



**EKSENEL YÜK ALTINDA DAİRESEL GÖVDE BOŞLUĞU
BULUNAN SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK
KOLONLARDA YEREL VE YEREL BURULMALI
BURKULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Furkan KARA

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mahyar MAALI
Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Barış BAYRAK**

2024

Her hakkı saklıdır.



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**EKSENEL YÜK ALTINDA DAİRESEL GÖVDE BOŞLUKLU SOĞUK
ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK KOLONLARDA YEREL VE YEREL
BURULMALI BURKULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Furkan KARA

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mahyar MAALI
Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Barış BAYRAK

Ana Bilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2024

Her hakkı saklıdır

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU

**EKSENEL YÜK ALTINDA DAİRESEL GÖVDE BOŞLUĞU BULUNAN
SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK KOLONLARDA YEREL BURKULMA
VE YEREL BURULMALI BURKULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Doç. Dr. Mahyar MAALI danışmanlığında, Furkan KARA tarafından hazırlanan bu çalışma 05 / 09 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak **Oy birliği ile (5/5)** kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Mahyar MAALI	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Barış BAYRAK	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. İrfan KOCAMAN	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Haluk Görkem ALCAN	İmza	:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Doç. Dr. Bünyamin ÖZGERİŞ
Enstitü Müdürü

*Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

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

05 / 09 / 2024

İmzası

Furkan KARA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKSENEL YÜK ALTINDA DAİRESEL GÖVDE BOŞLUĞU BULUNAN SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMİŞ ÇELİK KOLONLARDA YEREL VE YEREL BURULMALI BURKULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Furkan KARA

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mahyar MAALI

Günümüzde hafif çelik yapılar, esneklikleri, hızlı montaj olanakları ve çeşitli kullanım avantajları nedeniyle giderek popülerlik kazanmaktadır. Ancak, bu yapıların kolonlarında, yapısal gereksinimler veya mimari tasarımın talepleri doğrultusunda çeşitli boşluklar bırakma ihtiyacı doğmaktadır. Bu boşluklar, elektrik tesisatı ve mekanik sistemlerin geçişini sağlamak amacıyla oluşturulabileceği gibi, estetik gereksinimler doğrultusunda da tercih edilebilir.

Ancak, bu boşlukların kolonların mekanik performansı üzerindeki etkisi yeterince araştırılmamıştır. Boşlukların varlığı, kolonların taşıma kapasitesi, burkulma modu ve enerji emilme yetenekleri gibi önemli mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Boşluğun geometrisi ve boyutunun, kolonların yerel ve genel burulmalı burkulma davranışı üzerindeki etkisi de net bir şekilde belirlenmemiştir.

Bu tez, hafif çelik yapılarda bırakılan dairesel boşlukların mekanik performans üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Toplamda 16 numune kullanılarak kapsamlı bir deneysel çalışma yürütülmüştür. Numuneler, 8 normal ve 8 yüksek sıcaklığa maruz kalan elemanlardan oluşacak şekilde iki gruba ayrılmıştır. Her iki grupta, 500 mm ve 300 mm yüksekliğinde, boşluksuz ve farklı çaplarda dairesel boşluklar bulunan kolonlar yer almaktadır. Bu boşluklar sırasıyla boşluksuz, 48 mm, 96 mm ve 144 mm çaplarındadır.

Deneylerde, her bir numunenin eksenel yük altında davranışı incelenmiş ve elde edilen veriler analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, farklı boşluk çaplarının ve yüksek sıcaklığa maruz kalmanın, kolonların taşıma kapasitesi, burkulma direnci ve enerji emilme yetenekleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, hafif çelik yapıların tasarımı ve inşaatında kullanılan kolonların güvenliği ve performansı hakkında daha sağlam bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

2024, 67 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hafif çelik yapılar, CFS, Gövde boşluklu kolonlar, Yerel burulmalı burkulma, Yerel burkulma, Eksenel basınç.

ABSTRACT

MS. Thesis

INVESTIGATION OF LOCAL AND DISTORTIONAL BUCKLE BEHAVIOR IN COLD-FORMED STEEL COLUMNS WITH CIRCULAR BODY CAVITY UNDER AXIAL LOAD

Furkan KARA

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mahyar MAALI

Nowadays, light steel structures are gaining popularity due to their flexibility, rapid assembly possibilities, and various usage advantages. However, there arises a need to leave certain openings in the columns of these structures in line with structural requirements or architectural design demands. These openings can be created to allow the passage of electrical installations and mechanical systems or may be preferred for aesthetic concerns.

However, the impact of these openings on the mechanical performance of the columns has not been sufficiently studied. The presence of openings can negatively affect critical mechanical properties such as the load-bearing capacity, buckling mode, and energy absorption capabilities of the columns. The influence of the geometry and size of the openings on the local and overall buckling behavior of the columns has also not been clearly defined.

This thesis aims to thoroughly examine the effects of circular openings left in light steel structures on mechanical performance. A comprehensive experimental study was conducted using a total of 16 samples. The samples were divided into two groups: 8 elements exposed to normal temperature and 8 elements exposed to high temperature. In both groups, columns with a height of 500 mm and 300 mm, without openings and with circular openings of different diameters, were included. These openings have diameters of 0 mm (no openings), 48 mm, 96 mm, and 144 mm, respectively.

In the experiments, the behavior of each sample under axial load was examined, and the obtained data were analyzed. As a result of these analyses, the effects of different opening diameters and exposure to high temperatures on the load-bearing capacity, buckling resistance, and energy absorption capabilities of the columns were evaluated in detail. The results of this study aim to establish a stronger foundation for the safety and performance of columns used in the design and construction of light steel structures.

2024, 67 page

Keywords: Light Steel Structure, CFS, Column with web holes, Distortional buckling, Docal buckling, Axial compression.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana değerli katkılarıyla destek olan tüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim. Öncelikle, tez danışmanım Doç. Dr. Mahyar MAALI'ya, bilgi birikimi ve tecrübeleriyle tezin her aşamasında sağladığı rehberlik ve destek için en derin teşekkürlerimi sunarım. Eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Barış BAYRAK'a, bu süreçteki yapıcı geri bildirimleri, yönlendirmeleri ve özverili katkıları için minnettarım. Ayrıca, Prof. Dr. Merve MAALI'ya, tezime bilimsel katkı sağlayan derin bilgi birikimi ve kıymetli tavsiyeleri için şükranlarımı sunarım.

Bu süreçte deneysel çalışmaların yürütülmesinde önemli destek sağlayan doktora öğrencisi Nurullah ÇINAR'a, gerek deneylerin planlanmasında gerekse sonuçların değerlendirilmesinde sunduğu bilgi birikimi ve destek için özellikle teşekkür ederim. Deney aşamasında veri toplama ve analiz süreçlerinde katkı sağlayan Arş. Gör. Mahmut Buğra BİLEN'e, tecrübeleriyle sunduğu destekten dolayı müteşekkirim. Son olarak, deneyleri gerçekleştirme sürecinde bana yardımcı olan İnşaat Yüksek Mühendisi Emre YAVUZ'a da teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin hazırlanmasında emeği geçen tüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Furkan KARA
Eylül, 2024

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Hafif Çelik Yapılar.....	3
1.2.1 Hafif çelik yapı avantajları.....	4
1.2.2. Hafif çelik yapıların dezavantajları.....	5
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM	11
3.1. Yöntem ve Deney Düzenegi	11
3.2. Deneysel Çalışmalar ve Numuneler.....	12
3.3. Deneyde Kullanılan Araç Gereçler	18
3.4. Malzemenin Mekanik Özellikleri ve Çekme Deneyi.....	22
4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ	26
4.1. Boy Değişimini Eksenel Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi	29
4.2. Boşluk Oranının Eksenel Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi	33
4.3. Yüksek Sıcaklık Etkisinin Eksenel Yük Taşıma Kapasitesi Üzerindeki Etkisi.....	39
4.4. Eksenel Yük-Deplasman İlişkisi	42
4.5. Gerinim Değerlerinin İncelenmesi	47
4.6. Göçme Modları	55
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	64
KAYNAKÇA	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°C	Santigrat derece
Cm	Santimetre
E	Elastik modülü
GPa	Gigapaskal
kN	Kilo Newton
kN.m	Kilonewtonmetre
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
N	Newton
P	Basınç
Δ	Yer Değiştirme
Mε	Mikrostrain
σ	Gerilme

Kısaltmalar

Fmax	Maksimum kuvvet
LVDT	Deformasyon ölçme cihazı
Sn	Saniye

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Fang (2022) deneysel çalışmalarında kullandığı numune	7
Şekil 2.2. Fan (2022) deneysel çalışmasında eksenel yük altındaki numunelerin burkulma aşamaları.	8
Şekil 3.1. Deney düzeneği	12
Şekil 3.2. Numune en kesiti ve ön görünüşü	13
Şekil 3.3. Deney numunelerinin grup şematiği.....	13
Şekil 3.4. Deney numunelerinin grup şematiği.....	15
Şekil 3.5. Numunelerin ayrık halleri.....	17
Şekil 3.6. Cıvata düzeni	17
Şekil 3.7. Mesnet detayları (tüm birimler mm’ dir).....	18
Şekil 3.8. Yüksek sıcaklık cihazı ve deneysel çalışmada uygulanan sıcaklık-zaman ilişkisi.	19
Şekil 3.9. Deneysel çalışmada kullanılan LVDT’ lerin görüntüsü	20
Şekil 3.10. Deneysel çalışmada kullanılan Loadcell görüntüsü	20
Şekil 3.11. Deneysel çalışmada kullanılan Strain gage görüntüsü	21
Şekil 3.12. Çekme testi ve çekme testi numunesi geometrisi (tüm birimler mm’ dir.) ..	23
Şekil 3.13. Numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.....	24
Şekil 4.1. Normal ortamda bekletilen numunelerin eksenel yük taşıma kapasitesi ve bu yüke karşılık gelen deplasman değerleri.	28
Şekil 4.2. Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin eksenel yük taşıma kapasitesi ve bu yüke karşılık gelen deplasman değerleri.	28
Şekil 4.3. Normal ortamda bekletilen numunelerin eksenel yük kapasitesi	29
Şekil 4.4. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin eksenel yük kapasitesi.....	30
Şekil 4.5. Boy değişiminin eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi	32
Şekil 4.6. Normal ortamda bekletilen numunelerde boşluk oranının eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi.	34
Şekil 4.7. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde boşluk oranının eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi.....	35
Şekil 4.8. Boşluk oranındaki artışın eksenel yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi	37
Şekil 4.9. L300 numunelerinde yüksek sıcaklığın eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi	40

Şekil 4.10. L500 numunelerinde yüksek sıcaklığın aksenal yük taşıma kapasitesine etkisi	40
Şekil 4.11. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış numunelerin taşıdığı maksimum yük-maksimum yer değiştirme.	44
Şekil 4.12. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin taşıdığı maksimum yük-maksimum yer değiştirme.	46
Şekil 4.13. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış L=300 kolonunun maksimum yük altında gerinimleri.	50
Şekil 4.14. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış L=500 kolonunun maksimum yük altında gerinimleri.	51
Şekil 4.15. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış L=300 kolonunun maksimum yük altında gerinimleri.	53
Şekil 4.15. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış L=500 kolonunun maksimum yük altında gerinimleri.	54
Şekil 4.16. CU240-t2-L300-S50-A0 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü	56
Şekil 4.17. CU240-t2-L300-S50-A0.2 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	57
Şekil 4.18. CU240-t2-L300-S50-A0.4 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	57
Şekil 4.19. CU240-t2-L300-S50-A0.6 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	57
Şekil 4.20. CU240-t2-L500-S50-A0 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü	58
Şekil 4.21. CU240-t2-L500-S50-A0.2 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	58
Şekil 4.22. CU240-t2-L500-S50-A0.4 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	59
Şekil 4.23. CU240-t2-L500-S50-A0.6 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	59
Şekil 4.24. BCU240-t2-L300-S50-A0 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	60
Şekil 4.25. BCU240-t2-L300-S50-A0.2 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	61
Şekil 4.26. BCU240-t2-L300-S50-A0.4 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	61
Şekil 4.27. BCU240-t2-L300-S50-A0.6 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	61
Şekil 4.28. BCU240-t2-L500-S50-A0 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	62
Şekil 4.29. BCU240-t2-L500-S50-A0.2 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	62
Şekil 4.30. BCU240-t2-L500-S50-A0.4 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	62
Şekil 4.31. BCU240-t2-L500-S50-A0.6 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Numune boyutları	16
Çizelge 3.2. Numunelerin çekme ve akma dayanım değerleri	25
Çizelge 4.1. Deney sonuçları	27
Çizelge 4.2. Normal ortamda bekletilen ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin eksenel yük taşıma kapasitesi karşılaştırması.	32
Çizelge 4.3. Boşluk oranı artışının eksenel yük taşıma kapasitesine etkisinin yüzdesel olarak gösterimi.	37
Çizelge 4.4. Numune detayları ve göçme modları.....	55



1. GİRİŞ

Günümüzde yapı mühendisliği, yapıların daha hafif, daha dayanıklı ve daha ekonomik olmasını sağlamak için sürekli olarak yeni araştırmalar yapmaktadır. Bu bağlamda, soğuk şekillendirilmiş çelik kolonlar, yapı endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılan önemli yapısal elemanlardır. Soğuk şekillendirilmiş çelik, çeşitli avantajları nedeniyle tercih edilen bir yapı malzemesidir; bunlar arasında yüksek mukavemet, düşük maliyet, hafiflik, montaj kolaylığı ve çeşitli geometrik şekillerin elde edilebilirliği yer alır.

Ancak, son yıllarda, bu tür yapı elemanlarında dairesel gövde boşluklarının kullanımı giderek artmıştır. Bu boşluklar, mimari estetik gereklilikleri karşılamak, yapı elemanlarının, elektrik ve mekanik tesisat elemanlarının geçişini sağlamak veya yapısal gereksinimleri karşılamak için tasarlanabilir. Özellikle, kolonlarda dairesel boşlukların kullanımı, yapının toplam ağırlığını azaltabilir ve yapı elemanlarının montajını kolaylaştırabilir.

Ancak, bu boşlukların kolonların mekanik performansı üzerindeki etkileri henüz tam olarak anlaşılmamıştır. Özellikle, dairesel gövde boşlukları, kolonların taşıma kapasitesi, burkulma direnci ve enerji emilme yetenekleri gibi önemli mekanik özelliklerini nasıl etkiler, halen net değildir. Bu nedenle, dairesel gövde boşluğu soğuk şekillendirilmiş çelik kolonların davranışının detaylı bir şekilde incelenmesi, yapı mühendisliği alanında önemli bir araştırma alanı olarak kabul edilmektedir.

Bu tez, eksenel yük altında dairesel gövde boşluğuna sahip soğuk şekillendirilmiş çelik kolonlarda yerel ve yerel burulmalı burkulma davranışının incelenmesine odaklanmaktadır. Tez kapsamında, farklı çaplardaki dairesel boşluklara sahip çeşitli soğuk şekillendirilmiş çelik profiller kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu deneysel çalışmaların sonuçları, dairesel gövde boşluğuna sahip soğuk şekillendirilmiş çelik kolonların mekanik davranışını anlamak ve bu tür yapı elemanlarının tasarımını geliştirmek için önemli bir katkı sağlayacaktır. Ayrıca, elde edilen bulgular, yapı endüstrisinde kullanılan çelik yapıların daha güvenli ve daha verimli hale getirilmesine yardımcı olabilecek pratik öneriler sunacaktır.

Ayrıca, bu tez kapsamında, eksenel yük altında dairesel gövde boşluğuna sahip soğuk şekillendirilmiş çelik kolonlarda yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numuneler için de deneyler ve incelemeler yapılmıştır. Bu deneyler, yüksek sıcaklığın, kolonların mekanik davranışı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklık etkisi altında, çelik yapı elemanlarının mekanik özellikleri ve taşıma kapasitesi önemli ölçüde değişebilir. Dolayısıyla, yüksek sıcaklık dayanıklılığını artırmak ve yüksek sıcaklık sonrası yapısal bütünlüğü sağlamak için çelik yapı elemanlarının yüksek sıcaklığa karşı davranışının detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Bu tezde sunulan deneyler ve incelemeler, dairesel gövde boşluğuna sahip soğuk şekillendirilmiş çelik kolonların yüksek sıcaklığa karşı davranışını anlamak ve bu tür yapı elemanlarının yüksek sıcaklığa dayanıklılığını artırmak için önemli bir katkı sağlayacaktır. Elde edilen bulgular, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış çelik kolonların mekanik davranışı üzerindeki etkileri açısından değerli bir bilgi kaynağı olacaktır. Ayrıca, yapı endüstrisinde kullanılan çelik yapıların yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığını artırmak için pratik öneriler sunabilir.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışması, birbirine vidalar ile tutturulmuş soğuk şekillendirilmiş U ve C profillerinin gövdelerinde boşluksuz ve boşluklu durumlarda gösterdiği yerel ve yerel burulmalı burkulma davranışlarını incelemektedir. Deneyler, profilin yüz yüze kapaklanarak vidalarla birbirine tutturulması ve ardından eksenel yük uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sırasında, profilin dayanımı ölçülmüş ve yerel burulmalı burkulma ile yerel burkulma gibi diğer önemli davranışlar kaydedilmeye çalışılmıştır.

Araştırmanın temel amacı, farklı boşluklara sahip profillerin ve boşluksuz profillerin yerel ve yerel burulmalı burkulma davranışlarını karşılaştırmak ve bu davranışların profil yapısal bütünlüğü üzerindeki etkilerini anlamaktır.

Bununla birlikte, aynı deneylerin yüksek sıcaklığa maruz kalmış profiller için de tekrarlanması, çalışmanın kapsamını genişletmiştir. Bu sayede, soğuk şekillendirilmiş

çelik profillerin yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığı ve yüksek sıcaklık sonrası davranışları hakkında bilgi edinilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları, çelik yapı elemanlarının tasarımı ve güçlendirilmesi için pratik rehberlik sağlayacak ve endüstriyel uygulamalara önemli bir katkı sunacaktır. Ayrıca, farklı boşluklara sahip profillerin ve yüksek sıcaklığa maruz kalmış profillerin davranışlarının incelenmesi, yapısal mühendislik alanında önemli bir boşluğu dolduracak ve yapıların daha güvenli ve dayanıklı olmasına katkı sağlayacaktır.

1.2. Hafif Çelik Yapılar

Günümüzde inşaat sektörü, hızlı değişen teknoloji ve çevresel bilinçle birlikte sürekli olarak evrim geçirmektedir. Bu değişimin önemli bir parçası da hafif çelik yapılar olarak adlandırılan yapı sistemleridir. Hafif çelik yapılar, çelik malzemelerin kullanımıyla oluşturulan ve geleneksel betonarme yapılarla kıyaslandığında birçok avantaj sunan modern yapılar olarak tanımlanabilir. Ancak, hafif çelik yapıların doğuşu ve neden ortaya çıktığına dair bir anlayışa sahip olmak için, bu yapıların kökenlerine ve inşaat endüstrisindeki rolüne dair bir bakış atmamız gerekmektedir.

Hafif çelik yapıların kökenleri, çelik endüstrisinin ve inşaat sektörünün tarihine dayanmaktadır. Çelik, insanlık tarihinin erken dönemlerinden beri kullanılan bir yapı malzemesidir. Ancak, çelik yapıların modern formu ve kullanımı, Sanayi Devrimi döneminde başlamıştır. Sanayi Devrimi'nin ardından, çelik üretimi büyük ölçüde artmış ve çelik malzemelerin inşaat sektöründe kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Bu dönemde, demiryolu, köprü ve endüstriyel tesisler gibi büyük projeler için çelik malzemelerin kullanımı önemli ölçüde artmıştır.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında, Avrupa ve diğer bölgelerde büyük ölçüde yıkılan şehirlerin yeniden inşası gerekiyordu. Bu dönemde, hafif çelik yapılar, hızlı montaj özellikleri ve esnek tasarım seçenekleri nedeniyle tercih edilmeye başlandı. Yeniden inşa sürecinde, hafif çelik yapılar, ihtiyaçları hızlı bir şekilde karşılamak için ideal bir seçenek olarak ortaya çıktı. Bu dönemde, prefabrikasyon tekniklerinin ve modern inşaat malzemelerinin gelişimiyle birlikte, hafif çelik yapılar daha da popüler hale geldi.

Günümüzde, hafif çelik yapılar, dünya genelinde birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Konutlar, ticari binalar, endüstriyel tesisler ve altyapı projeleri gibi çeşitli uygulamalarda hafif çelik yapılar tercih edilmektedir. Bu yapıların popülerliği, sağlamlık, dayanıklılık, esneklik ve hızlı montaj gibi avantajlarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, çevre dostu inşaat teknolojilerine olan talebin artmasıyla birlikte, hafif çelik yapıların önemi ve yaygınlığı muhtemelen daha da artacaktır.

1.2.1 Hafif çelik yapı avantajları

Hafif çelik yapı sistemleri, modern inşaat endüstrisinde giderek daha fazla tercih edilen bir yapı sistemi haline gelmiştir. Bu sistemler, geleneksel yapı yöntemlerine kıyasla çeşitli avantajlar sunarlar. Öncelikle, çelik malzemenin sağladığı üstün mukavemet ve elastikiyet özellikleri sayesinde, hafif çelik yapılar daha dayanıklı ve güvenilir bir yapıya sahiptirler. Bu özellikleri, yapıların uzun ömürlü olmasını sağlar ve bakım gereksinimlerini azaltır.

