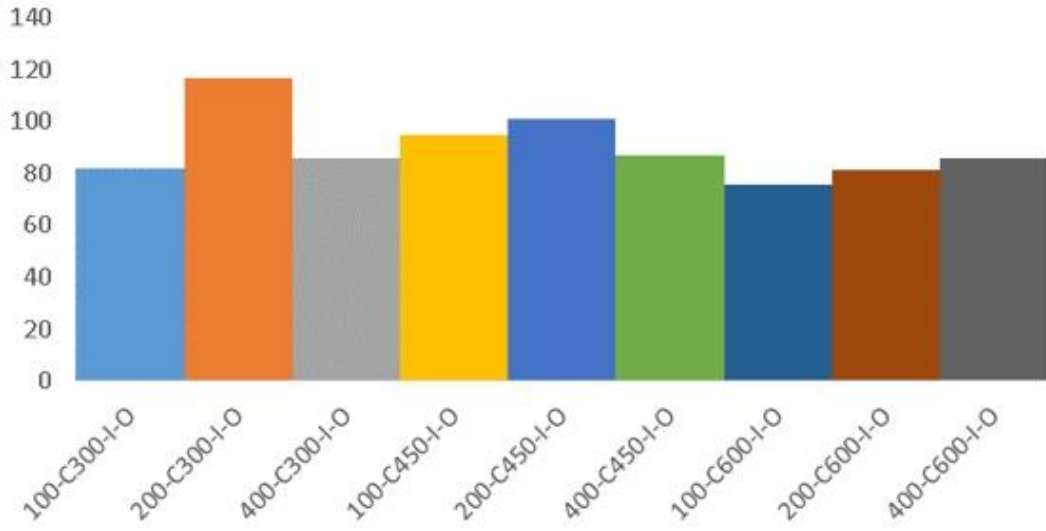
Şekil 3.42. ve 3.43. tüm numunelerin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri birbiriyle kıyaslanmış bir şekilde vermiştir. Şekil 3.42.'e baktığımızda, boya

kalınlığı artıkça başlangıç burkulması artmıştır. Ayrıca, 100-C450-I-O numunenin başlangıç değeri 400-C600-I-O numunelerin başlangıç burkulma değerinden azdır. Sonuç olarak, yangına maruz kalan silindir tanklarda boya kalınlığı artarken sıcaklık artış gösterdiğinde de başlangıç burkulmada değeri azalma göstermemekte ve boya kalınlığı yangına karşı bir yalıtım sergilemektedir. Şekil 3.43.' e baktığımızda, boya kalınlığı artıkça göçme kapasite değerleri artmıştır. Ayrıca, yangına maruz kalan silindir tanklarda boya kalınlığı artarken sıcaklık artış gösterdiğinde de başlangıç burkulma değeri azalma göstermemekte ve boya kalınlığı yangına karşı bir yalıtım sergilemektedir.



Şekil 3.42. İçi-Dışı Boyalı grup, 100, 200 ve 400 mikronla boyanmış çelik silindir grupların başlangıç burkulma karşılaştırması