Ayrıca, hafif çelik yapılar, hızlı inşaat süreçleriyle öne çıkarlar. Önceden imal edilmiş çelik parçaların montajı, geleneksel inşaat yöntemlerine kıyasla daha kısa sürede gerçekleştirilebilir. Bu da proje tamamlama süresini kısaltır ve inşaat maliyetlerini düşürür. Ayrıca, daha az iş gücü gerektirir ve işçilik maliyetlerini azaltır.

Hafif çelik yapı sistemleri aynı zamanda esnek tasarım imkanları sunarlar. Modüler yapısı sayesinde, yapıların tasarımı ve düzenlemesi kolaylıkla değiştirilebilir veya genişletilebilir. Bu, kullanıcıların değişen ihtiyaçlarına uyum sağlar ve yapıların uzun vadeli işlevselliğini artırır.

Çevresel sürdürülebilirlik açısından da hafif çelik yapılar önemli avantajlar sunarlar. Çelik, geri dönüştürülebilir bir malzemedir ve yapıların sökülmesi durumunda geri dönüşüme kazandırılabilir. Ayrıca, imalat sürecinde ve kullanım sırasında daha az enerji tüketimi gerektirirler, bu da çevresel etkiyi azaltır ve sürdürülebilir bir inşaat yaklaşımını teşvik eder.

Tüm bu avantajlar göz önüne alındığında, hafif çelik yapı sistemlerinin inşaat endüstrisinde giderek daha fazla tercih edildiği görülmektedir. Bu sistemler, modern yapı projelerinin gereksinimlerini karşılamak için ideal bir seçenek sunarlar ve gelecekte inşaat sektöründe daha yaygın bir şekilde kullanılabilirler.

1.2.2. Hafif çelik yapıların dezavantajları

Hafif çelik yapılar, çelik levhaların veya profillerin kullanılmasıyla oluşturulan yapı sistemleridir. Bu yapılar, çeşitli avantajlar sunmalarına rağmen, bazı dezavantajlarla da karşılaşabilirler. Öncelikle, hafif çelik yapılar geleneksel yapılarla kıyaslandığında başlangıç maliyeti açısından daha yüksek olabilirler. Çelik malzemenin maliyeti, beton veya ahşap gibi diğer yapı malzemelerinden daha yüksek olabilir. Ancak, uzun vadede enerji tasarrufu ve dayanıklılık gibi avantajlar göz önüne alındığında, bu maliyet farkı genellikle telafi edilebilir.

Bununla birlikte, hafif çelik yapıların montajı ve kurulumu için uzmanlık gerektiren bir işçilik gerektirebilir. Özellikle, doğru bağlantıların ve yapısal stabiliteyi sağlayacak detayların dikkatlice hesaplanması ve uygulanması önemlidir. Yanlış yapılmış bağlantılar veya eksik detaylar, yapısal zayıflıklara veya güvenlik sorunlarına yol açabilir.

Ayrıca, hafif çelik yapılar, yüksek sıcaklığa karşı direncin geleneksel yapı malzemelerine kıyasla daha düşük olabileceği bir dezavantaja sahiptir. Ancak, yüksek sıcaklık direncini artırmak için çeşitli tedbirler alınabilir, örneğin yüksek sıcaklığa dayanıklı kaplamaların kullanılması veya yangın söndürme sistemlerinin entegrasyonu gibi.

Hafif çelik yapılar, yüksek ses iletimi özelliği nedeniyle ses yalıtımı konusunda da bazı zorluklarla karşılaşabilirler. Bu, özellikle çok katlı yapılar veya yoğun ses kaynağına sahip ortamlar için önemli bir faktördür. Ancak, doğru yalıtım malzemelerinin kullanılması ve yapısal detayların optimize edilmesi ile bu sorunun üstesinden gelmek mümkündür.

1. GİRİŞ

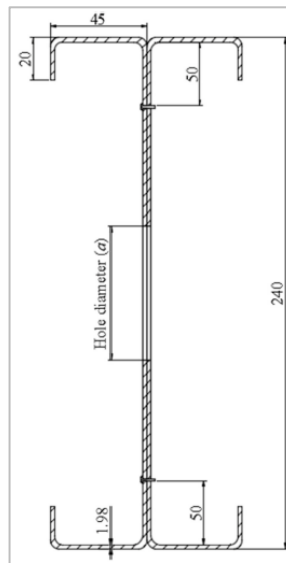
Son olarak, hafif elik yapılar, estetik açıdan bazı kısıtlamalarla karşılaşabilirler. Geleneksel yapı malzemeleri gibi doğal bir görünüm sağlamakta bazı zorluklar yaşayabilirler. Ancak, doğru tasarım ve dış cephe kaplama seçenekleri ile bu kısıtlamalar azaltılabilir.

Tüm bu dezavantajlar göz önüne alındığında, hafif elik yapılar, uygun koşullar altında, çeşitli avantajları nedeniyle hala tercih edilen bir yapı sistemidir. Ancak, tasarım, montaj ve kullanım aşamalarında dikkatli planlama ve uygulama gerektirirler.



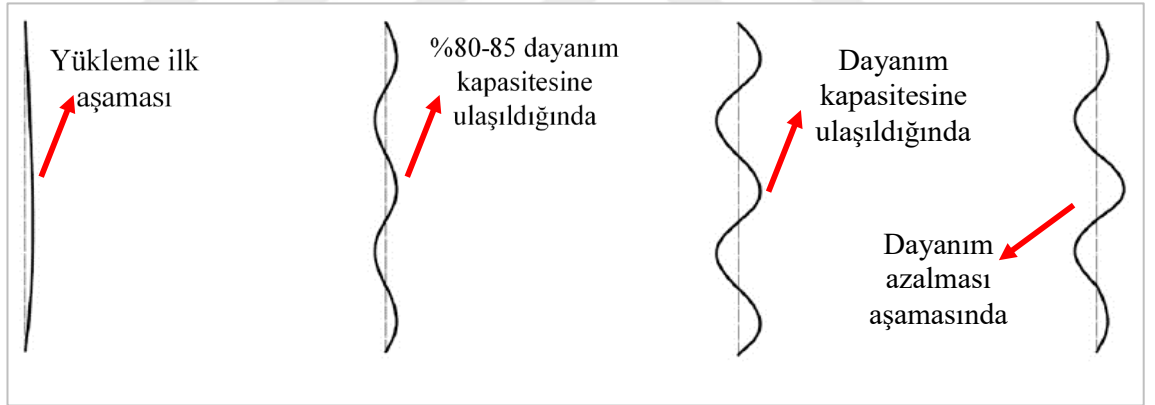
2. KAYNAK ÖZETLERİ

Fang (2022), bir yapı elemanı olarak kullanılan ve burkulma altındaki kolonlarda delikli kesitlerin davranışını ve taşıma kapasitesini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Sunulan çalışmada, araştırmacıların alüminyum BTB kanallarının eksenel mukavemetini değerlendirmek için yapılan deneyler ve analitik çalışmaların sonuçları sunulmuştur. Deneysel çalışmada U profilli iki adet kesit birbirine bağlanarak aralarındaki dairesel boşluğun etkisi değerlendirilmiştir. Şekil 2.1.' de Fang (2022) çalışmalarında ürettikleri deney numunesinin görseli sunulmuştur. 14 adet deney numunesi üzerinde eksenel yük uygulanmıştır. Bununla birlikte delik çapının derinliğe oranı, vida aralığı, kesit kalınlığı parametrelerinin davranışa etkisi de araştırılmıştır. Eksene dayanım kapasitesi, göçme modu, yük-eksenel kısalma ilişkisi ve yük-yanal deplasman ilişkisi araştırılmıştır. Ayrıca 720 adet numune üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sayısal bir çalışma da yürütmüşlerdir. Sayısal çalışmada dairesel delik boyutu, vida aralığı, kesit kalınlığı ve kolon boyunun etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda kesit kalınlığının eksenel dayanım kapasitesi üzerinde önemli bir etkisinin olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte kesit kalınlığının 0,5 mm' den 2,9 mm' ye arttırılması durumunda eksenel yük taşıma kapasitesi 12,04 kN' dan 180,52 kN' a kadar çıkmıştır. Bu sonuçtan da görüldüğü üzere kesit kalınlığının arttırılması eksenel yük taşıma kapasitesini yaklaşık olarak 15 kat arttırmıştır.



Şekil 2.1. Fang (2022) deneysel çalışmalarında kullandığı numune

Fan (2022) paslanmaz çelikten ürettikleri çelik kolonlar üzerinde eksenel yük uygulamak kaydıyla deneysel ve sayısal çalışma yürütmüşlerdir. Deneysel çalışma kapsamında 20 adet çelik kolon üretilmiş olup bu deney numunelerinde burkulma modu, burkulmadan sonraki davranış ve göçme modları parametrelerinin dayanım ve davranışa etkisi araştırılmıştır. Bununla birlikte çalışmada yük-deplasman ilişkisi, yük-şekil değiştirme ilişkisi ve yerel ve genel burkulma kapasitesi ilişkisi ele alınmıştır. Ayrıca burkulma kapasitesi, kalınlık, boyut etkisi ve narinlik parametreleri de sonlu eleman yöntemi ile sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışma sonucunda her eleman için, lineer elastik, lineer olmayan ve göçme modu olmak üzere yük-deplasman eğrisinde üç aşamanın gözlemlendiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda narinlik ve boyut etkisinin burkulma kapasitesi üzerinde önemli bir etkisinin olduğu vurgulanmıştır. Diğer yandan çalışmada deneysel ile sayısal çalışmalardan ve standartlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçların direkt dayanım metodu ile hesaplanan sonuçlar ile yeterli yakınlıkta olduğu belirtilmiştir. Şekil 2.2.' de deneysel çalışmada gözlemlenen ve eksenel yük altındaki numunelerin burkulma aşamaları görülmektedir.



Şekil 2.2. Fan (2022) deneysel çalışmasında eksenel yük altındaki numunelerin burkulma aşamaları.

Craveiro (2022) dört farklı şekilde çelik kolonda bırakılan dairesel boşlukların davranışa etkisini incelemişlerdir. Eksenel basınç altındaki C, U ve Σ şeklindeki çelik kolonlarda bağlantı elemanlarının etkisini deneysel, sayısal ve analitik olarak incelenmiştir. Farklı bileşenler arasındaki etkileşim ve bağlantı elemanları arasındaki boşluğun etkisi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ilgili bir narinlik aralığı için araştırılmıştır. Çalışma sonucunda bağlantı elemanları arasındaki mesafenin davranış üzerinde önemli bir etkisinin olduğu vurgulanmıştır. Bağlantı elemanları arasındaki

mesafenin burkulma yarı boyundan daha küçük olduğu durumlarda, üst üste binen bağlantı elemanlarının burkulma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmada elde edilen sonuçların ilgili standartlarla da karşılaştırılması yapılmıştır.

Roy (2018a) soğukta şekillendirilmiş elemanlarda sırt sırta birleştirilmesi ile oluşturulan numunelerin eksenel yük altındaki davranışını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında 60 adet deney numunesi eksenel yük altında test edilmiştir. Kolon deney numunelerinde kalınlık, uzunluk ve kesit alanı parametrelerinin göçme modları ve taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bununla birlikte deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlarla ile de karşılaştırılmıştır.

Chen (2020) öncelikle soğukta şekillendirilmiş çeliğin yapı sektöründe yaygın şekilde kullanılan bir malzeme olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar kenar takviyeli (*edge-stiffened*) ve kenar takviyesiz (*un-stiffened*) olmak üzere toplam 16 adet deneysel ve 199 adet sonlu elemanlar yöntemi sonucunda elde ettikleri sonuçları irdelemişlerdir. Beş adet kenar takviyeli boşluklu numunelerde eğilme momenti kapasitesinin %14,5 arttığını belirtmişlerdir. Kenar takviyesiz numunelerde ise benzer durumda eğilme momenti kapasitesinde %13,6 oranında azalma olduğu da belirtilmiştir.

Karthik (2022) kesit oranı ve plaka narinliğinin üç noktalı eğilme momenti altındaki dairesel boşluklu kirişlerin davranışına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Bununla birlikte Roy (2018b) sırt sırta birleştirilen çelik elemanların davranışını sonlu elemanlar yöntemi ile araştırmışlardır.

Chen (2020) dairesel boşluklu ve soğukta şekillendirilmiş eksenel basınç altındaki kolonlarda, berkitme uzunluğunun, kolon narinliğinin, dairesel delik çapının, dairesel deliğin konumunun, boşluklar arasındaki mesafenin ve şerit yarıçapının davranışa etkisini sonlu eleman yöntemi ile araştırmışlardır. Çalışma sonucunda boşluk çapının ve boşluklar arasındaki mesafenin eksenel yük taşıma kapasitesini azalttığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte boşlukların konumunun eksenel yük taşıma kapasitesi üzerinde ise önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Vladimir Zivaljevic (2022) incelemesi, gövde delikleri bulunan soğuk şekillendirilmiş çelik (CFS) elemanlarının kullanımının artması ve bunların optimize edilmesinin öneminin altını çiziyor. Son on yılda, ince duvarlı profillerin karmaşık davranışlarını anlama konusunda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Makale, bu profiller için mevcut tasarım yaklaşımları ve sayısal çözümleri özetlemekte ve deneysel testlerin, sayısal simülasyonların ve tasarım önerilerinin önemine vurgu yapmaktadır. Ancak, CFS kolon ve kirişlerdeki gövde deliklerinin etkilerini hesaba katmak için önerilen tasarım denklemleri ve yaklaşımlarında henüz bir fikir birliği yoktur. Şu anda, yalnızca Kuzey Amerika ve Avustralya/Yeni Zelanda tasarım yaklaşımları, bu elemanların hesaplamasını içermekte ve belirli yönergeler sunmaktadır. Bu alandaki tasarım yaklaşımlarının gelişimi, gelecekteki araştırmalara ve tasarım yaklaşımında sağlam bir fikir birliğine ulaşmaya bağlıdır. Araştırma, birleşik basınç ve eğilme gibi sık karşılaşılan mühendislik durumlarına daha fazla dikkat çekilmesi gerektiğini belirtiyor. Yerel burkulmaya yatkın kolonlar için yapılan deneysel sonuçlar, testlerin belirli incelik faktörlerine sahip üyeler üzerinde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, bu araştırma, gövde delikleri bulunan CFS elemanları üzerindeki bilgiyi özetlemekte ve gelecekteki araştırmalara odaklanılması gereken alanları belirlemektedir.

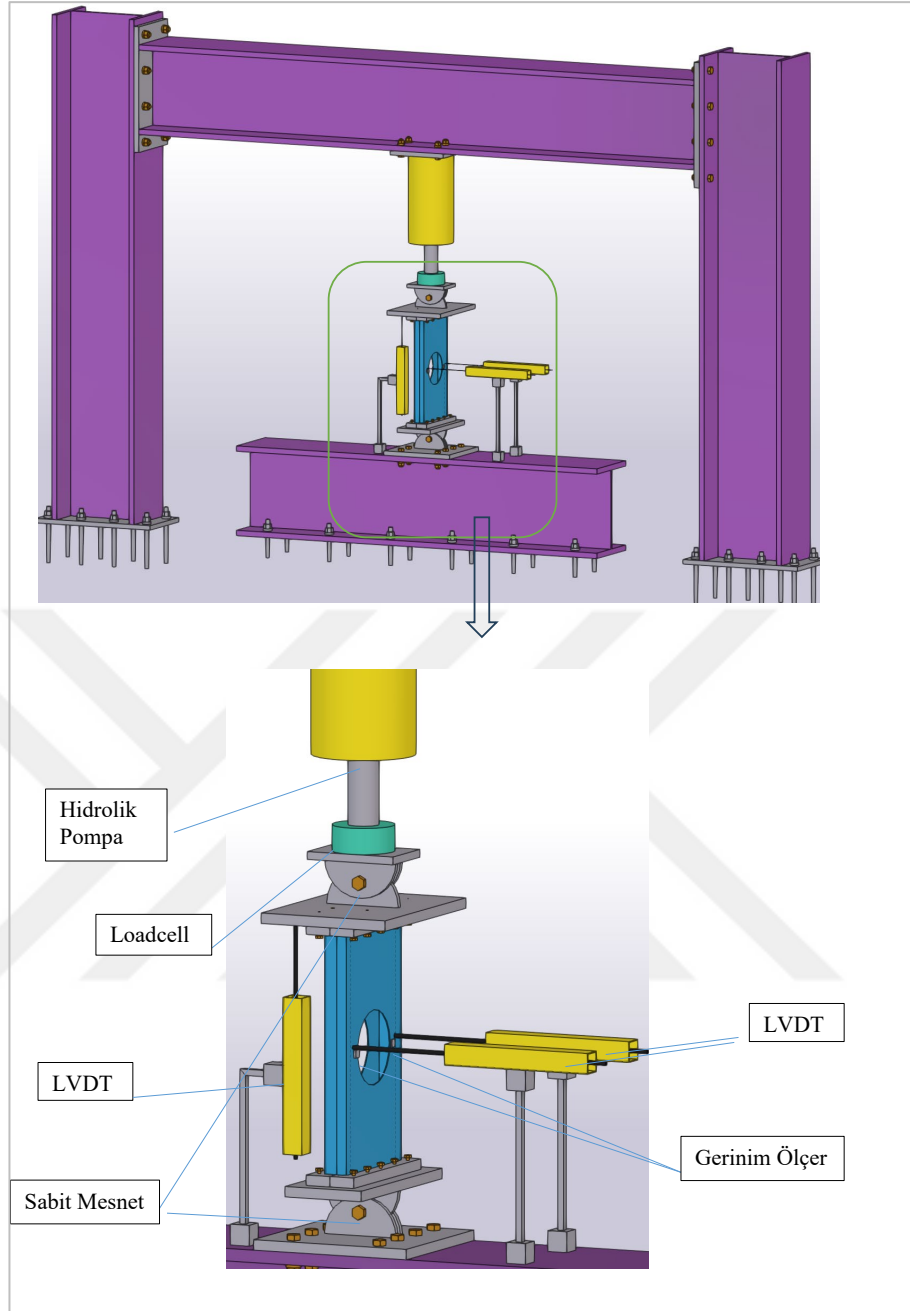
Shenggang Fan, paslanmaz çelik dudaklı C kesitli kolonlarda yerel-genel etkileşim burkulmasını incelemek amacıyla gerçekleştirilen bir dizi basınç testi ve sonlu eleman modelleme çalışmalarını içermektedir. Toplam 20 paslanmaz çelik kolon üzerinde yapılan testlerde burkulma modu, burkulma sonrası davranış ve hasar süreci incelenmiş; yük-yer değiştirme ve yük-gerinim eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca, burkulma kapasitesine etki eden başlangıç kusuru, narinlik, en-boy oranı ve kalınlık gibi parametreler araştırılmıştır. Sonuçlar, numunelerin yerel-genel burkulma modunda belli bir mukavemet gösterdiğini ve yük-yer değiştirme eğrisinin üç aşamadan oluştuğunu göstermiştir. Testler ve sayısal analiz sonuçları, mevcut standartların doğruluğunu değerlendirmiş ve doğrudan mukavemet yönteminin bu tür kolonların burkulma kapasitesini doğru bir şekilde tahmin ettiğini ortaya koymuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Yöntem ve Deney Düzenegi

Deney düzenegi, çelik kolonların sabit mesnetlere yerleştirildiği bir düzeni içerir. Bu mesnetlerden biri, yere sabitlenmiş bir çelik kirişe bağlıdır, diğeri ise hidrolik pompanın ucuna bağlıdır. Deneyin başlangıcında, veri toplama sensörleri sisteme bağlanır. Bu sensörler arasında 3 adet LVDT (Linear Variable Differential Transformer) ve 2 adet strain gauge bulunmaktadır. Ayrıca, hidrolik pompanın pistonunun ucunda bir loadcell (yük hücresi) bulunmaktadır. Deney düzenegi Şekil 3.1 görülmektedir.