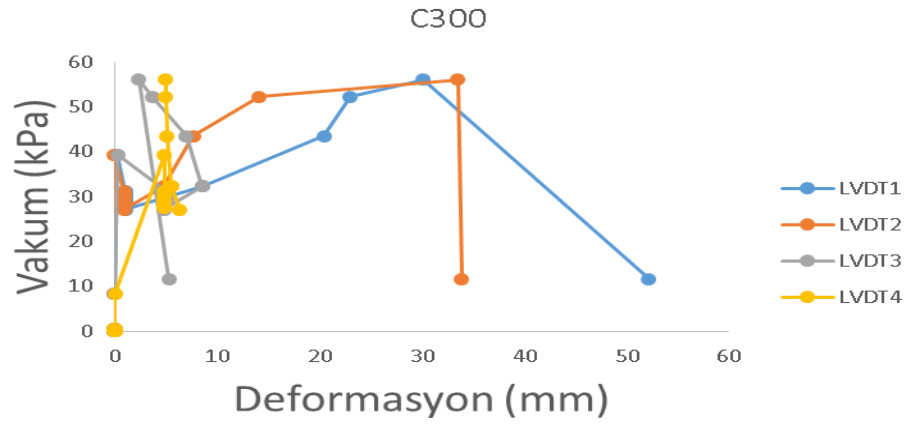
Göçme Kapasite Değeri



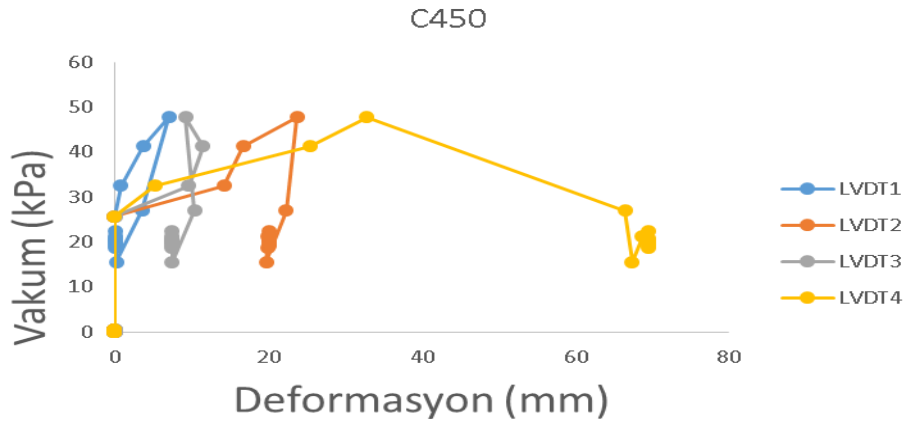
Şekil 3.43. İçi-Dışı Boyalı grup, 100, 200 ve 400 mikronla boyanmış çelik silindir grupların göçme kapasite değerlerinin karşılaştırması

3.3. Boyasız Çelik Silindirler Grup

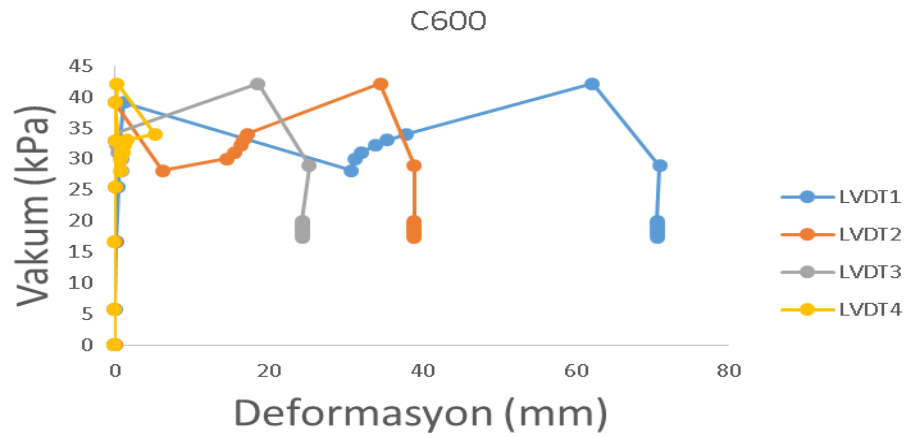
Numunelerin hepsi galvanizli ST355 çelikten üretilmiştir. Numuneler test makinesine yerleştirdikten sonra LVDT'ler konumlandırılarak (0-90-180-270° açı ve H/2 yüksekliğinde) data logger'a bağlanarak ve yükleme yapılarak deney gerçekleştirilmiştir. Yük altında numunenin burkulması sonucu içerisine hava girişi gerçekleştiğinde deney sonlandırılmıştır. Şekil 3.44., 3.45. ve 3.46.'de 3 numune için Yük-Deformasyon grafikleri verilmiştir, bu grafiklerden başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri elde edilmiştir. Tablo 3.8.'de burkulma değerleri verilmiştir.



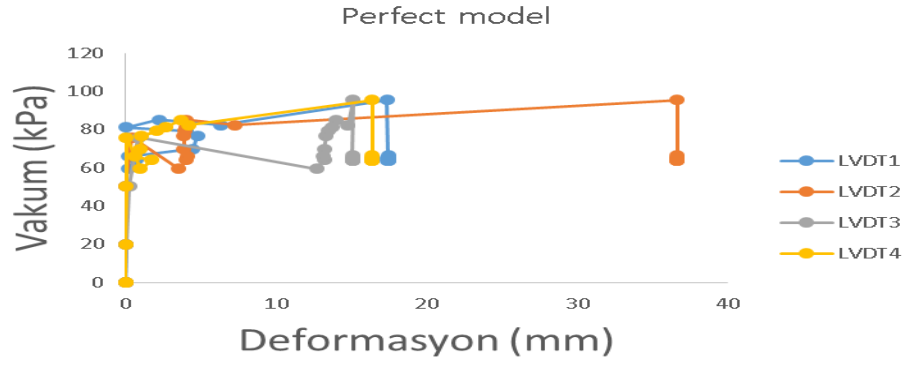
Şekil 3.44. C300 numunesine ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.45. C450 numunesine ait Vakum –Deformasyon