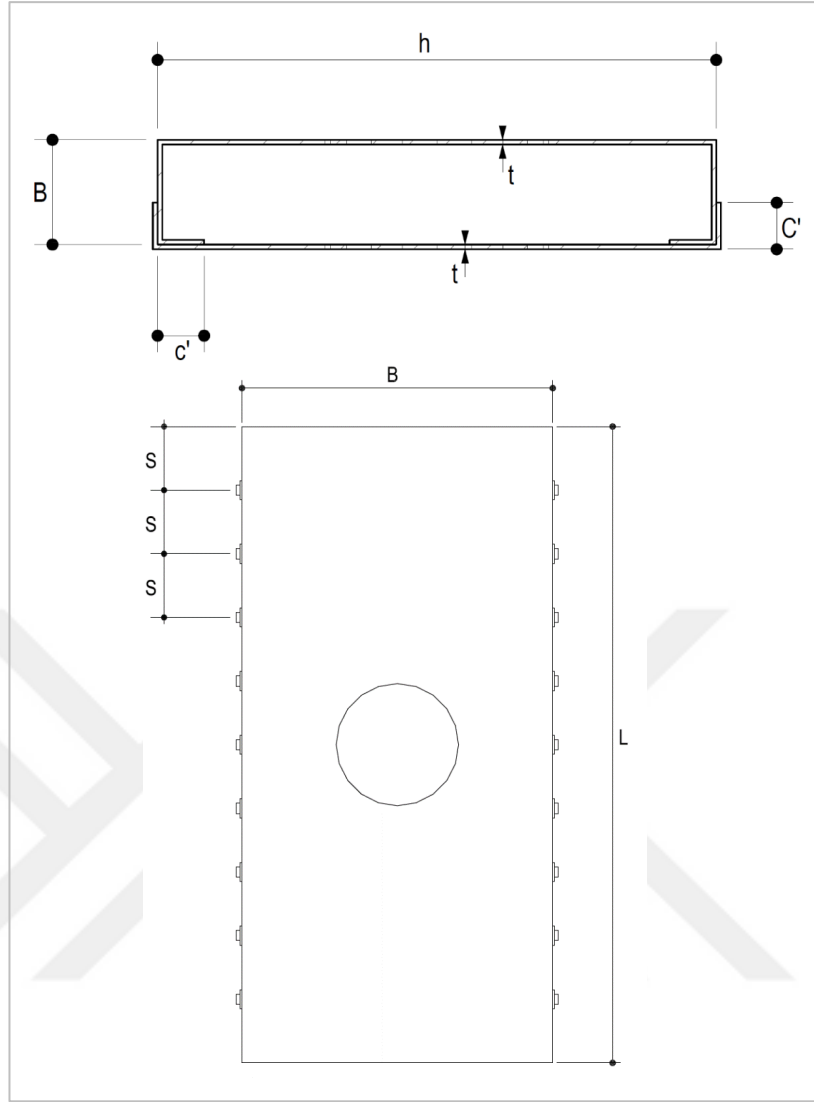
Deney, hidrolik pompanın çalıştırılmasıyla başlar. Hidrolik pompa, kolona eksenel basınç uygulamak için kullanılır. Bu basınç, kolonun deformasyona uğramasına ve bu süreçte meydana gelen değişikliklerin incelenmesine neden olur. Hidrolik pompanın pistonu, kolona basınç uyguladıkça, load cell aracılığıyla uygulanan kuvvet ölçülür. Aynı zamanda, LVDT'ler ve strain gauge'ler, kolonun deformasyonunu ölçmek için kullanılır. LVDT'ler, kolonun uzunluğundaki değişiklikleri hassas bir şekilde ölçerken, strain gauge'ler, kolonun üzerine etki eden gerilimi ölçer.



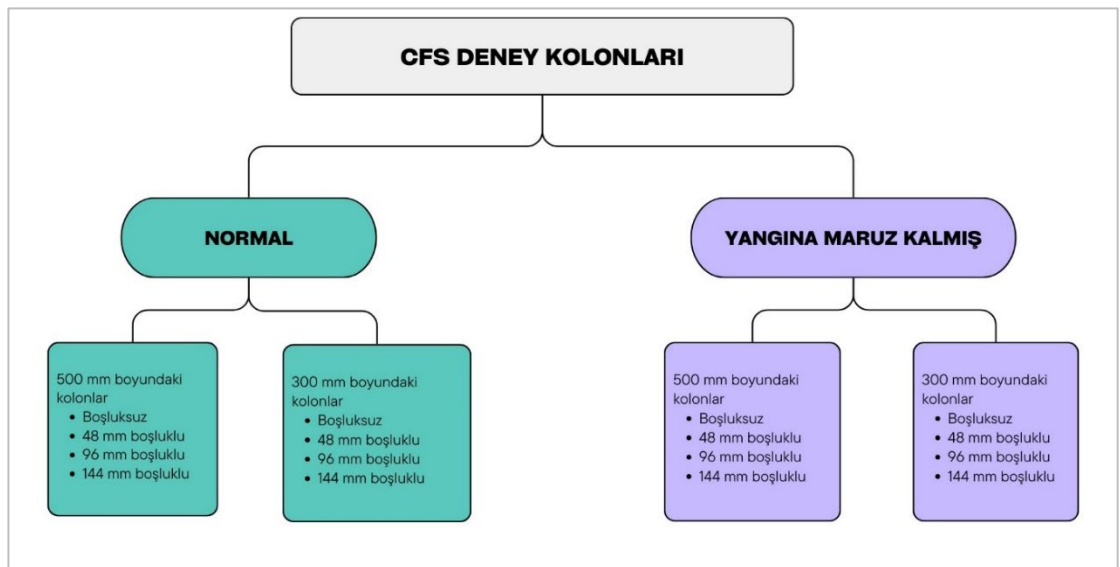
Şekil 3.1. Deney düzeneği

3.2. Deneysel Çalışmalar ve Numuneler

Bu tez çalışmamızda gövdesinde farklı çaplarda dairesel boşluklu ve boşluksuz 2 mm kalınlıktaki yüz yüze kapaklanmış soğuk çekme çelikten üretilmiş kolonların aksel yük altında normal ve yüksek sıcaklığa maruz kalmış durumlarındaki yerel ve yerel burulmalı burkulma davranışı incelenmiştir. Şekil 3.2’de en kesit detayları verilen CFS kolonlardan toplamda 16 adet numune mevcuttur. Bu 16 adet deney numunesi Şekil 3,3’deki gibi şematize edilmiştir.

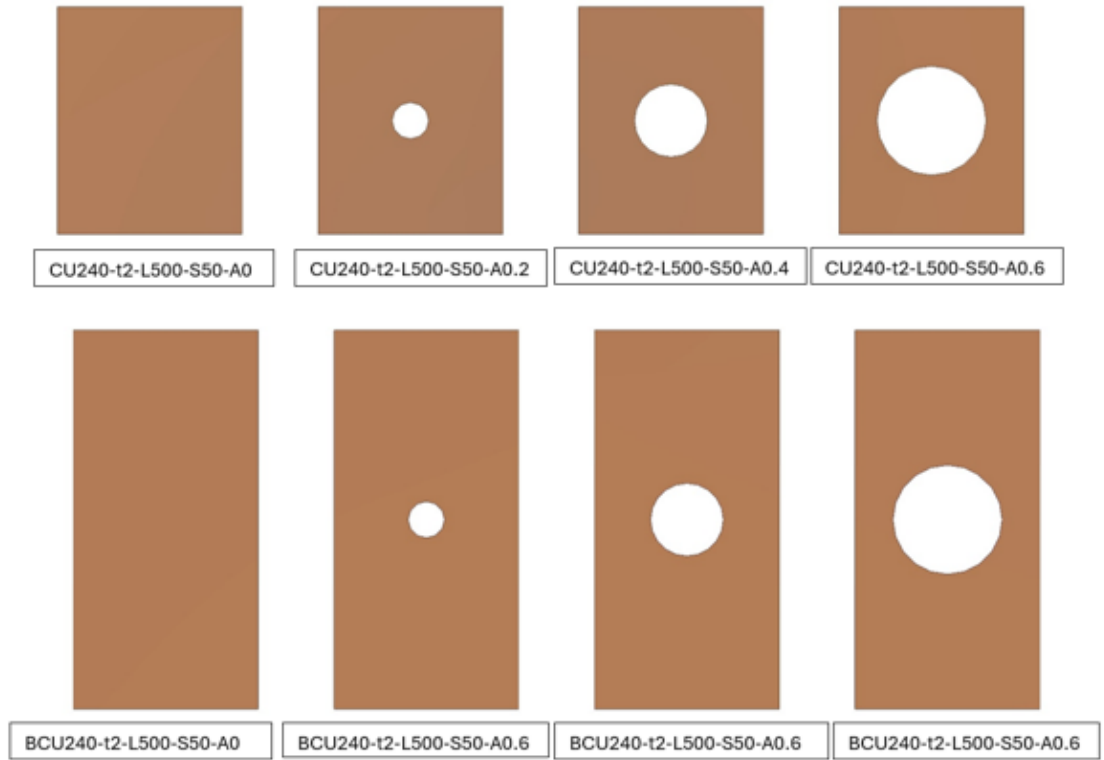
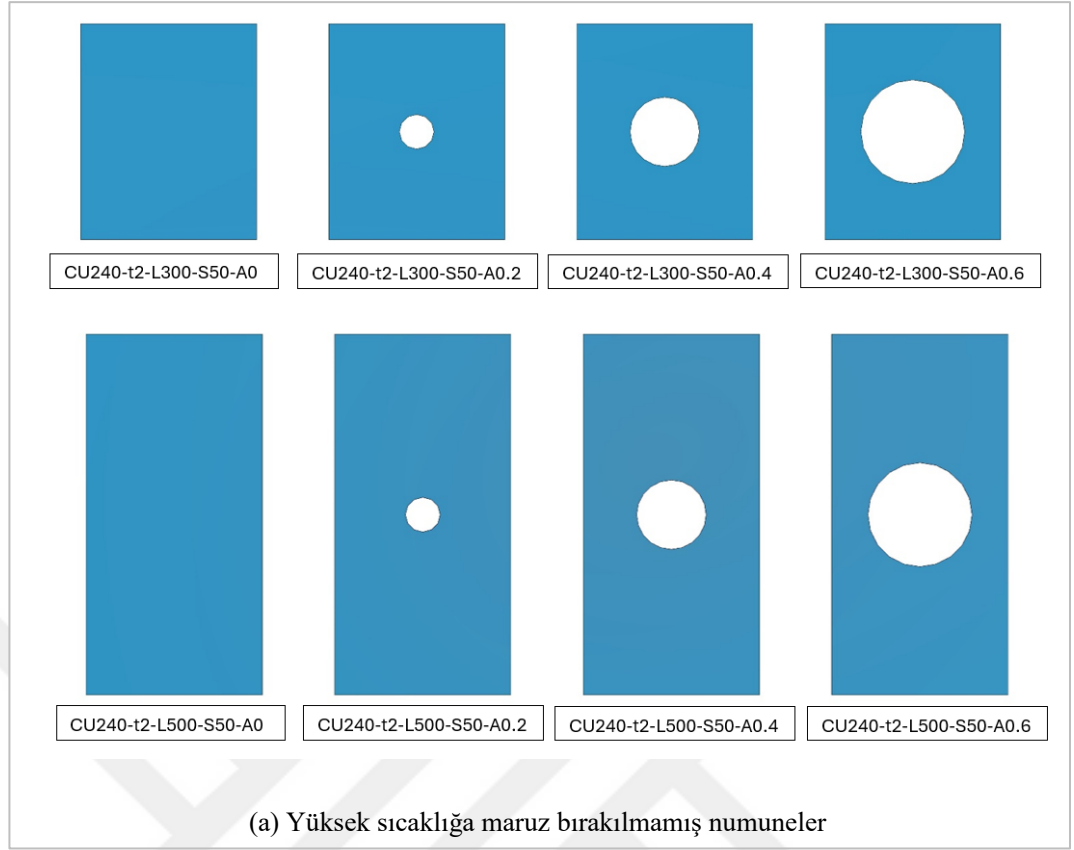


Şekil 3.2. Numune en kesiti ve ön görünüşü



Şekil 3.3. Deney numunelerinin grup şematifi

Deney numunelerinin geometrik şekilleri ise Şekil 3.4’ de sunulmuştur. Şekil 3.4a’ da yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış deney numuneleri görülmektedir. Bu grupta toplam sekiz adet deney numunesi bulunmaktadır. Bu deney numunelerinden dört adedinin boyu 500 mm, diğer dört adedinin boyu ise 300 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca her iki grupta da bir adet referans numunesi oluşturulmuştur. Yani her iki grupta da boşluksuz bir adet numune referans olması açısından tasarlanmıştır. 500 mm ve 300 mm boyundaki numunelerde üç adet de boşluklu numune tasarlanmış olup deney numunesinin gövdesinde bırakılan boşluğun performansa etkisinin deneysel olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Deney numunelerinde boşluğun kesitin %20, %40 ve %60’ ına denk gelecek şekilde boşluklar bırakılmıştır. Böylece deney numunesinin gövdesinde açılan boşluk oranının performans üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Buradaki bir diğer hedef ise özellikle inşaat saha uygulamalarında kolon, kiriş veya perde duvar gibi çelik yapı elemanlarında mimari vb. durumlardan dolayı bırakılan boşluklar için bu çalışmada elde edilen verilerin bir ışık kaynağı olmasıdır. Bu çalışmadan elde edilen deneysel veriler ile yapı elemanlarında bırakılan boşlukların performans üzerindeki etkisinin mühendis ve tasarımcılara yol göstermesi açısından değerlidir. Deneysel çalışmada diğer grup ise yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış gruptan oluşmaktadır. Bu gruptaki deney numunelerinde de boyut etkisi için 500 mm ve 300 mm boyutları ile boşluk oranının etkisi için de kesitin %20, %40 ve %60’ oranında boşluklar bırakılmıştır. Özellikle yüksek sıcaklıktan sonra numunelerin performansı üzerinde boyut ve boşluk oranı etkisi incelenmek hedeflenmiştir. Şekil 3.4.a ve b’ de deney numunelerinin isimlendirilmeleri de sunulmuştur. Deney numunelerinin isimlendirilmesinde özellikle deney parametreleri belirleyici olmuştur. Deney numuneleri isimlendirilirken yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış numuneler “CU” harfleri ile gösterilmiştir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler ise “BCU” harfleri ile gösterilmiştir. “t” harfi ise numunelerin kalınlıklarının gösterilmesinde kullanılmıştır. “L” ile numunenin boyu 500 mm veya 300 mm olmak üzere gösterilmiştir. “S” harfi ile iki vida arasındaki 50 mm olan mesafe temsil edilmiştir. “A” harfi ile numunenin gövdesindeki boşluğun oranı (0: boşluksuz; 0.2: %20 boşluklu; 0.4: %40 boşluklu ve 0.6: %60 boşluklu olmak üzere) gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deney numunelerinin grup şematığı

Çizelge 3.1’ de deney numunelerinin parametreleri sunulmuştur. Çizelge 3.1’ den görüldüğü üzere numunelerin isimlendirilmesi ve o numuneye ait parametreler sunulmuştur. Deney numuneleri yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış (CU) ve yüksek sıcaklık etkisindekiler (BCU) olmak üzere iki temel gruba ayrılmıştır. Tüm deney numuneleri C ve U profillerinden oluşturulmuştur. Yine tüm deney numunelerinin kalınlığı ($t=2$ mm), profil eni ve genişliği ($h= 240$ mm ve $B= 45$ mm) ve profil bindirme boyu ($C'= 20$ mm) tüm sabit alınmıştır. Diğer deney parametreleri ise çizelgede sunulmuştur.

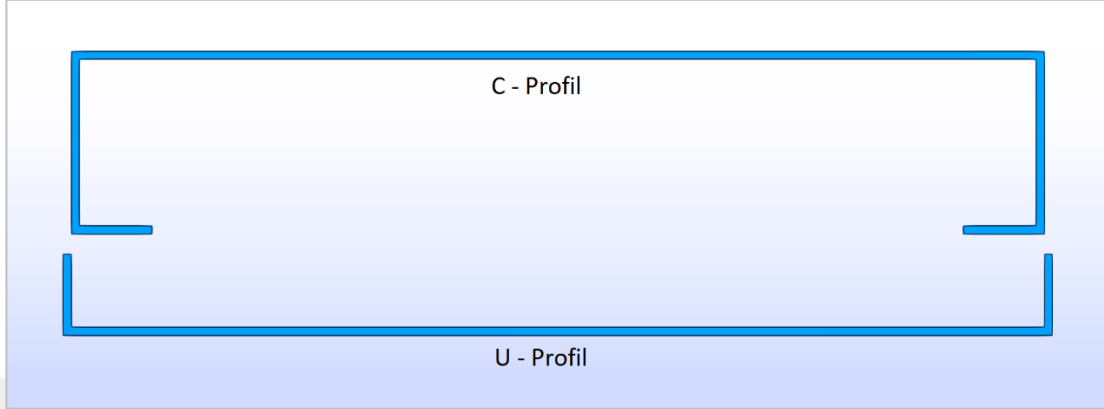
Çizelge 3.1. Numune boyutları

Numuneler	h	B	L	C'	t	S	a
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
CU240-t2-L300-S50-A0	240	45	300	20	2	50	0
CU240-t2-L300-S50-A0.2	240	45	300	20	2	50	0,2
CU240-t2-L300-S50-A0.4	240	45	300	20	2	50	0,4
CU240-t2-L300-S50-A0.6	240	45	300	20	2	50	0,6
CU240-t2-L500-S50-A0	240	45	500	20	2	50	0
CU240-t2-L500-S50-A0.2	240	45	500	20	2	50	0,2
CU240-t2-L500-S50-A0.4	240	45	500	20	2	50	0,4
CU240-t2-L500-S50-A0.6	240	45	500	20	2	50	0,6
BCU240-t2-L300-S50-A0	240	45	300	20	2	50	0
BCU240-t2-L300-S50-A0.2	240	45	300	20	2	50	0,2
BCU240-t2-L300-S50-A0.4	240	45	300	20	2	50	0,4
BCU240-t2-L300-S50-A0.6	240	45	300	20	2	50	0,6
BCU240-t2-L500-S50-A0	240	45	500	20	2	50	0
BCU240-t2-L500-S50-A0.2	240	45	500	20	2	50	0,2
BCU240-t2-L500-S50-A0.4	240	45	500	20	2	50	0,4
BCU240-t2-L500-S50-A0.6	240	45	500	20	2	50	0,6

Deney numuneleri, 2 ayrı çekme çeliği profillerinin yüz yüze kapaklanması sonucunda elde edilmiştir. Bunlar biri U profil piyasada anılan şekil olarak da U harfini

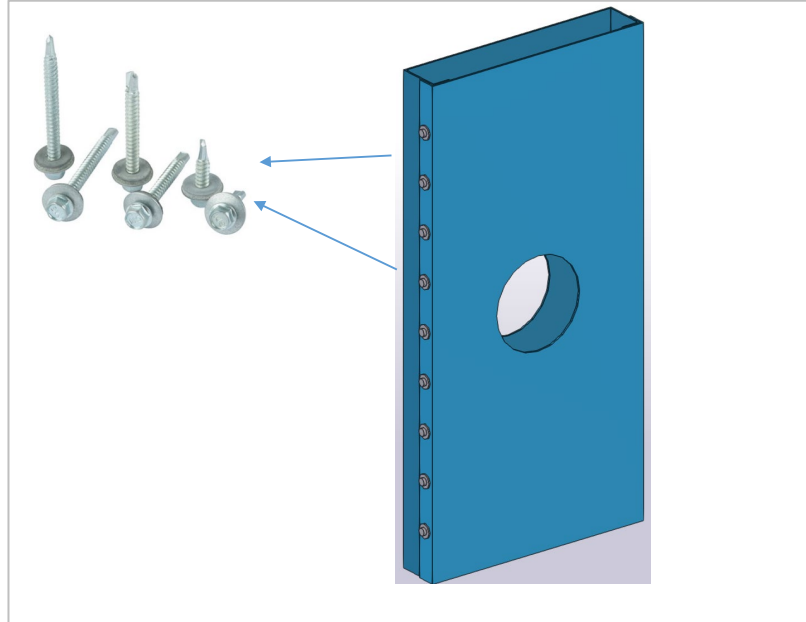
3. MATERYAL ve YÖNTEM

andıran profildir. Bir diğeri de piyasada C profil olarak anılan U profilden farklı olarak içe doğru kıvrımlı kulakçıkları olan profildir. Bu iki profil Şekil 3.5’ de gösterildiği gibi birleştirilmiştir.



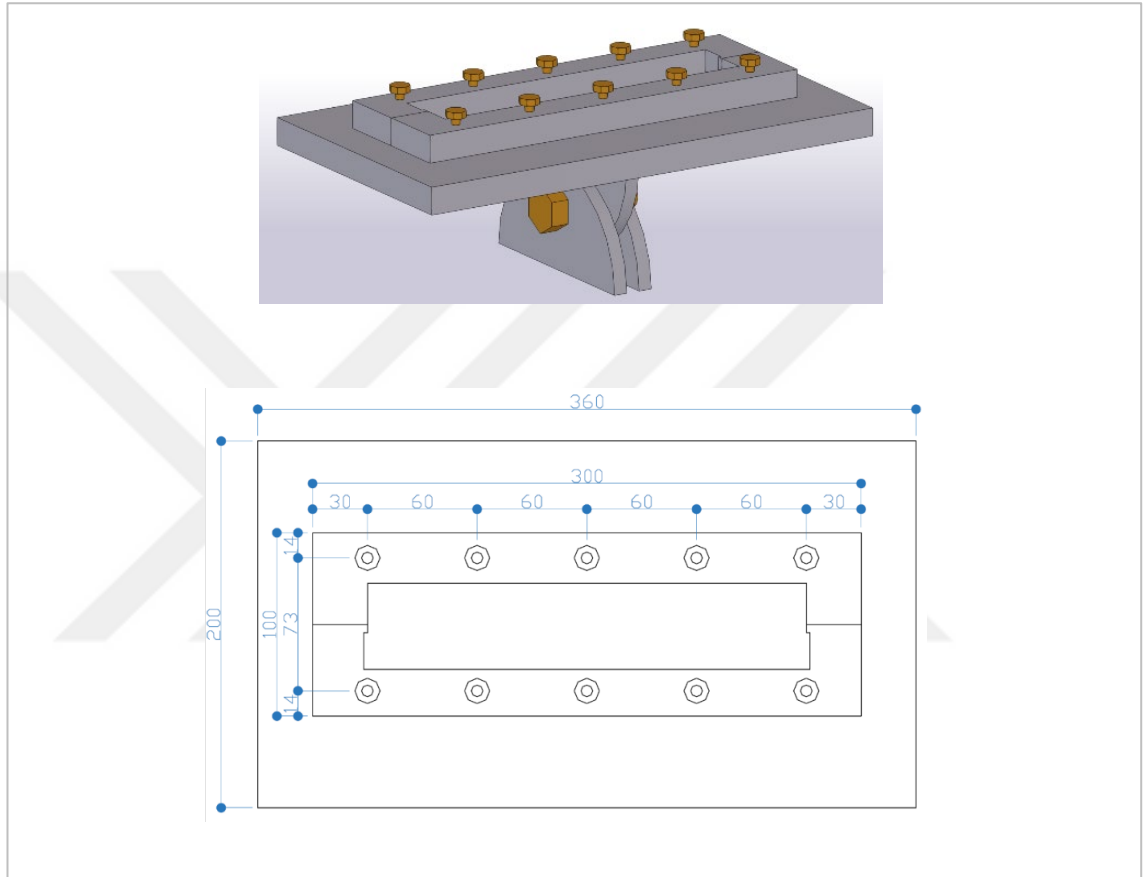
Şekil 3.5. Numunelerin ayrık halleri

Bu birleşimi sağlamak için 50 mm aralıklarla akıllı vidalar kullanılmıştır. Bu akıllı vidalar 10 mm başlıklı, 5,5 mm çapında gövde kalınlığına sahip ve boyları ise 50 mm’dir. Profiller arasında boşluk kalmaması ve vidanın deney esnasında gevşemesini minimum seviyeye düşürmek için pullar kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Cıvata düzeni

Eksenel basınç deneyi sırasında kolonların uçlarından sabit tutulması ve hidrolik pompa tarafından yükleme devam ettiği sürece kolonun iki ucunun da yüklemeyi karşılayabilmesi için CFS kolonlarının en kesit alanı miktarınca ve Şekil 3.7’ de gösterildiği gibi bir yuva teşkil edilmiştir. Ayrıca mesnet detayları da Şekil 3.7’ de sunulmuştur.