Şekil 3.46. C600 numunesine Vakum –Deformasyon



Şekil 3.47. İdeal model'e ait Vakum –Deformasyon

Tablo 3.8. Boyasız numunelerinin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri

Grup	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Başlangıç burkulma (kPa)	Göçme kapasite değeri (kPa)	Dalga Sayısı
Boyasız	C300	300	39.29	56.11	5
	C450	450	25.73	47.74	5
	C600	600	16.62	42.13	5
	İdeal Model	-	76.01	95.03	5

Tablo 3.8’de görüldüğü gibi başlangıç burkulmadan sonra tüm numuneler dayanım göstererek göçme kapasite değerine kadar çıkmışlar bu davranışa ileri burkulma adı verilmiştir. C300 numunesinde başlangıç burkulmadan göçme kapasite değerine kadar %29.97 artış göstermiştir bu artış C450, C600 ve İdeal model numunelerde sırasıyla %46.10, %60.55 ve %20.02 oranındadır. Ayrıca, başlangıç burkulmaya incelendiğinde, yangın derecesi arttığında başlangıç burkulması azalmıştır. İdeal modelle yanmış silindirleri kıyasladığımızda koruyucu boya başlangıç burkulmada 3 katına kadar, göçme kapasite değerinde ise 2 katına kadar etki etmiştir. Göçme kapasite değerine bakıldığında, yangın derecesi arttığında göçme kapasite değeri azalmıştır. Bu azalma C300 numunesinden C450 numunesine %17.53 oranında, C300 numunesinden C600 numunesine ise %33.18 orandadır. Sonuç olarak, başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri değerlendirildiğinde, yangın derecesi arttığında başlangıç ve göçme kapasite değerleri azalmıştır.

Şekil 3.48., 3.49., 3.50. ve 3.51.’de numuneleri deneyden önce ve deneyden sonra görüntüleri yer almaktadır. Şekillerde görüldüğü üzere C600 numunesinin göçme

şekli diğer numunelerle kıyaslandığında daha fazladır ve deformasyon gözükmektedir. Yalnızca sıcaklık artarken şekil değiştirme azalmıştır. Ayrıca deneyler yapılırken sıcaklık artarken numune yumuşadığından dolayı hemen deforme olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.48. C300 Numunesinin burkulma sonrası durumu



Şekil 3.49. C450 Numunesinin burkulma sonrası durumu



Şekil 3.50. C600 Numunesinin burkulma sonrası durumu



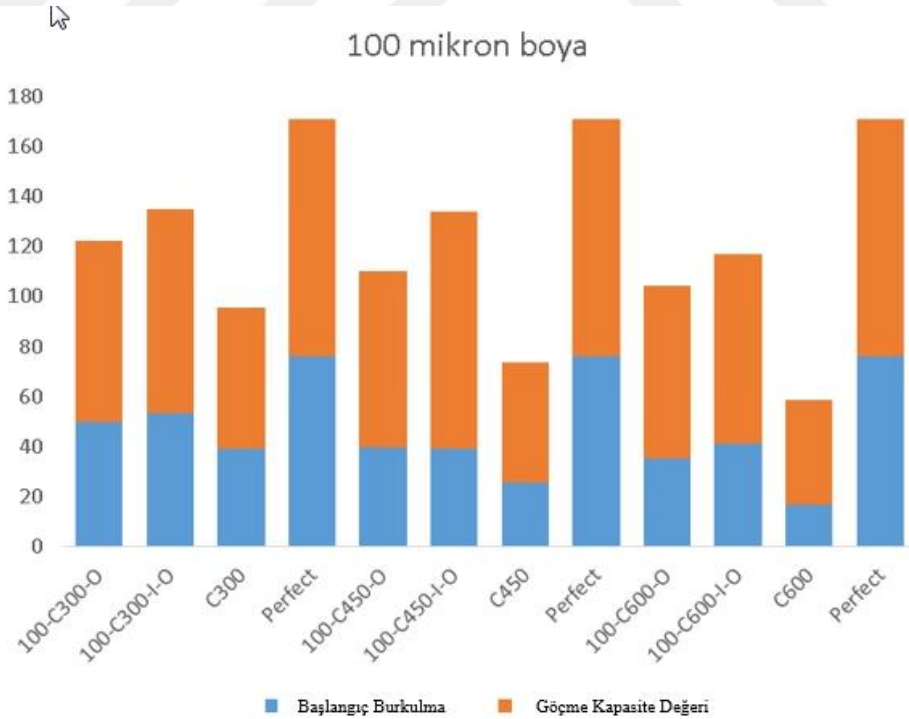
Şekil 3.51. İdeal modelin burkulma sonrası durumu

3.4. Tüm Grupları Karşılaştırma

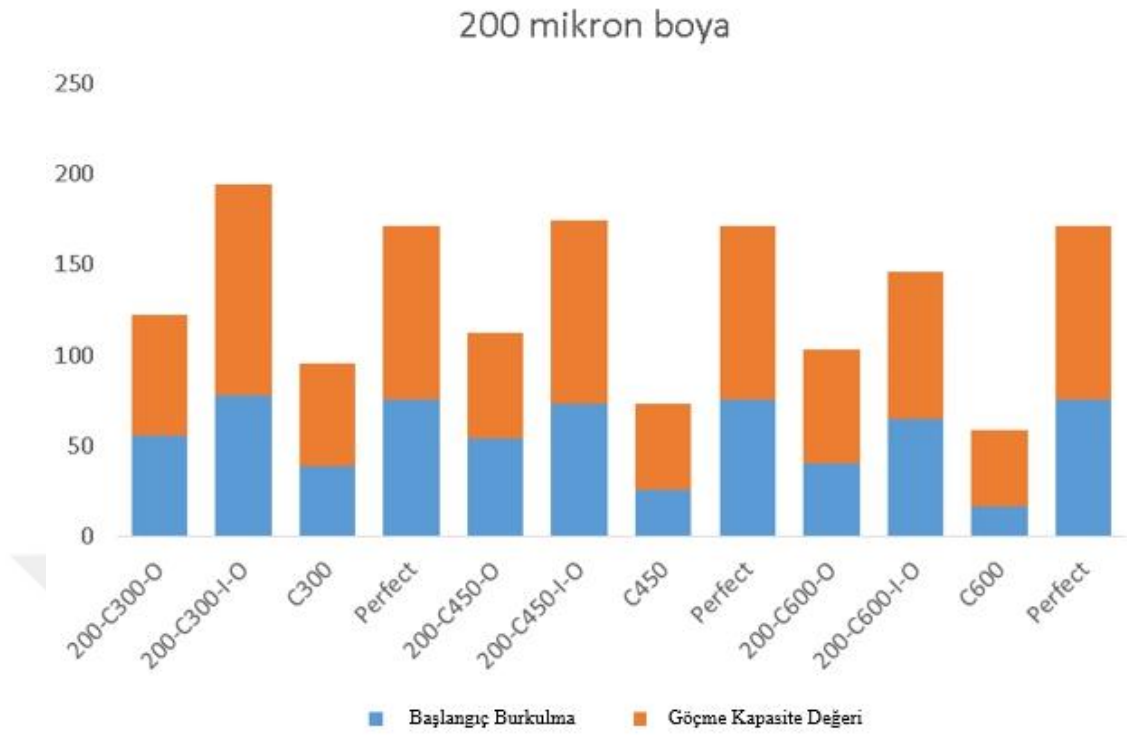
Tablo 3.9’da Tüm deneylerin burkulma değerleri verilmiştir ve Şekil 3.52., 3.53. ve 3.54.’de grupların birbiriyle karşılaşmaları verilmiştir. Şekil 3.52. ve 3.53., 100 ve 200 mikron boyaların etkisinin çok az olduğu görülmüştür. Şekil 3.54. 400 mikron boya kullanılarak korumaya alınmış çelik silindirler yanmamış gibi bir davranış sergiledikleri görülmüştür. Tablo 3.10’da dışı boyalı deney grubu ile İdeal modelin başlangıç burkulmaları ve göçme kapasite değerleri karşılaştırılmıştır. Tablo 3.11’de İçi-Dışı boyalı grubu ile İdeal modelin başlangıç burkulmaları ve göçme kapasite değerleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.9. Tüm numunelerin başlangıç burkulması ve göçme kapasite değerleri