Şekil 3.7. Mesnet detayları (tüm birimler mm’ dir)

3.3. Deneyde Kullanılan Araç Gereçler

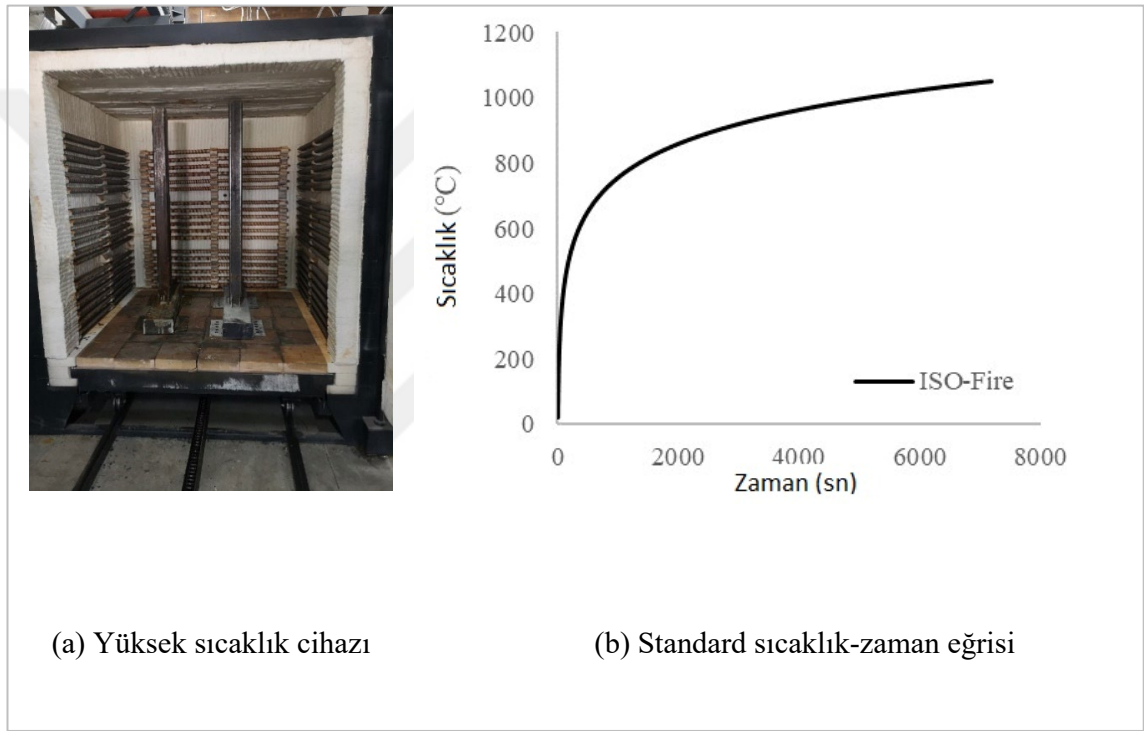
Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış gövde boşluksuz ve değişken gövde boşluklu soğuk çekme çelik kolonların eksenel basınç altındaki davranışları bu tez çalışmasının hedeflerinden birisidir. Dolayısıyla bu hedef doğrultusunda 8 adet numuneyi yüksek sıcaklık cihazında önceden belirlenmiş yüksek sıcaklıklara maruz bırakarak yangın etkilerini simüle edildi. Sonrasında numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Tüm numunelere 120 dakika boyunca yüksek sıcaklık etki ettirilmiştir. Numunelere etki ettirilen yüksek sıcaklık prosedürü “ISO834, Eurocode 1: Actions on structures-Part 1-2:

3. MATERYAL ve YÖNTEM

General actions- Actions on structures exposed to fire” olarak seçilmiştir. Bu prosedür gereği kullanılan standart ısı zaman denklemi:

$$\Theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Denklemde “ Θ_g ” yüksek sıcaklık odasındaki gaz sıcaklığı, “ t ” ise zamanı temsil etmektedir. Denklemde yüksek sıcaklık-zaman eğrisi ve yüksek sıcaklık cihazı Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Yüksek sıcaklık cihazı ve deneysel çalışmada uygulanan sıcaklık-zaman ilişkisi.

Lineer değişken transformatör veya kısaca LVDT, bir dış kuvvet veya nesnenin doğrusal mekanik durumu hakkında doğru ve sürtünmesiz konumsal geri bildirim bilgisini sağlayan bir elektromekanik sensördür. Deneyde aksenal basınç altında şekil değiştiren numunelerin zaman içerisindeki şekil değiştirme davranışlarını bu cihaz sayesinde elde edildi. Deney sırasında LVDT elde etmiş olduğu verileri, veri kaydetme sistemine ileterek verilerin kaydedilmesini sağlamaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan LVDT’ ler 0,001 mm hassasiyetinde ve 500 mm kapasitesindedir. Deneysel çalışmada kullanılan LVDT’ ler Şekil 3.9’ da sunulmuştur.



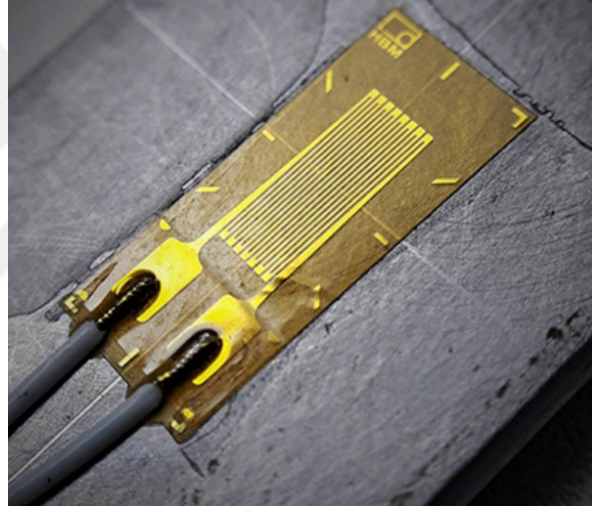
Şekil 3.9. Deneysel çalışmada kullanılan LVDT' lerin görüntüsü

Loadcell, bir kuvvetin (yükün) bir yapı veya cihaz üzerine uygulanmasıyla ortaya çıkan gerilimi ölçen bir sensördür. Yük hücresi olarak da bilinen loadcell'ler genellikle kuvvetin etkisi altındaki malzemenin elektriksel direncinde meydana gelen değişiklikleri kullanarak çalışır. Bu değişiklikleri algılayarak elektriksel bir sinyale dönüştürürler ve bu sayede uygulanan kuvvetin miktarını ölçerler. Günümüzde yapısal mühendislik ve yapısal testlerde, kolonlara aksenal yüklemelerin doğru bir şekilde ölçülmesi kritik öneme sahiptir. Bu noktada deneylerde de yüklemelerin ölçümlerinde bu cihazdan faydalanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan yük hücresi (loadcell) Şekil 3.10' da sunulmuştur.



Şekil 3.10. Deneysel çalışmada kullanılan Loadcell görüntüsü

Strain gage, bir nesnenin mekanik gerilimini ölçmek için kullanılan bir tür sensördür. Bu sensörler, genellikle metal veya metal alaşımlarından yapılmış ince tel veya film tabakalarından oluşur. Bu tel veya film, nesne üzerine yapıştırılır veya monte edilir ve nesne üzerindeki gerilmeye maruz kaldığında değişen elektriksel direnci ölçer. Strain gage'ler, genellikle bir nesnenin yüzeyine yapıştırılarak veya monte edilerek kullanılır. Nesne üzerindeki gerilme veya deformasyon arttıkça, strain gage üzerindeki elektriksel direnç değişir. Bu değişim, gerilme veya deformasyon miktarını doğrudan ölçmek için kullanılabilir. Bu amaçla deney esnasında LVDT olabildiğince yakın olarak konumlandırılan ve numunelerde maksimum şekil değiştirmenin beklenildiği noktalara strain gage'ler yardımı ile gerilim ve deformasyonlar ölçülmüştür. Deneysel çalışmada numunelere yapıştırılan strain gauge görüntüsü Şekil 3.11' de sunulmuştur.



Şekil 3.11. Deneysel çalışmada kullanılan Strain gage görüntüsü

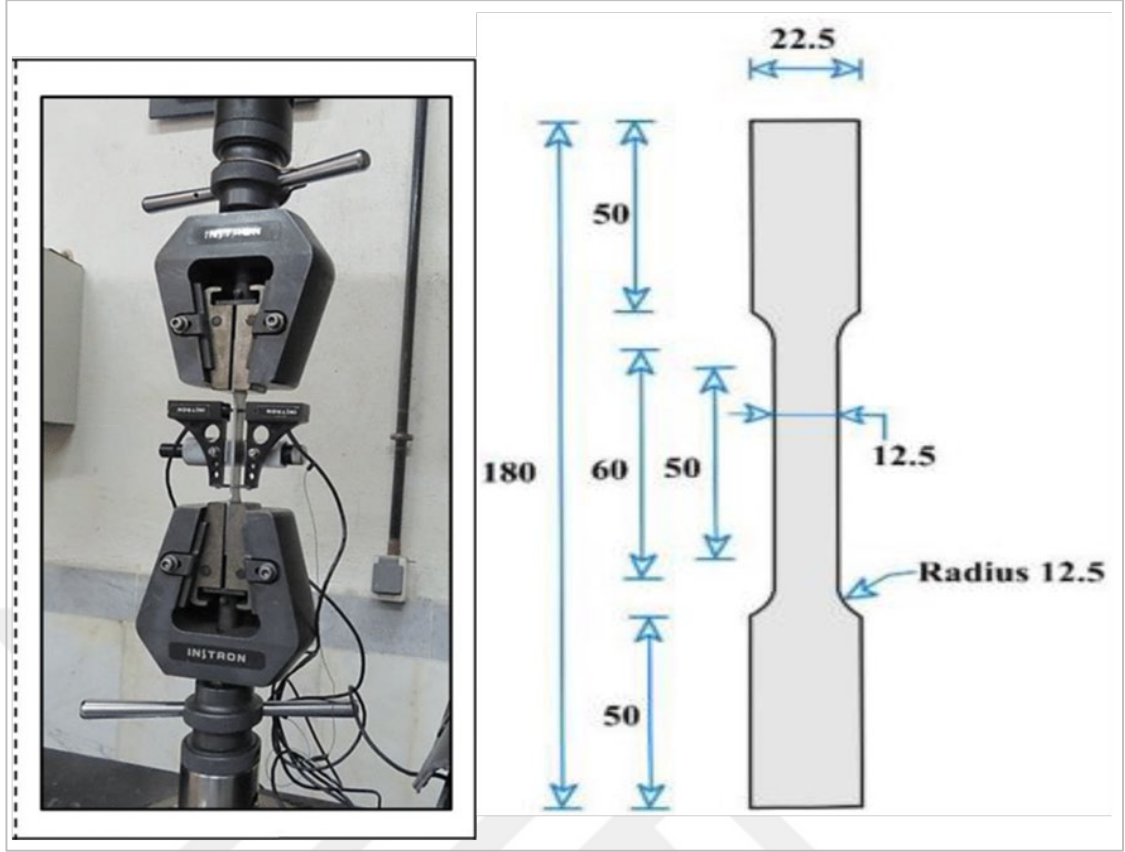
Hidrolik pompalar, hidrolik sıvı kullanarak mekanik enerjiyi hidrolik basınca dönüştüren ve bu basıncı kontrol edilebilir şekilde ileten mekanik cihazlardır. Yapısal deneylerde kolonları deformasyona maruz bırakmak için hidrolik pompalar, güçlü ve hassas yükleme sağlayan kritik bir bileşendir. Hidrolik pompalar, sıvı basıncını kullanarak büyük kuvvetlerin transferini kolaylaştırırken, aynı zamanda kontrol edilebilir ve hassas yük uygulamasını mümkün kılar.

Veri toplama ve kaydetme sistemi, deneyde kullanılan LVDT, gerinim ölçer ve hidrolik pompa gibi cihazların elde etmiş olduğu verileri toparlayıp bilgisayara bir çıktı olarak sunan sistemdir. Deney düzeneği ve numuneler eksiksiz hazırlandıktan sonra deneye başlamadan hemen önce bu cihazla kayda başlanır. Numunelere yerleştirilmiş sensörlerden veriler toplanmaya başlanır. Deneyin nihayete ulaşması sonrasında kayıt cihazı durdurulur ve toplanmış olan veriler bilgisayara çıktı olarak aktarılır.

3.4. Malzemenin Mekanik Özellikleri ve Çekme Deneyi

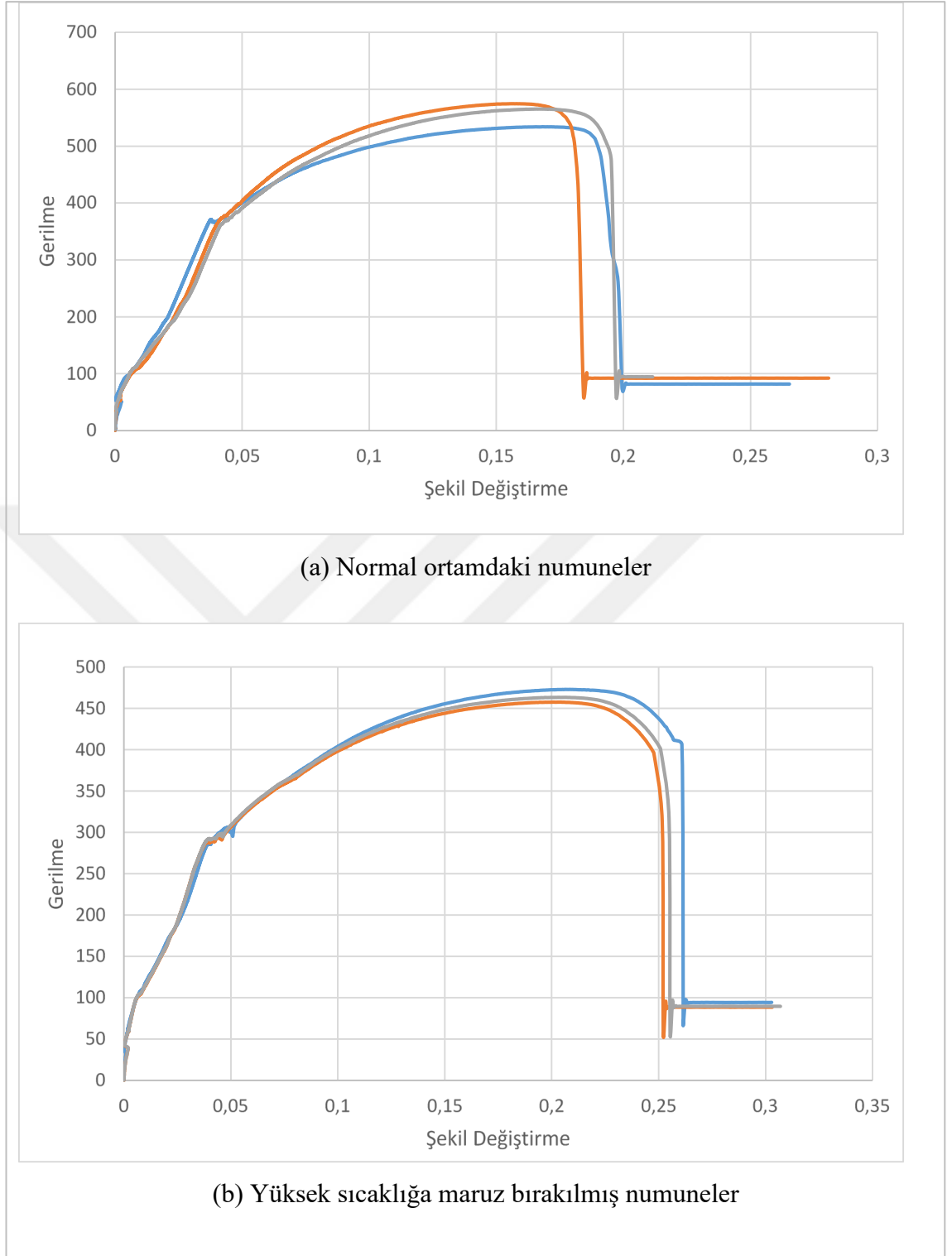
Numune çekme deneyleri, malzemelerin çekme mukavemetini değerlendirmek için yapılan bir dizi deneylerdir. Bu deneyler, malzemenin dayanıklılığını, elastikiyetini ve kırılma davranışını anlamak için önemlidir.

Numuneler genellikle belirli geometrik özelliklere sahip olmalıdır ve standart boyutlarda kesilmelidir. Numunelerin düzgün bir şekilde hazırlanması ve yüzeylerinin düzgün olması önemlidir, böylece deney sonuçları güvenilir olur. Çekme deneyleri genellikle bir çekme makinesinde gerçekleştirilir. Bu makineler, numunenin her iki ucuna sabit bir yük uygulayabilen ve numune üzerinde kontrollü bir şekilde gerilim oluşturabilen bir sistem içerir. Numune, test makinesinin mandalına veya kelepçesine bağlanır ve sabit bir yük uygulanır. Ardından, numunenin diğer ucuna sabit bir hızda çekme kuvveti uygulanır. Bu kuvvet, numunenin boyunca gerilmeye neden olur ve numune uzamaya başlar. Deney sırasında gerilme ve uzama değerleri kaydedilir. Bu veriler, gerilme-uzama grafiği olarak adlandırılan bir grafikte gösterilir. Numune kırılana kadar veya maksimum gerilme mukavemetine ulaşana kadar çekme işlemi devam eder. Numune çekme deneyi sonuçları, malzemenin maksimum gerilme mukavemeti, kopma noktası, elastik limit ve diğer mukavemet özelliklerini belirlemek için kullanılır. Gerilme-uzama grafiği, numunenin davranışını ayrıntılı bir şekilde gösterir. Bu grafik, malzemenin elastik bölgesini, plastik deformasyon bölgesini ve nihai kırılma noktasını gösterir. Şekil 3.12’ de çekme testi cihazı ve çekme testi için kullanılan numunenin geometrik parametreleri sunulmuştur.



Şekil 3.12. Çekme testi ve çekme testi numunesi geometrisi (tüm birimler mm' dir.)

Deneyde kullanılan 2 mm et kalınlığındaki yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve normal numunelerden üçer adet örnek alınmıştır. Şekil 3.12'de gösterildiği gibi çekme deneyine uygun forma getirilerek çekme deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçlar analiz edilerek grafik haline getirilerek gösterilmiştir. Şekil 3.13' de yüksek sıcaklık etkisindeki ve normal numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur.



Şekil 3.13. Numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri

Çizelge 3.2.' de üç adet örneğin gerilme-şekil değiştirme sonuçları sunulmuştur. Üç adet numune için de çekme dayanımı ve akma dayanımı sonuçları sunulmuştur. Hem normal hem de yüksek sıcaklığa maruz kalmış numunelerden alınan üç adet numunenin sonuçları çizelgede sunulmuştur. Çizelgeden de görüldüğü üzere numunelerin yüksek

sıcaklığa maruz bırakılması hem çekme dayanımı hem de akma dayanımı üzerinde önemli azalmaya neden olmuştur. Deney numunelerinin yüksek sıcaklığa maruz bırakılması çekme dayanımını %22,87 ve akma dayanımını ise %23,38 oranında azaltmıştır. Bu durumun nedeni, yüksek sıcaklık değerlerinde çelik malzemesinde atomlar arasındaki bağların zayıflamasından kaynaklanmaktadır. Atomlar arasındaki bağın zayıflamasından dolayı dislokasyon hareketliliği de artmıştır. Bu sebepten dolayı da deney numunelerinin plastik deformasyon kapasitesi artmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklıktan dolayı deney numunelerinin tane sınırlarında kaymalar ve buna bağlı olarak da mikroyapının bozulmalar meydana gelmiştir. Bu nedenlerden dolayı da yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin çekme ve akma dayanımları azalmıştır.

Çizelge 3.2. Numunelerin çekme ve akma dayanım değerleri

	Dayanım (Mpa)	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama
Normal Numuneler	Çekme Dayanımı f_u (N/mm ²)	641,81	590,24	579,57	603,87
	Akma Dayanımı f_y (N/mm ²)	530,37	493,69	483,00	502,35
Yüksek Sıcaklığa Maruz Numuneler	Çekme Dayanımı f_u (N/mm ²)	473,06	457,72	466,45	465,74
	Akma Dayanımı f_y (N/mm ²)	390,92	378,24	385,45	384,87

4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu deneyde, toplam 16 numuneden oluşan iki ayrı grup incelenmiştir. Bu gruplardan biri normal koşullarda tutulurken diğeri yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Her bir grupta dördü 300 mm ve dördü 500 mm boyunda olmak üzere toplam sekiz numune bulunmaktadır. Bu numuneler, yüz yüze birleştirilmiş U ve C profillerinden oluşan yapılar içermektedir. Numunelerin gövdelerinde, en kesit genişliğine oranla %0, %20, %40 ve %60 boşluklar mevcuttur. Deneyde, hidrolik pompa yardımıyla eksenel basınç uygulanmış ve numunelerde oluşan şekil değişimi, gerilmeler ve uygulanan yükler gibi veriler, LVDT ve strain gauge gibi sensörler kullanılarak kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler, gövdedeki boşluk oranlarının dayanıma etkisi, yerel ve yerel burulmalı burkulmaya etkisi gibi konuları incelemek üzere toplanmıştır. Bu sonuçlar, numuneler arasında karşılaştırmalı analizler yapmak için kullanılmıştır. Bu tezin amacı, yapısal dayanıklılığın boşluk oranlarına ve yüksek sıcaklık etkisine nasıl yanıt verdiğini anlamak ve bu bilgilerin mühendislik uygulamalarında nasıl kullanılabileceğini belirlemektir.

DeneySEL çalışmadan elde edilen veriler tezin amacı doğrultusunda ve numunelerin birbirleri ile karşılaştırılması ile ele alınmıştır. Deney numunelerinin karşılaştırılması yapılırken boy etkisi, boşluk oranı ve yüksek sıcaklığın deney sonuçlarına etkisi ele alınmıştır. Bu sebepten dolayı deney sonuçları üç başlık altında irdelenmiştir. İlk olarak boy etkisinin davranışa etkisi incelenmiştir. Bu başlık altında normal ortamda ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılan 300 mm ve 500 mm boyundaki numunelerin karşılaştırılması yapılmıştır. İkinci olarak boşluk oranının davranışa etkisi ele alınmıştır. Bu numuneler arasında da karşılaştırma yapılırken normal ortamdaki ve yüksek sıcaklığa maruz kalan numuneler kendi aralarında değerlendirilmiştir. Üçüncü başlık da ise yüksek sıcaklık etkisi araştırılmıştır. Bu başlıkta da 500 mm ve 300 mm boyundaki numunelerin davranışları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Son olarak ise numunelerin göçme modlar ve deneylerden sonraki fotoğrafları sunulmuştur.

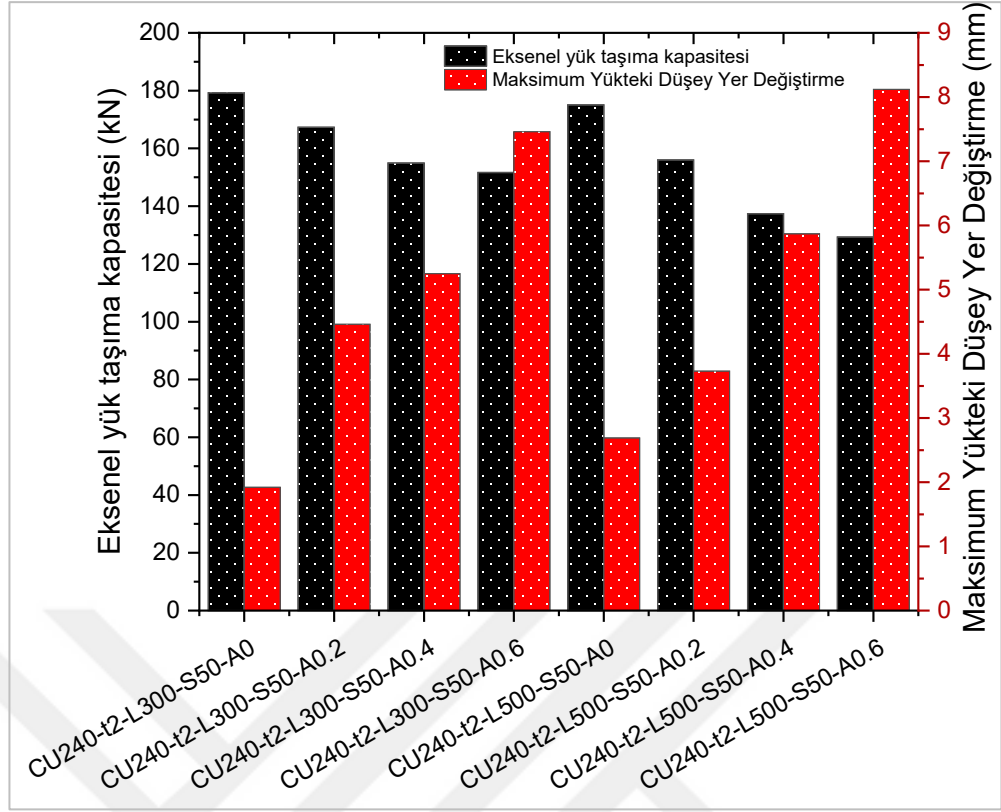
Öncelikle deney numunelerinin eksenel yük taşıma kapasiteleri ve maksimum yüke karşılık gelen deplasman değerleri Çizelge 4.1’de ve Şekil 4.1, Şekil 4.2’de sunulmuştur. Çizelge ve şekillerden görüldüğü üzere deney parametrelerinin (boy, boşluk oranı ve yüksek sıcaklık etkisi) numunelerin eksenel yük taşıma kapasitesi üzerinde etkili

4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

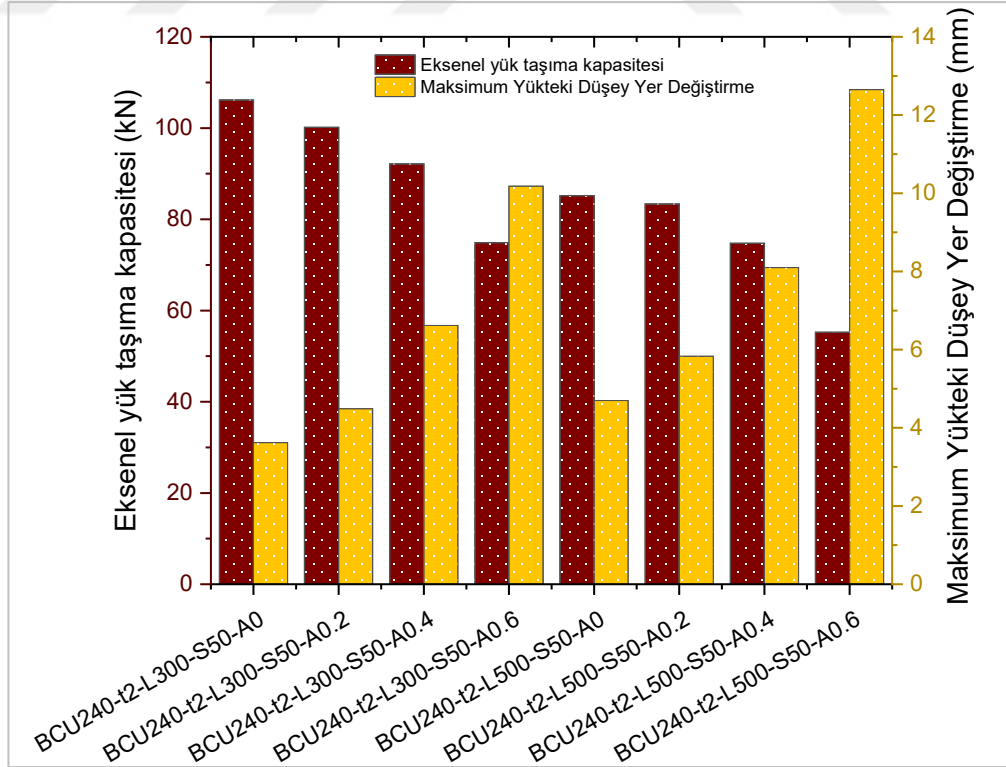
olduğu görülmektedir. Deney parametrelerinin eksenel yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi ilerleyen başlıklarda detaylı olarak açıklanmıştır.

Çizelge 4.1. Deney sonuçları

Numuneler İsimleri	L (mm)	h (mm)	D (mm)	A=D/h	Taşıdığı Maksimum Yük (kN)	Maksimum Yükteki Düşey Yer Değiştirme (mm)
CU240-t2-L300-S50-A0	300	240	0	0	179,22	1,92
CU240-t2-L300-S50-A0.2	300	240	48	0,2	167,30	4,46
CU240-t2-L300-S50-A0.4	300	240	96	0,4	154,93	5,25
CU240-t2-L300-S50-A0.6	300	240	144	0,6	151,64	7,46
CU240-t2-L500-S50-A0	500	240	0	0	175,09	2,69
CU240-t2-L500-S50-A0.2	500	240	48	0,2	156,02	3,73
CU240-t2-L500-S50-A0.4	500	240	96	0,4	137,41	5,87
CU240-t2-L500-S50-A0.6	500	240	144	0,6	129,32	8,12
BCU240-t2-L300-S50-A0	300	240	0	0	106,16	3,62
BCU240-t2-L300-S50-A0.2	300	240	48	0,2	100,16	4,49
BCU240-t2-L300-S50-A0.4	300	240	96	0,4	92,14	6,62
BCU240-t2-L300-S50-A0.6	300	240	144	0,6	74,89	10,18
BCU240-t2-L500-S50-A0	500	240	0	0	85,20	4,70
BCU240-t2-L500-S50-A0.2	500	240	48	0,2	83,36	5,83
BCU240-t2-L500-S50-A0.4	500	240	96	0,4	74,74	8,10
BCU240-t2-L500-S50-A0.6	500	240	144	0,6	55,22	12,65



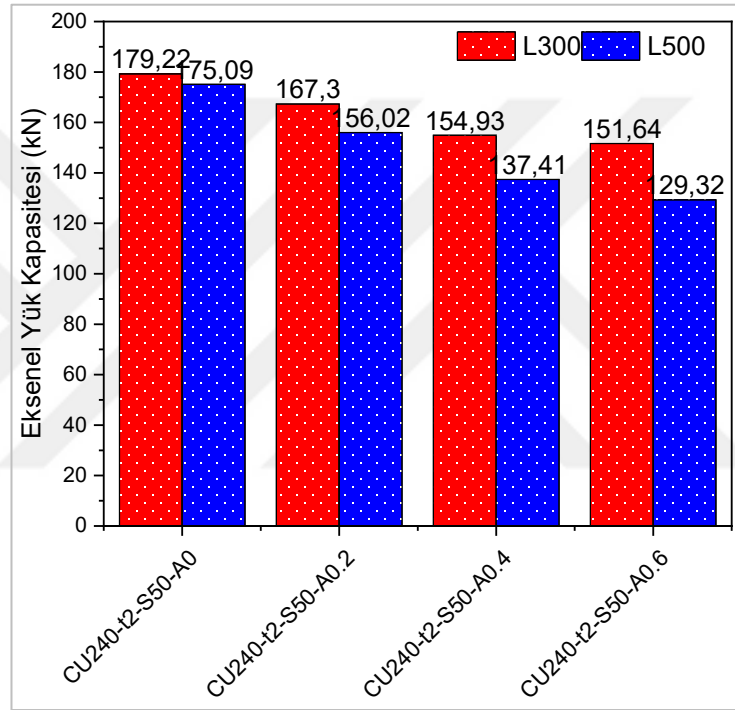
Şekil 4.1. Normal ortamda bekletilen numunelerin eksenel yük taşıma kapasitesi ve bu yüke karşılık gelen deplasman değerleri.



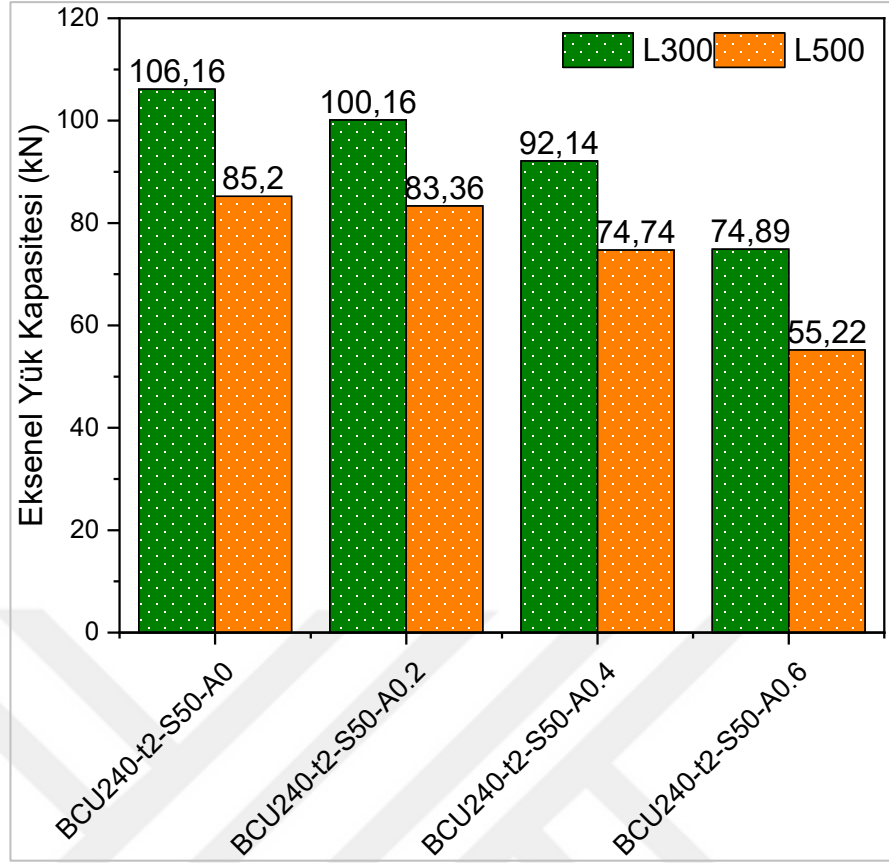
Şekil 4.2. Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin eksenel yük taşıma kapasitesi ve bu yüke karşılık gelen deplasman değerleri.

4.1. Boy Değişimini Eksenel Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi

Numunelerin boylarının değiştirilmesinin davranış üzerindeki etkisi için 300 mm ve 500 mm boylarındaki numunelerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu numuneler karşılaştırılırken normal şartlardaki ve yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin karşılaştırılması kendi aralarında yapılmıştır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’ de normal ortamdaki ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin eksenel yük taşıma kapasiteleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Normal ortamda bekletilen numunelerin eksenel yük kapasitesi



Şekil 4.4. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin eksenel yük kapasitesi

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’ de farklı uzunluklara ve dairesel boşluk çaplarına sahip kolon numunelerinin eksenel yük taşıma kapasitelerini karşılaştırmak amacıyla sunulmuştur. Her grafik, aynı boşluğa sahip ancak farklı uzunluklardaki iki numunenin eksenel yük taşıma kapasitesini göstermektedir. Bu analiz, numune boyutlarının ve boşluk çaplarının taşıma kapasitesi üzerindeki etkilerini detaylandırarak incelemektedir. 300 mm uzunluğundaki boşluksuz numune 179,22 kN’luk bir yük taşıma kapasitesine sahipken, 500 mm uzunluğundaki boşluksuz numune 175,09 kN’luk kapasite göstermektedir. Burada 500 mm uzunluğundaki numune, boşluksuz olmasına rağmen %2,3 daha düşük bir taşıma kapasitesi sergilemiştir. Bu durum, numune boyunun artmasıyla birlikte kolonun stabilitesinin bir miktar azaldığını ve dolayısıyla eksenel yük taşıma kapasitesinin düştüğünü göstermektedir. 300 mm uzunluğunda ve %20 boşluklu numune 167,30 kN’luk bir kapasiteye sahipken, 500 mm uzunluğunda ve %20 boşluklu numune 156,02 kN’luk bir taşıma kapasitesi sergilemiştir. Bu durumda, %6.7 oranında bir taşıma kapasitesi kaybı gözlemlenmektedir. Boşluk oranı arttığında, numune boyunun taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi daha belirgin hale gelmektedir. 48 mm çapındaki

dairesel boşluk, kolonun bütünlüğünü bozarak, daha uzun numunede daha büyük bir mukavemet kaybına yol açmıştır.

300 mm uzunluğunda ve %40 boşluklu numune 154,93 kN'luk bir kapasiteye sahipken, 500 mm uzunluğunda ve %40 boşluklu numune 137,41 kN'luk kapasite göstermektedir. Bu, %11,3' lük bir kapasite kaybını işaret etmektedir. Boşluk oranının 96 mm' ye çıkmasıyla birlikte, numune boyutunun taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi daha da artmıştır. Boşluk büyüklüğü arttıkça, yapı içerisindeki boşluğun etkisi daha belirgin hale gelmekte ve özellikle uzun numunelerde taşıma kapasitesinde önemli düşüşler yaşanmaktadır. 300 mm uzunluğunda ve %60 boşluklu numune 151,64 kN' luk kapasiteye sahipken, 500 mm uzunluğunda ve %40 boşluklu numune sadece 129,32 kN' luk kapasite göstermektedir. Bu durumda, %14,7 oranında bir mukavemet kaybı gözlemlenmektedir. 144 mm çapındaki büyük boşluk, uzun numunede taşıma kapasitesini ciddi şekilde zayıflatmıştır. Bu boşluk oranı ile birlikte numune uzunluğu, taşıma kapasitesinde belirgin bir azalmaya neden olmuştur. Bu grafik, boşluk büyüklüğünün yapının taşıma kapasitesi üzerinde dramatik bir etkisi olduğunu ve uzun kolonların bu etkiye daha duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Grafiklerde genel olarak, kolon uzunluğunun artmasıyla eksenel yük taşıma kapasitesinde bir azalma gözlemlenmektedir. Boşluksuz numunelerde bu fark çok düşük olsa da, boşluk oranı arttıkça bu azalma daha belirgin hale gelmektedir. Özellikle A0.4 ve A0.6 numunelerinde, boşluğun yapısal bütünlüğü ciddi şekilde zayıflattığı ve numunenin uzunluğuna bağlı olarak mukavemetin daha fazla kayba uğradığı görülmektedir.

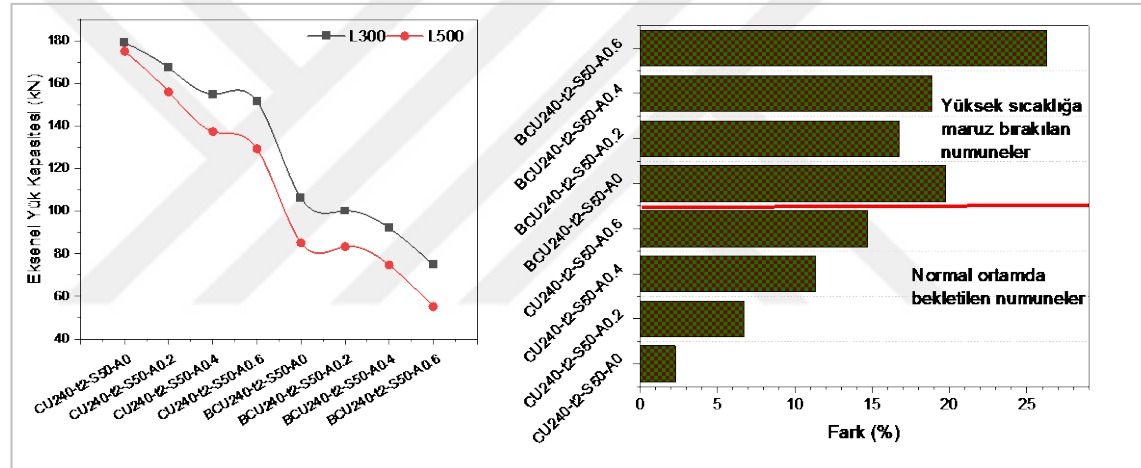
Çizelge 4.2 ve Şekil 4.5' de numunelerdeki boy değişiminin eksenel taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2 'deki sonuçlara bakıldığında zaman yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış farklı uzunluklardaki ve dairesel boşluk oranlarına sahip kolon numunelerinin eksenel yük taşıma kapasiteleri kıyaslanmaktadır. Aynı boşluk oranına sahip numunelerin boyutlarının değişmesi taşıma kapasiteleri üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır.

4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Çizelge 4.2. Normal ortamda bekletilen ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin eksenel yük taşıma kapasitesi karşılaştırması.