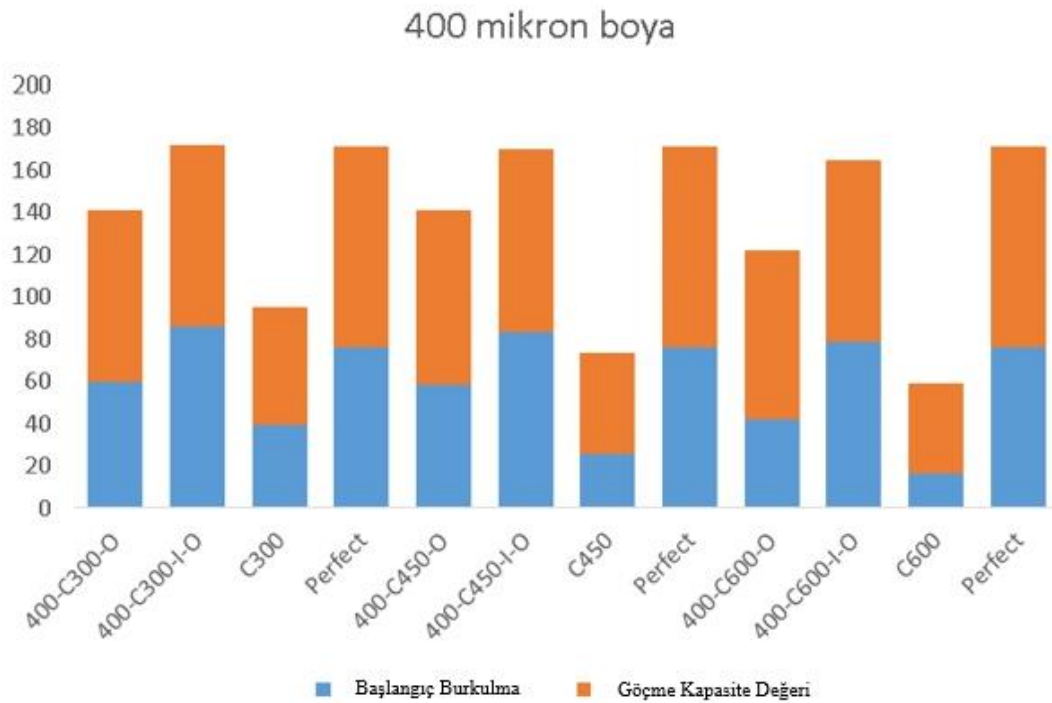
Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Başlangıç burkulma (kPa)	Göçme kapasite değeri (kPa)
Dış Boyalı	100	100-C300-O	300	49.91	72.40
		100-C450-O	450	39.74	70.63
		100-C600-O	600	35.097	69.38
	200	200-C300-O	300	56	66.72
		200-C450-O	450	54.19	58.32
		200-C600-O	600	40.33	62.96
	400	400-C300-O	300	59.79	81.18
		400-C450-O	450	58.47	82.36
		400-C600-O	600	42.17	79.63
İçi-Dışı Boyalı	100	100-C300-I-O	300	53.45	81.62
		100-C450-I-O	450	39.22	94.67
		100-C600-I-O	600	41.21	75.72
	200	200-C300-I-O	300	77.93	116.57
		200-C450-I-O	450	73.51	100.72
		200-C600-I-O	600	64.61	81.28
	400	400-C300-I-O	300	85.97	85.97
		400-C450-I-O	450	83.02	87.08
		400-C600-I-O	600	79.01	85.82
Boyasız	-	C300	300	39.29	56.11
		C450	450	25.73	47.74
		C600	600	16.62	42.13
		İdeal	-	76.01	95.03



Şekil 3.52. 100 mikronla boyanmış çelik silindir grupların başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerlerinin karşılaştırması



Şekil 3.53. 200 mikronla boyanmış çelik silindir grupların başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerlerinin karşılaştırması



Şekil 3.54. 400 mikronla boyanmış çelik silindir grupların başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerlerinin karşılaştırması

Tablo 3.10. Dışı boyalı deney grubu ve İdeal modelin başlangıç ve göçme kapasite değerlerinin karşılaştırılması