Numune ismi	EYTK* (kN)	Numune ismi	EYTK* (kN)	Fark (%)
CU240-t2-L300-S50-A0	179,22	CU240-t2-L500-S50-A0	175,09	2,30
CU240-t2-L300-S50-A0.2	167,30	CU240-t2-L500-S50-A0.2	156,02	6,74
CU240-t2-L300-S50-A0.4	154,93	CU240-t2-L500-S50-A0.4	137,41	11,31
CU240-t2-L300-S50-A0.6	151,64	CU240-t2-L500-S50-A0.6	129,32	14,72
BCU240-t2-L300-S50-A0	106,16	BCU240-t2-L500-S50-A0	85,20	19,74
BCU240-t2-L300-S50-A0.2	100,16	BCU240-t2-L500-S50-A0.2	83,36	16,77
BCU240-t2-L300-S50-A0.4	92,14	BCU240-t2-L500-S50-A0.4	74,74	18,88
BCU240-t2-L300-S50-A0.6	74,89	BCU240-t2-L500-S50-A0.6	55,22	26,27

* EYTK: Eksenel yük taşıma kapasitesi



Şekil 4.5. Boy değişiminin eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler arasında, 300 mm boyundaki boşluksuz numune 106,16 kN' luk bir yük taşıma kapasitesine sahipken, 500 mm boyundaki numune 85,20 kN' luk kapasite göstermektedir. Bu fark, daha uzun numunede %19,74 oranında bir mukavemet kaybına işaret etmektedir. Bu, numune boyutunun artmasının yapısal dayanımı azalttığını göstermektedir. A0.2 numunelerinde 300 mm uzunluğundaki numune 100,16 kN' luk kapasiteye sahipken, 500 mm uzunluğundaki numune 83,36 kN' luk taşıma kapasitesi sergilemiştir. Boyut farkı, %16,77' lik bir kapasite kaybına neden olmuştur. Boşluk varlığı taşıma kapasitesini etkilerken, numune boyunun artması da bu etkiyi artırmaktadır. A0.4 numunelerinde 300 mm uzunluğundaki numune 92,14 kN, 500 mm uzunluğundaki numune ise 74,74 kN kapasiteye sahiptir. Bu fark, %18,88' luk bir mukavemet kaybına tekabül eder. Boşluk çapı arttıkça, taşıma

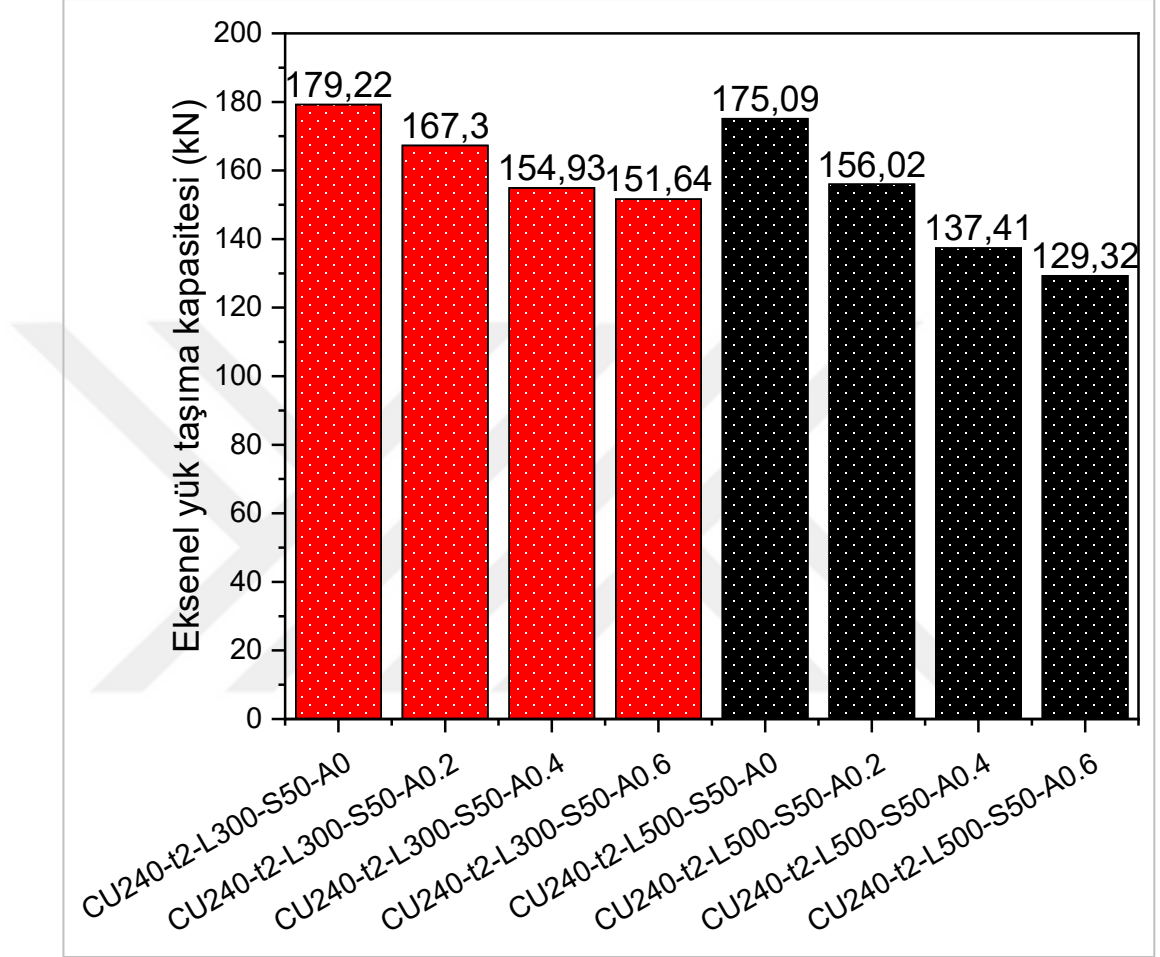
kapasitesindeki azalma daha da belirgin hale gelmektedir. En büyük boşluğa sahip A0.6 numunelerinde, 300 mm uzunluğundaki numune 74,89 kN kapasiteye sahipken, 500 mm uzunluğundaki numune 55,22 kN' luk kapasite göstermiştir. %26,27' lik bir mukavemet kaybı ile en büyük düşüş bu numunelerde yaşanmıştır. Boşluk oranı ve numune uzunluğu arttıkça taşıma kapasitesindeki düşüş daha fazla hale gelmektedir.

Bu sonuçlardan görüldüğü üzere numunelerde boyun artması, hem normal ortamda bekletilen hem de yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerde eksenel yük taşıma kapasitesini azaltmıştır. Numunelerin gövdelerinde bırakılan boşluk oranının artması da yine eksenel yük taşıma kapasitesinin azalmasına neden olmuştur. Bu durum hem normal ortamda bekletilen hem de yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde gözlemlenmiştir. Fakat yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde boy değişiminin eksenel yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi daha fazladır. Normal ortamda bekletilen numunelerde boy değişimi eksenel yük taşıma kapasitesini ortalama olarak %8 oranında azaltmasına karşın yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde bu oran ortalama olarak %20 seviyesindedir. Öncelikle numunelerin boyunun artmasının eksenel yük taşıma kapasitesini azaltmasındaki nedenlerden bir tanesi, numunenin boyunun artmasının burkulma eğilimini arttırmasından kaynaklanmaktadır. Daha uzun boya sahip numuneler daha narin oldukları için burkulma eğilimleri de artmıştır. Numunelerin boyunun artması, kritik burkulma yükünü azaltarak numunenin erken stabilite kaybına neden olmuştur. Boşluk oranının artması ise numunenin yük karşılayan kesit alanını azalttığı için eksenel yük taşıma kapasitesinin daha fazla azalmasına neden olmuştur. Dolayısıyla hem boşluk oranının artması hem de narinliğin artmasının etkisi ile boşluk oranında artış eksenel yük taşıma kapasitesini daha fazla etkilemiştir. Bununla birlikte yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin içyapısında meydana gelen değişikliklerde dolayı bu numuneler arasındaki fark daha fazla olmuştur.

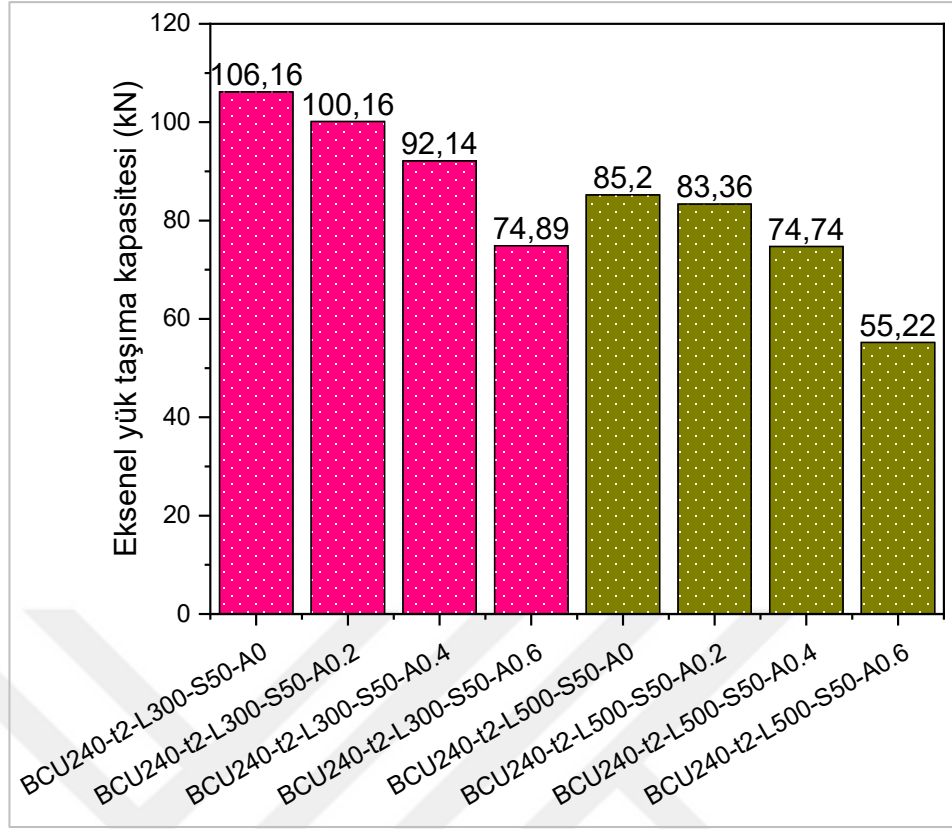
4.2. Boşluk Oranının Eksenel Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi

Numunelerde boşluk oranının eksenel yük taşıma kapasitesine etkisinin araştırılması için numunelerin gövdelerin %20, %40 ve %60 oranında boşluklar bırakılmıştır. Böylece numunelerden elde edilen eksenel yük taşıma kapasiteleri karşılaştırılırken boşluk oranının etkisi değerlendirilmiştir. Boşluk oranının eksenel yük

taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi değerlendirilirken normal ortamda bekletilen ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’ de normal ortamda bekletilen ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde boşluk oranının eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi sunulmuştur.



Şekil 4.6. Normal ortamda bekletilen numunelerde boşluk oranının eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi.



Şekil 4.7. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde boşluk oranının eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi.

300 mm yüksekliğindeki dört farklı kolon numunesi üzerinde gerçekleştirilen eksenel yükleme testlerinin sonuçları Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’ de ele alınmıştır. Bu inceleme, numunelerin gövde boşluk oranlarının yük taşıma kapasiteleri üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. İncelenen kolon numuneleri şunlardır: CU240-t2-L300-S50-A0, CU240-t2-L300-S50-A0.2, CU240-t2-L300-S50-A0.4 ve CU240-t2-L300-S50-A0.6 numuneleridir. CU240-t2-L300-S50-A0 numunesi, 179,22 kN ile en yüksek eksenel yük taşıma kapasitesine sahip olmuştur ve bu durum, herhangi bir boşluk bulunmayan kolonun tam kesit alanıyla çalışarak maksimum dayanım gösterdiğini ortaya koymaktadır. CU240-t2-L300-S50-A0.2 numunesi ise, gövdesinde 48 mm çapında bir dairesel boşluk içerdiğinden, 167,30 kN’ lik bir yük taşıma kapasitesine sahiptir. Bu değer, boşluksuz CU240-t2-L300-S50-A0 numunesine kıyasla %6.65 oranında bir azalmayı temsil etmektedir. Boşluğun varlığı, yük taşıma kapasitesinde bir düşüşe yol açmış olsa da, kolon hâlâ nispeten yüksek bir dayanım sergilemektedir. CU240-t2-L300-S50-A0.4 numunesi, 96 mm çapında bir boşluğa sahip olup, 154,93 kN’ lik bir yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu değer, boşluksuz CU240-t2-L300-S50-A0 numunesine göre %13.55 oranında bir azalmaya işaret etmektedir. Boşluk oranının artışı,

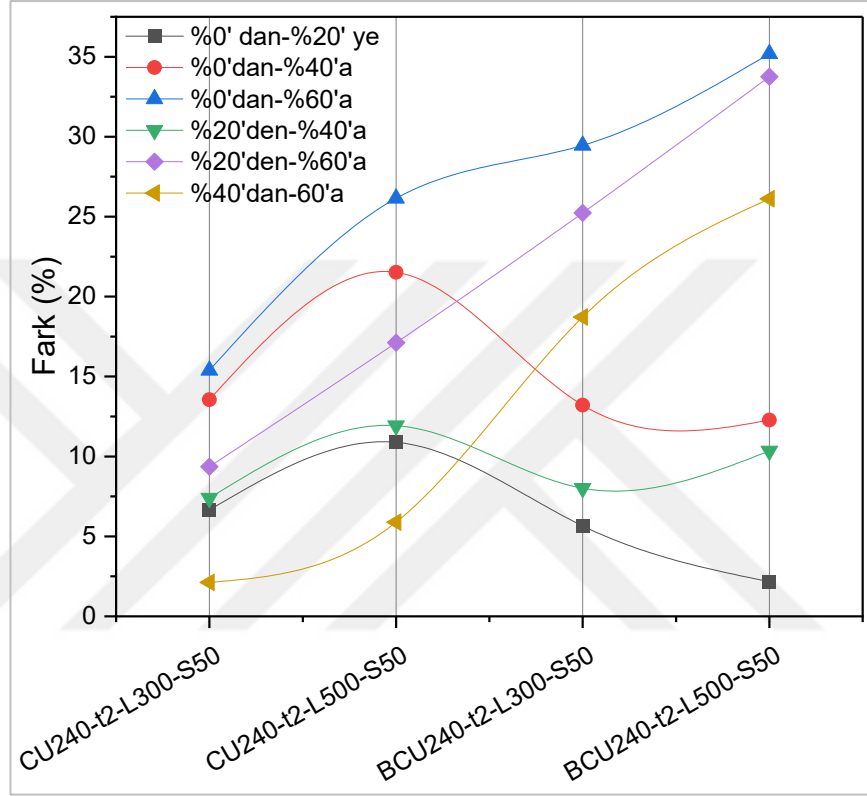
kolonun kesit alanını daha fazla azaltarak yük taşıma kapasitesinde belirgin bir düşüşe neden olmuştur. CU240-t2-L300-S50-A0.4 numunesi, boşluk oranı arttıkça kolonun mukavemetinin önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Son olarak, CU240-t2-L300-S50-A0.6 numunesi, gövdesinde 144 mm çapında bir dairesel boşluk içerir ve 151,64 kN' lik bir yük taşıma kapasitesine sahiptir. Bu kapasite, CU240-t2-L300-S50-A0 numunesine göre %15.39 oranında bir azalmayı ifade etmektedir. İlginç bir şekilde, CU240-t2-L300-S50-A0.4 numunesine kıyasla bu azalma sadece %2.12' lik bir farkla sınırlı kalmıştır. Bu sonuç, belirli bir boşluk oran aralığında kesit alanındaki kaybın yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisinin azaldığını düşündürmektedir.

500 mm yüksekliğindeki dört farklı kolon numunesi üzerinde gerçekleştirilen eksenel yükleme testleri sonucunda elde edilen veriler gösterilmiştir. İncelenen numuneler sırasıyla CU240-t2-L500-S50-A0, CU240-t2-L500-S50-A0.2, CU240-t2-L500-S50-A0.4, ve CU240-t2-L500-S50-A0.6 olarak adlandırılmaktadır. Bu numuneler, gövdelerinde farklı çaplarda dairesel boşluk oranları içermekte olup, bu boşluk oranlarına göre eksenel taşıma kapasitelerindeki değişimi incelemek amaçlanmaktadır. CU240-t2-L500-S50-A0 numunesi, boşluksuz yapısıyla en yüksek eksenel yük taşıma kapasitesine sahip olup, 175,09 kN' lik bir değerle referans alınmaktadır. Bu numune, gövde boşluğu olmayan tam kesitli bir kolonun taşıyabileceği maksimum yük kapasitesini temsil etmektedir. CU240-t2-L500-S50-A0.2 numunesi, gövdesinde 48 mm çapında bir dairesel boşluk içerdiğinden, taşıma kapasitesi 156,02 kN olarak ölçülmüştür. Bu değer, boşluksuz CU240-t2-L500-S50-A0 numunesine göre %10.89 oranında daha düşük bir yük taşıma kapasitesine sahiptir. CU240-t2-L500-S50-A0.4 numunesi ise, 96 mm çapında bir boşluğa sahip olup, 137,41 kN' lik bir yük taşıma kapasitesi sergilemiştir. Bu sonuç, en yüksek dayanımı gösteren CU240-t2-L500-S50-A0 numunesine kıyasla %21.52 oranında bir azalma olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bir önceki CU240-t2-L500-S50-A0.2 numunesine göre %11.93 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. Boşluk oranının iki katına çıkması, kolonun yük taşıma kapasitesinde belirgin bir azalmaya yol açmıştır. Son olarak, CU240-t2-L500-S50-A0.6 numunesi, gövdesinde 144 mm çapında bir dairesel boşluk barındırmakta ve 129,32 kN' lik bir taşıma kapasitesine sahiptir. Bu kapasite, CU240-t2-L500-S50-A0 numunesine göre %26.14 oranında daha düşük bir değere işaret etmektedir. Ayrıca, CU240-t2-L500-S50-A0.4 numunesine göre %5.89 oranında bir azalma göstermektedir. Boşluk oranının artmasıyla birlikte taşıma kapasitesinde sürekli

4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

bir azalma meydana gelmiş, ancak bu azalma, A0.4 boşluk oranından A0.6'ya geçildiğinde daha yavaş gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.8' da boşluk oranındaki artışın eksenel yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Boşluk oranındaki artışın eksenel yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi

Çizelge 4.3. Boşluk oranı artışının eksenel yük taşıma kapasitesine etkisinin yüzdesel olarak gösterimi.

Numune ismi	%0→ %20	%0→ %40	%0→ %60	%20→ %40	%20→ %60	%40→ %60
CU240-t2-L300-S50-A0.6	6,65	13,55	15,39	7,39	9,36	2,12
CU240-t2-L500-S50-A0.6	10,89	21,52	26,14	11,93	17,11	5,89
BCU240-t2-L300-S50-A0.6	5,65	13,21	29,46	8,01	25,23	18,72
BCU240-t2-L500-S50-A0.6	2,16	12,28	35,19	10,34	33,76	26,12

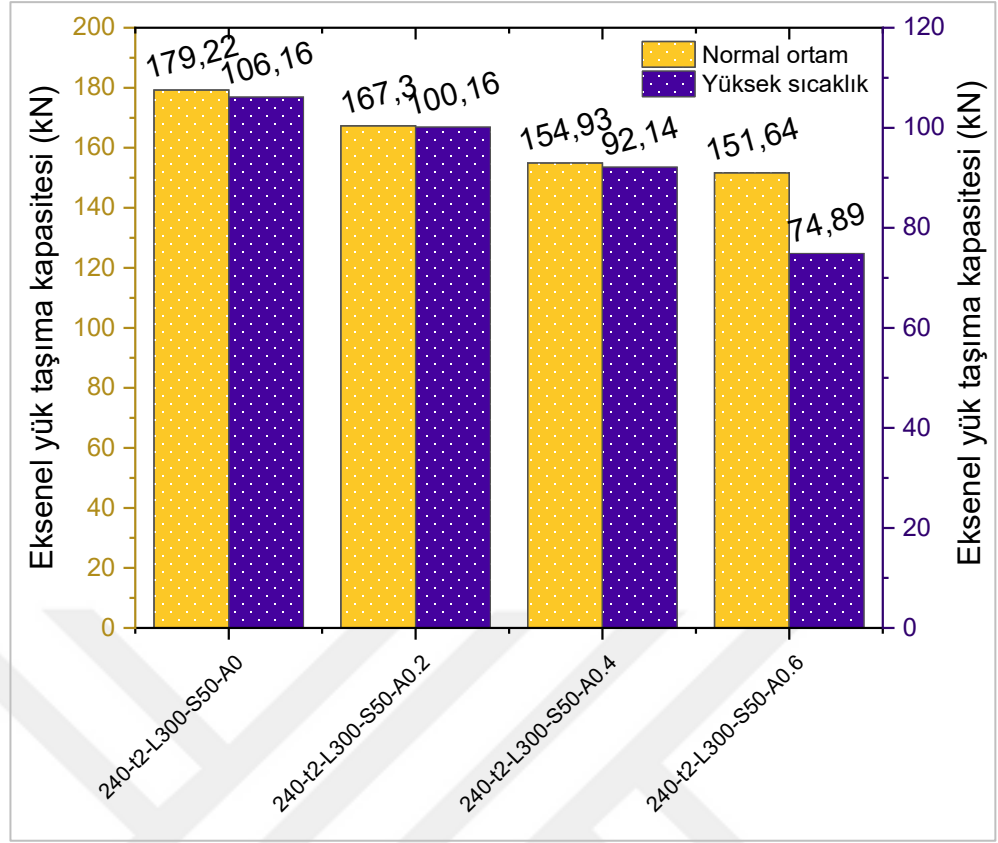
Şekil 4.7 ve Çizelge 4.3' den görüldüğü üzere, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numuneler arasında boşluksuz numune BCU240-t2-L300-S50-A0 en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olup 106,16 kN' luk bir eksenel yük taşımaktadır. Bu durum, numunenin yapısal bütünlüğünü koruduğunu ve yüksek sıcaklık sonrası mukavemet kaybının en az olduğunu göstermektedir. BCU240-t2-L300-S50-A0.2 numunesi (48 mm boşluklu) ise 100,16 kN' luk bir taşıma kapasitesi sergilemiştir. Bu sonuç, boşluksuz numuneye göre yaklaşık %5.65'lik bir mukavemet kaybı olduğunu göstermektedir. Bu oran, numunedeki sınırlı boşluğun taşıma kapasitesini ciddi oranda azaltmadığını işaret eder. Boşluk oranı daha da arttıkça, taşıma kapasitesinde belirgin bir azalma gözlenmektedir. BCU240-t2-L300-S50-A0.4 numunesi (96 mm boşluklu) 92,14 kN' luk bir eksenel yük taşımıştır, bu da boşluksuz numuneye kıyasla yaklaşık %13,2' lik bir mukavemet kaybı anlamına gelmektedir. Bu azalma, boşluğun yapısal bütünlük üzerinde daha belirgin bir etki yaratmaya başladığını göstermektedir. Son olarak, en büyük boşluğa sahip BCU240-t2-L300-S50-A0.6 numunesi (144 mm boşluklu), 74,89 kN'luk bir yük taşıma kapasitesine sahiptir. Bu, boşluksuz numuneye göre yaklaşık %29.46'lık bir mukavemet kaybına tekabül eder. Buradan da anlaşılabileceği üzere, boşluk oranının artması yapısal bütünlüğü ciddi şekilde zayıflatmakta ve numunenin yüksek sıcaklık sonrası yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Şekil 4.5' de, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış 500 mm boyundaki kolon numunelerinin eksenel yük taşıma kapasiteleri sunulmaktadır. Bu grafik, numunelerde artan boşluk oranının eksenel yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek için önemli veriler sunmaktadır. Boşluksuz numune (BCU240-t2-L500-S50-A0), 85,20 kN' luk bir eksenel yük taşıma kapasitesi ile diğer tüm numunelere kıyasla en yüksek mukavemete sahiptir. Bu sonuç, yüksek sıcaklığa maruz kalmasına rağmen numunenin yapısal bütünlüğünü koruduğunu ve dairesel boşlukların bulunmadığı bir yapının yük taşıma kapasitesini en üst düzeyde tutabildiğini göstermektedir. Bu veri, boşlukların yapı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu ve mukavemeti azalttığını anlamamıza yardımcı olmaktadır. BCU240-t2-L500-S50-A0.2 numunesi, 83,36 kN' luk taşıma kapasitesi ile boşluksuz numuneye kıyasla yaklaşık %2.2'lik bir mukavemet kaybı göstermektedir. Bu düşük oran, küçük çaplı dairesel boşlukların numunenin yapısal dayanımı üzerinde nispeten az bir etkisi olduğunu işaret eder. Bu bağlamda, 48 mm çapındaki boşluğun numunenin eksenel yük taşıma kapasitesini büyük ölçüde etkilemediği söylenebilir. BCU240-t2-L500-S50-A0.4 numunesi (96 mm boşluklu), 74,74 kN' luk bir yük taşıma kapasitesine sahiptir. Bu sonuç, boşluksuz numuneye kıyasla %12,3 oranında bir mukavemet kaybını temsil eder. 96 mm

çapındaki boşluk, numunenin taşıma kapasitesini belirgin bir şekilde azaltmıştır. Boşluk oranının artmasıyla birlikte yapı üzerindeki olumsuz etki daha net bir şekilde gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık sonrası taşıma kapasitesinde görülen bu azalma, yapısal bütünlüğün boşluklar nedeniyle zayıfladığını ortaya koymaktadır. En büyük boşluğa sahip BCU240-t2-L500-S50-A0.4 A0.6 numunesi (144 mm boşluklu) ise sadece 55,22 kN' luk bir taşıma kapasitesine sahiptir. Bu sonuç, boşluksuz numuneye kıyasla %35,19 oranında bir mukavemet kaybına işaret eder. 144 mm çapındaki bu büyük boşluk, numunenin taşıma kapasitesini önemli ölçüde zayıflatmış ve numune yüksek sıcaklık sonrası en düşük dayanım değerine ulaşmıştır. Bu da yapının büyük boşluklar nedeniyle kritik bir şekilde zayıfladığını göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, boşluksuz numune en yüksek dayanımı sergilerken, A0.6 numunesi en düşük taşıma kapasitesine sahiptir. A0.2 ve A0.4 numuneleri, mukavemet kaybının daha ılımlı olduğu aralıkları temsil ederken, A0.6 numunesi en büyük mukavemet kaybını gösterir.

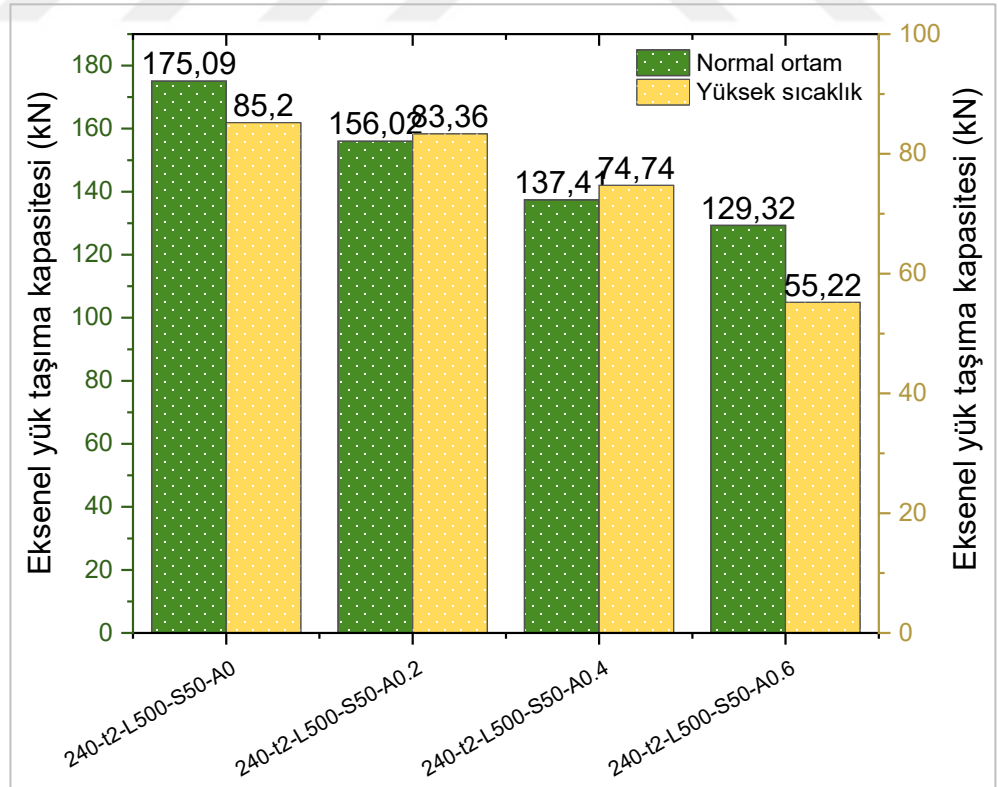
Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde boşluk oranının artması eksenel yük taşıma kapasitesini azaltmıştır. Genel olarak 500 mm boyundaki numunelerde boşluk oranının artması eksenel yük taşıma kapasitesini daha fazla oranda azaltmıştır. Boşluk oranının %0' dan %20' ye arttırılması eksenel yük taşıma kapasitesini ortalama olarak %16 oranında dayanımın azalmasına neden olmuştur. Boşluk oranının %20' den ve %40' dan arttırılması durumunda ise eksenel yük taşıma kapasitesi sırasıyla ve ortalama olarak %15 ve %13 oranında azalmıştır.

4.3. Yüksek Sıcaklık Etkisinin Eksenel Yük Taşıma Kapasitesi Üzerindeki Etkisi

Numuneler üzerinde yüksek sıcaklık etkisi için aynı özelliklere sahip numunelerin karşılaştırması yapılmıştır. Yüksek sıcaklığın eksenel yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. L300 numunelerinde yüksek sıcaklığın eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi



Şekil 4.10. L500 numunelerinde yüksek sıcaklığın eksenel yük taşıma kapasitesine etkisi

Grafiklerde, farklı boşluk oranlarına (A0, A0.2, A0.4 ve A0.6) sahip çelik kolon numunelerinin yüksek sıcaklığa maruz kalmamış olan aynı boyuttaki numunelerle karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma, yüksek sıcaklığın çelik kolonlar üzerindeki taşıma kapasitesi etkisini net bir şekilde analiz etme imkânı sunmaktadır. Grafiklerde boşluksuz ve boşluklu kolon numuneleri karşılaştırılmış, yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin taşıma kapasitelerindeki kayıplar ortaya konmuştur. Yüksek sıcaklığa maruz kalmamış boşluksuz çelik kolon numunesi 179,22 kN' luk bir eksenel yük taşıma kapasitesine sahiptir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan boşluksuz numune ise 106,16 kN' luk kapasite sergilemektedir. Bu sonuç, yüksek sıcaklığa maruz kalma sonrasında %40,8 oranında bir taşıma kapasitesi kaybına işaret etmektedir. Çelik malzemeler, yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında malzeme özelliklerini kaybederler, bu da yapısal mukavemetin belirgin şekilde azalmasına neden olmuştur. 48 mm boşluğa sahip A0.2 çelik kolon numunelerinde yüksek sıcaklığa maruz kalmamış numune 167,30 kN kapasiteye sahipken, yüksek sıcaklığa maruz kalan numune 100,16 kN'luk bir taşıma kapasitesi sergilemiştir. Burada %40,1 oranında bir kapasite kaybı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklığa maruz kalmanın etkisi, boşluk oranı düşük olduğunda bile taşıma kapasitesini ciddi şekilde azaltmaktadır. 96 mm boşluğa sahip A0.4 çelik kolon numunelerinde ise yüksek sıcaklığa maruz kalmamış numune 154,93 kN kapasiteye sahipken, yüksek sıcaklığa maruz kalmış olan numune 92,14 kN'luk kapasite göstermektedir. Bu fark, %40,5 oranında bir kapasite kaybını işaret eder. Boşluk oranı arttıkça çelik kolonun yapısal dayanımı daha da zayıflamış, yüksek sıcaklık etkisi altında taşıma kapasitesindeki düşüş belirginleşmiştir. 144 mm çapında boşluğa sahip A0.6 çelik kolon numunelerinde yüksek sıcaklığa maruz kalmamış numunenin taşıma kapasitesi 151,64 kN iken, yüksek sıcaklığa maruz kalan numune 74,89 kN kapasiteye sahiptir. Bu sonuç, %50,6 oranında bir taşıma kapasitesi kaybına işaret etmektedir. Yüksek sıcaklığa en büyük tepkiyi veren numune, geniş boşluk çapına sahip olan bu kolon olmuştur. Boşluk çapının büyümesi ve yüksek sıcaklığın doğrudan çeliğin yapısal özelliklerini zayıflatması, taşıma kapasitesinin ciddi oranda azalmasına neden olmuştur.

500 mm boyundaki çelik kolon numunelerinde, yüksek sıcaklığa maruz kalmamış boşluksuz numune 175,09 kN taşıma kapasitesine sahipken, yüksek sıcaklığa maruz kalan numune 85,20 kN kapasite göstermektedir. Bu sonuç, %51,3 oranında bir kapasite kaybını işaret etmektedir. Daha uzun çelik kolonlarda yüksek sıcaklığın etkisi daha

belirgin hale gelmektedir. Yüksek sıcaklığın yarattığı ısı, çeliğin mekanik özelliklerini bozarak yapının taşıma kapasitesini ciddi şekilde zayıflatmıştır. Özellikle uzun kolonlarda bu zayıflama daha dramatik seviyelere ulaşmaktadır. 48 mm boşluklu A0.2 çelik kolon numunelerinde yüksek sıcaklığa maruz kalmamış numune 156,02 kN kapasiteye sahipken, yüksek sıcaklığa maruz kalan numune 83,36 kN kapasite sergilemiştir. Bu durumda %46,6'lık bir kapasite kaybı söz konusudur. Boşluk oranı düşük olmasına rağmen, yüksek sıcaklık etkisi altında kolonun dayanımı ciddi bir şekilde düşmüştür. Yüksek sıcaklık, çeliğin elastik ve plastik deformasyon limitlerini önemli ölçüde etkileyerek, taşıma kapasitesini zayıflatmıştır. 96 mm boşluk çapına sahip A0.4 numunelerinde ise yüksek sıcaklığa maruz kalmamış numune 137,41 kN kapasiteye sahipken, yüksek sıcaklığa maruz kalmış olan numune 74,74 kN kapasite göstermektedir. Bu fark, %45,6 oranında bir kapasite kaybını işaret etmektedir. Boşluk oranı arttıkça yüksek sıcaklığın taşıma kapasitesi üzerindeki olumsuz etkisi daha da belirginleşmiş, çeliğin yapısal dayanımı ciddi şekilde azalmıştır. En büyük boşluğa sahip A0.6 çelik kolon numunelerinde yüksek sıcaklığa maruz kalmamış numune 129,32 kN kapasiteye sahipken, yüksek sıcaklığa maruz kalan numune sadece 55,22 kN taşıma kapasitesine sahiptir. Bu fark, %57,3 oranında bir kapasite kaybına işaret etmektedir. Geniş çaplı boşlukların bulunduğu kolonlarda yüksek sıcaklık etkisi ile taşıma kapasitesi dramatik bir şekilde düşmüştür. Bu durum, hem boşluk oranının hem de kolon boyunun yüksek sıcaklığa karşı çelik yapıların mukavemeti üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

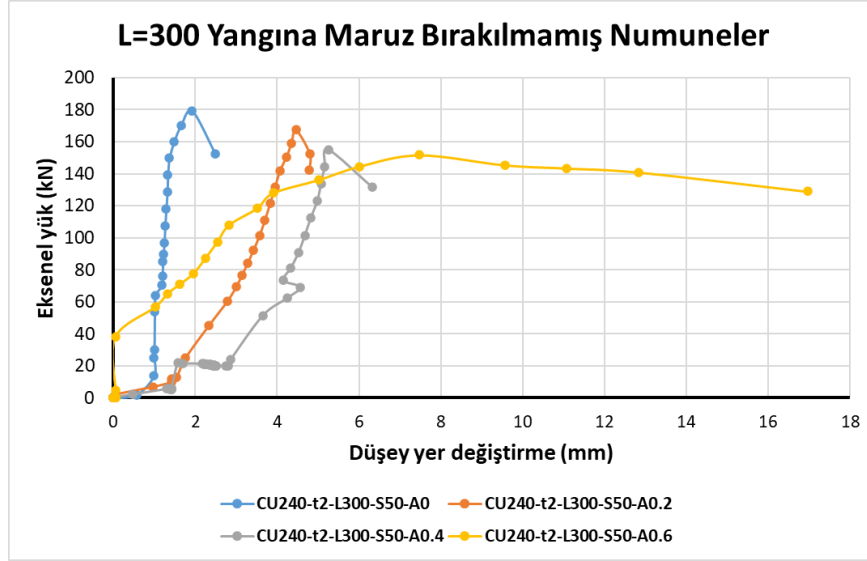
4.4. Eksenel Yük-Deplasman İlişkisi

Deney numunelerinin eksenel basınç yükü altındaki davranışlarının değerlendirilmesi için eksenel yük-deplasman grafikleri çizilmiştir. Numunelerin eksenel yük-deplasman grafikleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12' de sunulmuştur.

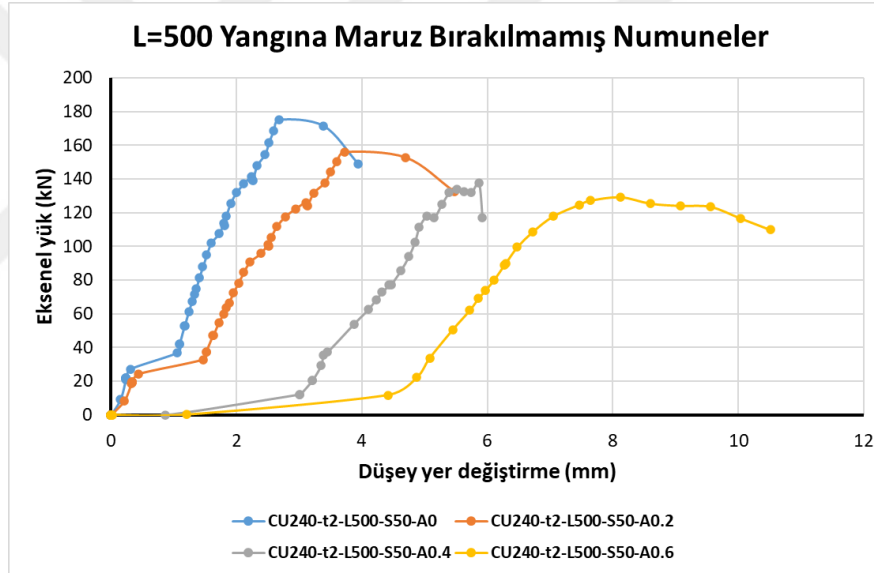
Şekil 4.11.a' ya bakıldığında L=300 mm olan numuneler için CU240-t2-L300-S50-A0 numunesi boşluksuz olup, en yüksek eksenel yük taşıma kapasitesine (179,22 kN) sahiptir. Bu numune, referans noktası olarak alınabilir çünkü boşluk içermemektedir. Düşey yer değiştirme 1,92 mm ile diğer numunelere göre oldukça düşüktür. CU240-t2-L300-S50-A0.2 numunesi, 48 mm çapında dairesel boşluğa sahiptir ve taşıdığı yük

167,30 kN' dir. Bu, boşluksuz numuneye göre %6,65' lik bir kapasite azalışı olduğunu göstermektedir. Düşey yer değiştirme ise 4,46 mm'ye yükselmiştir, bu da boşluk varlığının yapısal deformasyonu artırdığını işaret eder. CU240-t2-L300-S50-A0.4 numunesinde boşluk çapı 96 mm'ye çıkmıştır ve taşıdığı yük 154,93 kN' dir. Bu durumda, kapasite %13,55 oranında azalmıştır. Düşey yer değiştirme ise 5,25 mm'dir, bu da boşluğun artışıyla birlikte deformasyonun arttığını göstermektedir. CU240-t2-L300-S50-A0.6 numunesinde en büyük boşluk çapı olan 144 mm bulunmaktadır. Bu numune 151,64 kN taşıma kapasitesine sahiptir ve bu da boşluksuz numuneye göre %15,39'luk bir azalma anlamına gelir. Düşey yer değiştirme ise 7,46 mm'ye ulaşarak en yüksek değer olmuştur.

Şekil 4.11' e bakıldığında L=500 olan numuneler için CU240-t2-L500-S50-A0 numunesi boşluksuz olup, en yüksek taşıma kapasitesine (175,09 kN) sahiptir. Bu numune referans alınarak diğer numunelerdeki azalmalar hesaplanmıştır. Maksimum yükteki düşey yer değiştirme 2,69 mm'dir. CU240-t2-L500-S50-A0.2 numunesi, 48 mm çapında dairesel boşluğa sahiptir ve 156,02 kN' lik bir taşıma kapasitesine sahiptir. Boşluksuz numuneye göre %10,89 oranında bir kapasite kaybı yaşanmıştır. Düşey yer değiştirme ise 3,73 mm olup, boşluk varlığının deformasyonu artırdığı gözlenmiştir. CU240-t2-L500-S50-A0.4 numunesinde boşluk çapı 96 mm olup, taşıdığı yük 137,41 kN' dir. Bu, boşluksuz numuneye kıyasla %21,52 oranında bir kapasite kaybına işaret eder. Düşey yer değiştirme ise 5,87 mm olarak artış göstermiştir. Boşluk oranı arttıkça taşıma kapasitesi daha belirgin bir şekilde azalmaktadır. CU240-t2-L500-S50-A0.6 numunesi, en büyük boşluk çapına (144 mm) sahip olup, 129,32 kN taşıma kapasitesine sahiptir. Boşluksuz numuneye göre %26,14'lük bir kapasite kaybı yaşanmıştır. Düşey yer değiştirme ise 8,12 mm'ye yükselmiştir. Bu da boşluğun taşıma kapasitesini düşürürken deformasyonun artmasına neden olduğunu göstermektedir.



(a) Yüksek sıcaklığa maruz kalmamış L=300 numunesinin Eksenel yük-Düşey yer değiştirme grafiği.



(b) Yüksek sıcaklığa maruz kalmamış L=500 numunesinin Eksenel yük-Düşey yer değiştirme grafiği.

Şekil 4.11. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış numunelerin taşıdığı maksimum yük-maksimum yer değiştirme.