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Başlangıç burkulma (kPa)	Göçme kapasite değeri (kPa)	Dalga Sayısı
Dışı Boyalı	100	100-C300-O	300	49.91	72.40	4
		100-C450-O	450	39.74	70.63	4
		100-C600-O	600	35.097	69.38	4
	200	200-C300-O	300	56	66.72	4
		200-C450-O	450	54.19	58.32	4
		200-C600-O	600	40.33	62.96	4
	400	400-C300-O	300	59.79	81.18	4
		400-C450-O	450	58.47	82.36	5
		400-C600-O	600	42.17	79.63	5
İdeal Model	-	İdeal Model	-	76.01	95.03	5

Tablo 3.11. İçi-dışı boyalı deney grubu ve İdeal modelin başlangıç ve göçme kapasite değerlerinin karşılaştırılması

Grup	Boya kalınlığı (mikron)	Numune Adı	Yangın derecesi (°C)	Başlangıç burkulma (kPa)	Göçme kapasite değeri (kPa)	Dalga Sayısı
İçi-Dışı Boyalı	100	100-C300-I-O	300	53.45	81.62	5
		100-C450-I-O	450	39.22	94.67	5
		100-C600-I-O	600	41.21	75.72	5
İçi-Dışı Boyalı	200	200-C300-I-O	300	77.93	116.57	4
		200-C450-I-O	450	73.51	100.72	4
		200-C600-I-O	600	64.61	81.28	5
İçi-Dışı Boyalı	400	400-C300-I-O	300	85.97	85.97	4
		400-C450-I-O	450	83.02	87.08	4
		400-C600-I-O	600	79.01	85.82	4
İdeal Model	-	İdeal Model	-	76.01	95.03	5

3.5. Teorik Burkulma Hesaplamasında

Teorik burkulma hesaplamasında ise Jawad, Venstel and Krauthaer ve Ross teorilerinden yararlanılmıştır.

Jawad teorisine göre;

$$P_{cr} = \frac{0.92E\left(\frac{t_e}{R}\right)^{2.5}}{\frac{L_e}{R}} \quad (3.1)$$

Venstel and Krauthaer teorisine göre;

$$P_{cr} = 0.92 \frac{Et}{L} \left(\frac{t}{r_m} \right)^{1.5} \quad (3.2)$$

Ross teorisine göre;

$$P_{cr} = \frac{2.6E \left(\frac{t}{d} \right)^{2.5}}{\frac{H}{d} - 0.45 \left(\frac{t}{d} \right)^{0.5}} \quad (3.3)$$

E = Elastik modülü

R = Silindirin çapı

r_m = Yarı çapı ortalama değeri

$t = t_e$ etkili kalınlık

d = Silindirin çapı

$L_e = H$ = Silindirin uzunluğu

Silindir numunelerin teorik olarak göçme (burkulma başlangıcı) burkulma yüklerini hesaplamak için bu teorilerden yararlanıldı. Numunelerin hepsi aynı malzemedden üretildiler ve aynı ebatlarda üretildikleri için numunelerin elastik modülleri 210 GPa ve failure, yeild stres 342,4 ve 198,8 MPa' dır. Numunelerin yarıçapı 200 mm, çapı 400 mm, silindirin uzunluğu 800 mm ve etkili kalınlığı 0.45 mm' dir. Bu değerleri kullanarak yukarıda verilen üç teoriye göre hesap yapıldı. Jawad teorisine göre 11.60 kPa da nihai burkulmanın oluştuğu hesaplandı. Venstel and Kaurthaer teorisine göre yapılan hesapta 11.60 kPa bulunmuştur ve son olarak Ross teorisine göre yapılan hesapta numunenin nihai burkulması 11.72 kPa olarak hesaplandı. Teorik olarak hesaplanan göçme kapasite değerleri gerçek burkulma için yetersiz kalmıştır.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yangın koruyucu boya kullanılarak sıcaklığa maruz kalan (BS EN 1991-1-2: 2002) standardı ile üç grupta incelenen 22 deney örneği bu araştırmada test edilmiştir. Temel bulgular ve gözlemler aşağıdaki gibidir:

Tüm numune testlerinde, göçme yüküne göre başlangıç burkulmanın değişimi çok yüksektir. Böylece, yukarıda, numunelerin düzgün bir dış basınç altında burkulma sonrası kapasitesi kanıtlanmıştır.

Burkulma yükü (başlangıç burkulma ve göçme yükü), aynı kalınlıktaki boya ile iç dış boyanmış üç grup boyada (100, 200 ve 400)

- Dışı Boyalı grubunda, boya kalınlığı ikiye katlandığında burkulma yükünde küçük bir değişiklik olmuştur. Bununla birlikte, bu kalınlık dört kat arttığında, burkulma yükünde bir fark yaratmıştır. Boya kalınlığı aynı sıcaklık derecesinde 100 μ 'den 400 μ 'a artırıldığında başlangıç burkulma ve göçme kapasite değerleri artmaktadır.
- İçi-Dışı Boyalı grupta, boya kalınlığı 100 μ 'dan 400 μ 'a arttıkça, başlangıç burkulma ve çökme burkulma değeri artmaktadır. Üç farklı sıcaklık derecesinde (300, 450 ve 600 °C) ateşe karşı kullanılan boya kalınlığı 100 μ 400 μ 'a kadar arttıkça burkulma yükü (başlangıç burkulma ve göçme kapasite değeri) artmaktadır. Böylece, boya kalınlığı aynı sıcaklık derecesi ile 100 μ 'dan 400 μ 'a arttıkça, başlangıç burkulma ve göçme kapasitesi aktif değeri artmaktadır.
- Herhangi bir boya uygulaması yapılmamış olan numunelerin bulunduğu boyasız grupta, silindirler daha fazla yangına maruz kalmaktadır; bu yüzden burkulma değeri azalmaktadır. Koruyucu boya uygulanmamış diğer numuneler

ideal modelle kıyaslandığında sıcaklık derecesi artarken burkulma değeri 5 kat azalmıştır. Ayrıca, 300 °C'den 600 °C'ye dereceye çıktığında, başlangıç burkulma değeri 2 kat düşmüştür. Bu nedenle, yangına maruz kalan silindirik tanklarının koruması yoksa, burkulma kapasitesinde bir azalma olacaktır.

- Her iki grupta da 100 µ ile boyanmış bir silindir, ideal modelle karşılaştırıldığında önemli farklar görülmemektedir. Ancak İçi-Dışı Boyalı grubundaki numunelerle 100 µ kalınlıkta boyanmış Dışı Boyalı ve İçi-dışı boyalı gruptaki numunelerin birbirleriyle kıyaslandığında burkulma yük değerleri aynı olmuştur.
- Bununla birlikte, boya kalınlığı 200 µ olduğunda, silindirik numuneler 450 dereceye kadar yangına dayanıklıdır ve ideal model gibi davranmaktadır. Ayrıca, boya kalınlığı 400 µ olduğunda, Dışı Boyalı silindirik numuneler 450°C'ye dereceye kadar yangına dayanıklıdır ve 450 sıcaklık yangından sonra kullanılabilirler.
- Elde edilen başlangıç ve göçme kapasitesi için elde edilen deneysel değerler teorik değerler ile karşılaştırıldığında; bazı katsayıların kullanılması gerektiği görülmüştür.

Boya ile kaplanmış örneklerin deformasyonu, boya ile kaplanmamış örneklere göre azalmıştır. Dışı Boyalı grubunda 400 µ kalınlıkta boyanmış numunede ve İçi-Dışı Boyalı göçme kapasite değeri aynı İdeal model gibidir. Diğer bir deyişle, boya kalınlığı arttığında ve boya iç ve dış silindirik kabuklara uygulandığında, yangından sonra burkulma şekilleri ve dalga sayıları ideal model gibi davranmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Zehfuss, J., & Hosser, D. (2007). A parametric natural fire model for the structural fire design of multi-storey buildings. *Fire Safety Journal*, 42(2), 115-126.
- [2] Sun, J., Xu, X., & Lim, C. W. (2013). Accurate symplectic space solutions for thermal buckling of functionally graded cylindrical shells. *Composites Part B: Engineering*, 55, 208-214.
- [3] Chikode, S., & Raykar, N. (2017). Investigation of Reduction in Buckling Capacity of Cylindrical Shells Under External Pressure Due to Partially Cut Ring Stiffeners. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 139(1).
- [4] Salahshour, S., & Fallah, F. (2018). Elastic collapse of thin long cylindrical shells under external pressure. *Thin-Walled Structures*, 124, 81-87.
- [5] Pantousa, D., & Godoy, L. A. (2019). On the mechanics of thermal buckling of oil storage tanks. *Thin-Walled Structures*, 145, 106432.
- [6] Gardner, L., & Ng, K. T. (2006). Temperature development in structural stainless steel sections exposed to fire. *Fire Safety Journal*, 41(3), 185-203.
- [7] Uppfeldt, B., Outinen, T. A., & Veljkovic, M. (2008). A design model for stainless steel box columns in fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(11), 1294-1301.
- [8] Qin C, Mahmoud H (2019). Collapse performance of composite steel frames under fire. *Eng Struct*. 183, 662-76
- [9] Kowalski, R. (2010) Mechanical Properties of Concrete Subjected to High Temperature Ph.D Thesis, Civil Engineering Faculty, Warsaw University of Technology, Al.Armi Ludowej Warsaw, Poland.
- [11] Fan, S., He, B., Xia, X., Gui, H., & Liu, M. (2016). Fire resistance of stainless steel beams with rectangular hollow section: Experimental investigation. *Fire safety journal*, 81, 17-31.
- [10] Winful, D., Cashell, K. A., Afshan, S., Barnes, A. M., & Pargeter, R. J. (2018). Behaviour of high strength steel columns under fire conditions. *Journal of Constructional Steel Research*, 150, 392-404.

- [12] Casal, J., & Darbra, R. M. (2013). Analysis of past accidents and relevant case-histories. In *Domino Effects in the Process Industries* (pp. 12-29). Elsevier.
- [13] Pourkeramat, A., Daneshmehr, A., Jalili, S., & Aminfar, K. Geometrical imperfection's effect on thermal buckling of cylindrical water storage tanks subjected to fire.2020
- [14] Lou GB, Wang CH, Jiang J, Jiang YQ, Wang LW, Li GQ. (2018) Experimental and numerical study on thermal-structural behavior of steel portal frames in real fires. *Fire Safety J.* 98, 48-62
- [15] Lucherini, A., Giuliani, L., & Jomaas, G. (2018). Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions. *Fire Safety Journal*, 95, 42-50.
- [16] Bilotta, A., de Silva, D., & Nigro, E. (2016). General approach for the assessment of the fire vulnerability of existing steel and composite steel-concrete structures. *Journal of building engineering*, 8, 198-207
- [17] Jimenez, M., Duquesne, S., & Bourbigot, S. (2006). Characterization of the performance of an intumescent fire protective coating. *Surface and coatings Technology*, 201(3-4), 979-987.
- [18] Wang, L. L., Wang, Y. C., Li, G. Q., & Zhang, Q. Q. (2020). An experimental study of the effects of topcoat on aging and fire protection properties of intumescent coatings for steel elements. *Fire Safety Journal*, 111, 102931.
- [19] Yasir, M., Ahmad, F., Yusoff, P. S. M. M., Ullah, S., & Jimenez, M. (2020). Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review. *Surface Engineering*, 36(4), 334-363.
- [20] Sofiyev, A. H., & Kuruoglu, N. (2013). Torsional vibration and buckling of the cylindrical shell with functionally graded coatings surrounded by an elastic medium. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 1133-1142.
- [21] DE SILVA, D. O. N. A. T. E. L. L. A., BILOTTA, A., & NIGRO, E. (2016). Experimental tests on intumescent coating for protecting steel structures. *Structures in Fire*.
- [22] Zhang, Y., Wang, Y. C., Bailey, C., & Taylor, A. P. (2012). Global modelling of fire protection performance of intumescent coating under different cone calorimeter heating conditions. *Fire Safety Journal*, 50, 51-62.
- [23] Kandola, B. K., Bhatti, W., & Kandare, E. (2012). A comparative study on the efficacy of varied surface coatings in fireproofing glass/epoxy composites. *Polymer degradation and stability*, 97(11), 2418-2427.

- [24] Li, G. Q., Han, J., Lou, G. B., & Wang, Y. C. (2016). Predicting intumescent coating protected steel temperature in fire using constant thermal conductivity. *Thin-Walled Structures*, 98, 177-184.



ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Düzce'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Düzce'de tamamlayan Fatih MACİT 2000 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1998 yılında başladığı çalışma hayatına, özel sektörde Türkiye'nin büyük İnşaat firmalarında devam etti. Kariyerinin son 17 yılını uzmanlaştığı CTP boru üretimi, uygulaması, projelendirilmesi konularında faaliyet gösteren firmalarda üst düzey yönetici olarak sürdürmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.