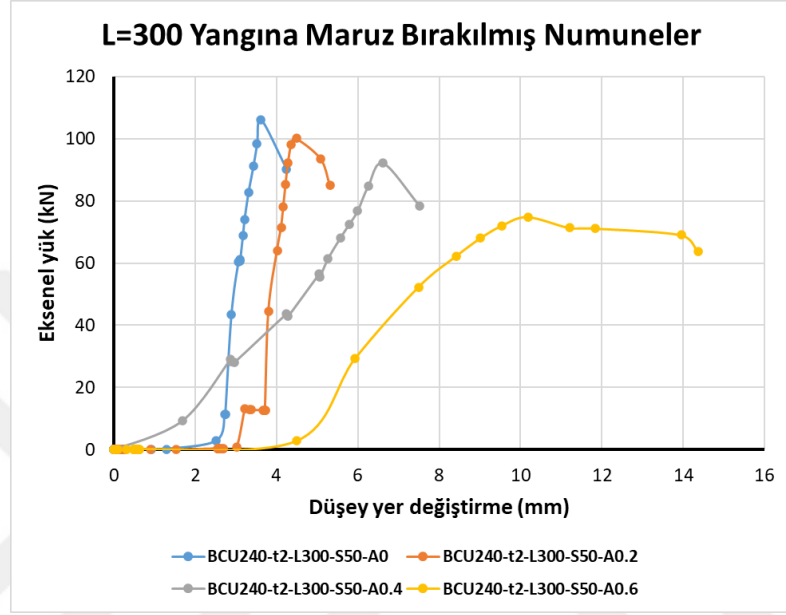
Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numuneler incelendiğinde, sıcaklığın kolon performansı üzerindeki ciddi etkisi açıkça görülmektedir. Yük taşıma kapasitesi yüksek sıcaklık sonrası önemli ölçüde azalırken, yer değiştirme değerlerinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.12.a' ya bakıldığında 300 mm yüksekliğindeki yüksek sıcaklığa maruz kalmış kolonlar BCU240-t2-L300-S50-A0 (Boşluksuz) numune 106,16 kN taşıma kapasitesine ve 3,62 mm'lik düşey yer değiştirmeye sahiptir. Diğer numunelerle

kıyaslandığında, en yüksek taşıma kapasitesine sahip olan referans numunedir. Boşluksuz olduğundan, herhangi bir kapasite kaybı yaşamamıştır. BCU240-t2-L300-S50-A0.2 (48 mm Boşluk) numune 100,16 kN taşıma kapasitesine sahiptir ve 4,49 mm'lik düşey yer değiştirme göstermektedir. Bu numune, boşluksuz numuneye kıyasla %5,65 oranında bir taşıma kapasitesi kaybına uğramıştır. Boşluk oranı küçük olduğundan, taşıma kapasitesinde ciddi bir azalma gözlemlenmemiştir, ancak düşey yer değiştirmede %23,76'lık bir artış vardır. Bu durum, küçük bir boşluğun taşıma kapasitesini büyük ölçüde etkilemese de yer değiştirmeyi artırdığını göstermektedir. BCU240-t2-L300-S50-A0.4 (96 mm Boşluk) numune 92,14 kN taşıma kapasitesine sahiptir ve 6,62 mm'lik düşey yer değiştirme göstermektedir. Boşluksuz numuneye göre %13,21 oranında bir kapasite kaybı yaşanmıştır. A0.2 numunesine göre ise %8 oranında ek bir kapasite kaybı söz konusudur. Düşey yer değiştirme %82,87 oranında artmıştır. Bu boşluk oranı daha yüksek olduğu için, taşıma kapasitesindeki azalma ve yer değiştirmedeki artış daha belirgin hale gelmiştir. BCU240-t2-L300-S50-A0.6 (144 mm Boşluk) numune 74,89 kN taşıma kapasitesine sahiptir ve 10,18 mm'lik bir düşey yer değiştirme sergilemiştir. Bu sonuç, boşluksuz numuneye göre %29,46 oranında bir kapasite kaybına işaret eder. A0.4 numunesine göre ise %18,7 oranında ek bir kapasite kaybı vardır. Düşey yer değiştirme %181,49 artışla en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Bu, en büyük boşluk oranına sahip numunenin yapısal performans üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir.

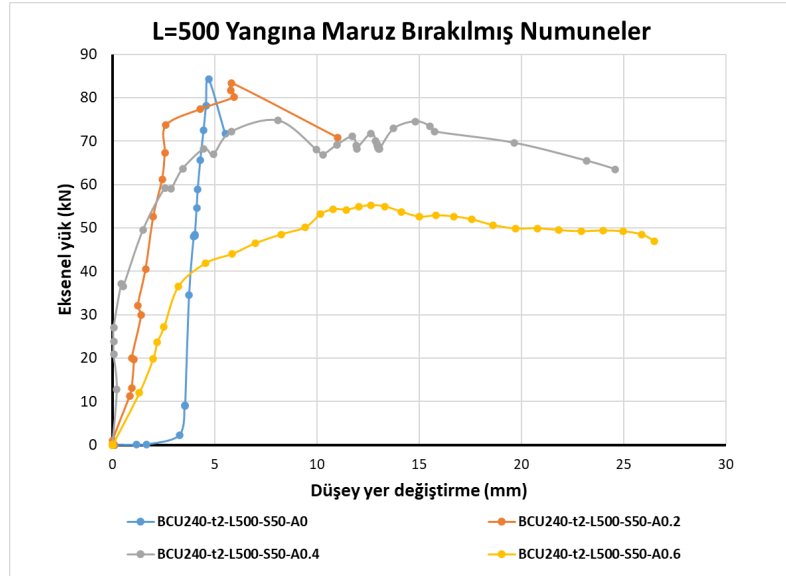
Şekil 4.12.' e bakıldığında 500 mm yüksekliğindeki deliksiz kolonlar için BCU240-t2-L500-S50-A0 numunesi boşluksuz olup, 85,20 kN'lik bir taşıma kapasitesine ve 4,70 mm'lik bir düşey yer değiştirmeye sahiptir. Bu numune referans alınarak diğer numunelerdeki azalmalar hesaplanmıştır. BCU240-t2-L500-S50-A0.2 numunesi, 48 mm çapında dairesel boşluğa sahiptir ve 83,36 kN taşıma kapasitesine sahiptir. Boşluksuz numuneye göre %2,16 oranında bir kapasite kaybı yaşamıştır. Düşey yer değiştirme ise %24 artarak 5,83 mm'ye yükselmiştir. Küçük boşlukların taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi sınırlı kalmış, ancak yer değiştirme değerinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. BCU240-t2-L500-S50-A0.4 numunesinde 96 mm çapında boşluk bulunmakta olup, taşıdığı yük 74,74 kN'dir. Boşluksuz numuneye göre %12,28 oranında bir kapasite kaybı vardır. Düşey yer değiştirme ise %72,34 oranında artarak 8,10 mm'ye çıkmıştır. Boşluk çapının büyümesi, hem taşıma kapasitesinde belirgin bir azalmaya hem de yer değiştirmede ciddi bir artışa neden olmuştur. BCU240-t2-L500-S50-A0.6

4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

numunesi, 144 mm çapında en büyük boşluğa sahip olup, taşıma kapasitesi 55,22 kN' dir. Boşluksuz numuneye göre %35,19 oranında bir kapasite kaybı yaşamıştır. Düşey yer değiştirme ise %169,15 oranında artarak 12,65 mm'ye yükselmiştir. Bu sonuç, büyük boşlukların çelik kolonların mukavemetini ciddi şekilde azalttığını ve deformasyon miktarını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.



(a) Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış L=300 numunesinin Eksenel yük-Düşey yer değiştirme grafiği.



(b) Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış L=500 numunesinin Eksenel yük-Düşey yer değiştirme grafiği.

Şekil 4.12. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin taşıdığı maksimum yük-maksimum yer değiştirme.

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve bırakılmamış numuneler arasında kıyaslama yapıldığında, yüksek sıcaklığın çelik kolonların performansını ciddi şekilde olumsuz etkilediği görülmektedir. 300 mm yüksekliğindeki deliksiz kolonlar arasında yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunenin taşıma kapasitesi yüksek sıcaklığa maruz kalmayan numuneye göre %40,7 azalmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan kolonun yer değiştirmesi ise %88,5 oranında artmıştır. 500 mm yüksekliğindeki deliksiz kolonlar için bu fark daha belirgindir. Yüksek sıcaklığa maruz kalmamış kolon 175,09 kN yük taşıırken, yüksek sıcaklığa maruz kalmış kolon 85,20 kN taşıyabilmiştir. Bu %51,3'lük bir azalmayı gösterir. Yer değiştirme açısından bakıldığında, yüksek sıcaklığa maruz kalmayan kolon 3,94 mm yer değiştirirken, yüksek sıcaklığa maruz kalan kolon 4,70 mm yer değiştirmiştir. Bu %19,3'lük bir artıştır. Boşluk oranları arttıkça bu farklar daha da artmaktadır. Örneğin, $A=0,6$ oranındaki 300 mm yüksekliğindeki kolonlar arasında yüksek sıcaklığa maruz kalmamış numune %50,6 daha fazla yük taşıyabilmiştir. Yer değiştirme açısından ise yüksek sıcaklığa maruz kalmamış numune %36,5 daha az yer değiştirme göstermiştir. Bu sonuçlar yüksek sıcaklığın, kolon gövdelerindeki boşluk oranı ile birlikte kolon performansını daha da kötüleştirdiğini ortaya koymaktadır. Kolonların taşıma kapasiteleri yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında ciddi şekilde azalmakta, aynı zamanda boşluk oranı arttıkça bu etki daha belirgin hale gelmektedir. 500 mm yüksekliğindeki kolonlarda bu etkiler daha dramatik olup, taşıma kapasitesindeki azalma ve yer değiştirme artışı daha büyüktür. Yüksek sıcaklık, çelik kolonların rijitliğini azaltmakta ve daha büyük plastik deformasyonlara neden olmaktadır. Bu bulgular, çelik yapı tasarımında yüksek sıcaklık güvenliğinin ne kadar kritik olduğunu ve yüksek sıcaklığa dayanıklı tasarımların önemini vurgulamaktadır.

4.5. Gerinim Değerlerinin İncelenmesi

Strain gauges (Gerinim Ölçer) için kullanılan birim, mikrostrain ($\mu\epsilon$) olarak adlandırılır. Mikrostrain, bir malzemedeki uzunluk değişiminin, orijinal uzunluğa oranının milyonda birini ifade eder. Strain gages, bu küçük deformasyonları ölçerek, bir malzemenin üzerindeki gerilimleri ve deformasyonları belirlemekte kullanılır. Örneğin, bir malzeme %0.01 oranında uzarsa, bu 100 mikrostrain (100 $\mu\epsilon$) olarak ifade edilir. S235 çeliği, Avrupa standardı EN 10025'e göre yaygın olarak kullanılan yapısal bir çelik

türüdür. Bu çeliğin akma gerilimi (yield strength) genellikle minimum 235 MPa (megapaskal) olarak belirlenir.

Mikrostrain ($\mu\epsilon$) cinsinden akma gerilimini bulmak için, genellikle çeliğin elastik modülünü (E) kullanılır. Elastik modül, malzemenin gerilme-şekil değiştirme oranını ifade eder. S235 çeliği için tipik elastik modül yaklaşık 210 GPa (gigapaskal) veya 210,000 MPa'dır.

Mikrostrain'i hesaplamak için formül:

$$\text{Gerinim} = \frac{\text{Gerilme}}{\text{Elastisite Modülü}} \quad (4.1.)$$

Burada:

- Akma gerilimi: 235 MPa
- Elastik modül: 210,000 MPa

Bu durumda mikrostrain:

$$\text{Gerinim} = 235 \text{ MPa} / 210,000 \text{ MPa} = 0.00112 \text{ (ya da } 1120 \mu\epsilon)$$

Yani, S235 çeliğinin akma gerinimi yaklaşık olarak 1120 mikrostrain ($\mu\epsilon$) civarındadır.

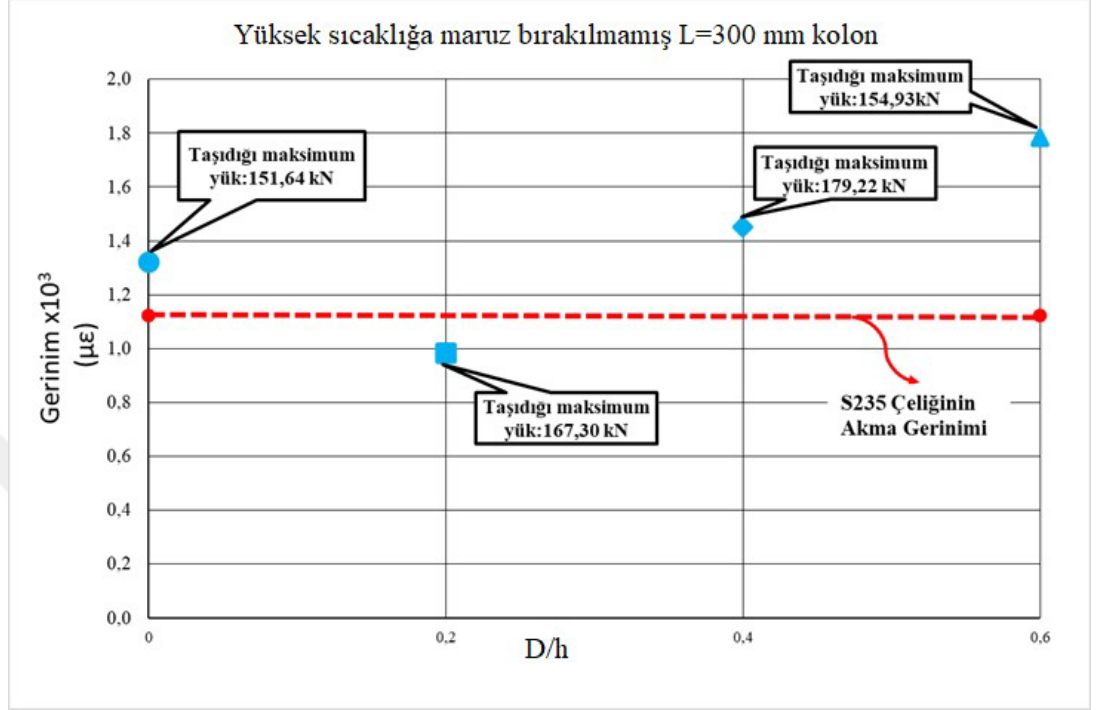
Şekil 4.13'e bakıldığında, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış 300 mm yüksekliğindeki kolonun merkezinde açılan deliğin çapı (D) ve kolonun kesit yüksekliği (h) oranlarına göre taşıdığı maksimum yükler ve gerinim değerleri gösterilmektedir. S235 çeliğinin akma gerinimi (yaklaşık 1120 $\mu\epsilon$) kırmızı kesik çizgiyle gösterilmiş olup, bu değer üzerine çıkan gerinim değerleri, kolonun elastik sınırını aştığını ve plastik deformasyona girdiğini belirtir. D/h oranı arttıkça, bazı yükler altında gerinim değerlerinin S235 çeliğinin akma geriliminin üzerine çıktığı gözlemlenebilir. Bu, deliklerin kolonun yapısal bütünlüğünü olumsuz etkilediğini ve plastik deformasyona yol

açabileceğini gösterir. Farklı D/h oranlarına sahip kolonların taşıyabileceği maksimum yükler grafikte gösterilmiştir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmayan kolon yüksekliği 300 mm üzerinde delik bulunmayan numune (D/h=0) maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri $1,319 \times 10^3 \mu\epsilon$ 'dür. D/h=0,2 olduğunda maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri $0,984 \times 10^3 \mu\epsilon$ 'dür. D/h=0,4 olduğunda maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri $1,45 \times 10^3 \mu\epsilon$ 'dür D/h=0,6 olduğunda maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri $1,783 \times 10^3 \mu\epsilon$ 'dür

D/h oranlarına göre gerinim ve maksimum yükteki yüzdesel değişimler dikkat çekici bir şekilde farklılık göstermektedir. D/h oranı 0.2' ye çıktığında gerinim deliksiz numuneye göre %25.47 oranında azalmıştır, bu da kolondaki gerinimin önemli ölçüde azaldığını gösterir. Ancak D/h oranı 0.4' e çıkarıldığında gerinimde deliksiz numuneye göre %9.83'lük bir artış gözlemlenmiştir, bu da kolondaki gerinim değerinin yeniden yükseldiğini göstermektedir. Son olarak, D/h oranı 0.6' ya ulaştığında gerinimde deliksiz numuneye göre %35.12 oranında bir artış meydana gelmiştir, bu da kolonda daha yüksek gerinim seviyelerine ulaşıldığını gösterir. Maksimum yük açısından değerlendirildiğinde, D/h oranı 0.2' ye yükseldiğinde deliksiz numuneye göre %10.31 oranında bir artış yaşanmış, bu da kolona uygulanan yükün daha yüksek bir seviyeye çıkabildiğini göstermektedir. D/h oranı 0.4' e yükseltildiğinde ise taşıdığı maksimum yük deliksiz numuneye göre %7.13 oranında artmıştır. Ancak D/h oranı 0.6' ya ulaştığında maksimum yük deliksiz numuneye göre %13.55 oranında azalarak düşüş göstermiştir. Bu durum, belirli bir D/h oranından sonra kolonun taşıma kapasitesinin azalmaya başladığını işaret etmektedir.

D/h oranı 0'dan 0.2'ye çıkarıldığında gerinim %25.47 oranında azalıyor. Ancak D/h oranı 0.4 ve 0.6'ya çıktıkça gerinim sırasıyla %9.83 ve %35.12 oranında artış göstermektedir. Bu, daha büyük delik çaplarının kolon üzerindeki gerinimi artırdığını göstermektedir. D/h oranı 0'dan 0.2 ve 0.4'e yükseldikçe kolonun taşıma kapasitesi artıyor (%10.31 ve %7.13 artış). Ancak D/h oranı 0.6'ya ulaştığında taşıma kapasitesi %13.55 oranında azalma göstermektedir. Bu durum, belirli bir delik çapından sonra kolonun taşıma kapasitesinin azalmaya başladığını göstermektedir. Sonuç olarak D/h = 0.2 ve 0.4 oranları, kolonun hem gerinim hem de taşıma kapasitesi açısından en uygun performansı

gösteren oranlardır. Ancak, $D/h = 0.6$ oranında gerinimde ciddi bir artış ve taşıma kapasitesinde belirgin bir azalma gözlenmektedir.

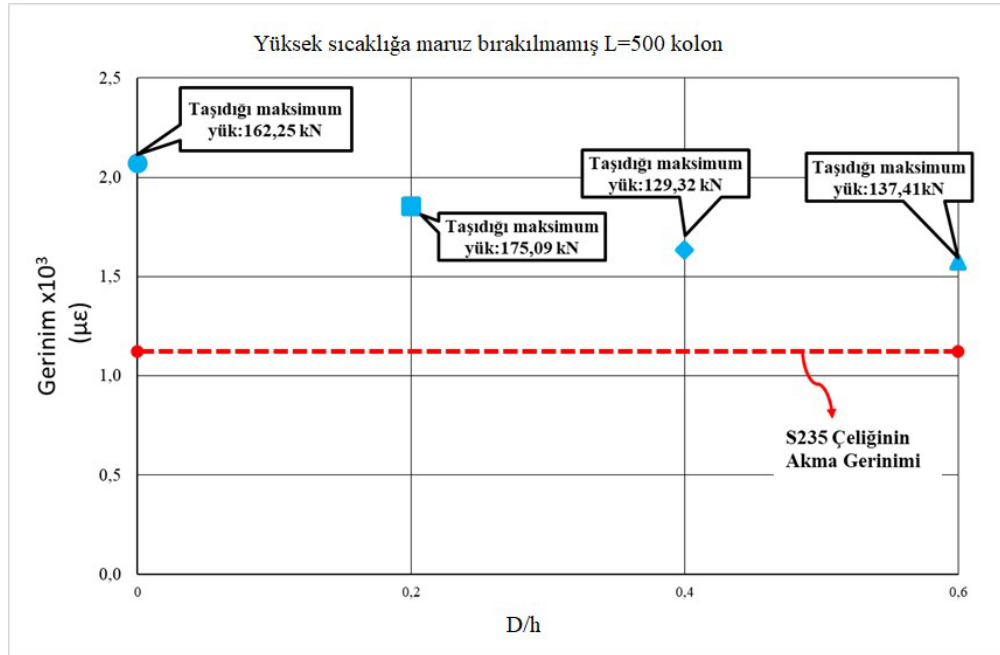


Şekil 4.13. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış L=300 kolonunun maksimum yük altında gerinimleri.

Şekil 4.14'e bakıldığında, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış 500 mm yüksekliğindeki kolonun merkezinde açılan deliğin çapı (D) ve kolonun kesit yüksekliği (h) oranlarına göre taşıdığı maksimum yükler ve gerinim değerleri gösterilmektedir. D/h oranı arttıkça (yani delik çapı büyüdükçe), kolonun taşıyabileceği maksimum yükler düşmektedir. Bu durum, deliklerin kolonun yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde azalttığını ve potansiyel yapısal zayıflamalara yol açabileceğini gösterir. D/h oranının artmasıyla, kolonda oluşan gerinim artmakta ve taşıma kapasitesi azalmaktadır. Bu, kolonun merkezinde açılan deliklerin boyutlarının kolonun genel yapısal performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve dikkatli bir mühendislik tasarımı gerektirdiğini vurgulamaktadır. Bu tür analizler, özellikle delik açılmış veya zayıflatılmış yapı elemanlarının dayanıklılığını değerlendirmek için kritiktir. Yapılan deneyler sonucunda, D/h oranına göre gerinim (µε) ve taşıma kapasitesinde önemli değişimler gözlemlenmiştir. D/h oranı 0 olan durumda, kolonun gerinim değeri 2,07121 µε iken, taşıma kapasitesi 162,2467 kN olarak ölçülmüştür. D/h oranı 0.2' ye yükseldiğinde, gerinim %10.58 azalarak 1,8519 µε' ye düşerken, taşıma kapasitesi %7.92 artarak

175,0928 kN' ye çıkmıştır. D/h oranının 0.4'e çıkarılmasıyla birlikte, gerinim %21.15 oranında azalarak 1,6327 $\mu\epsilon$ ' ye düşerken, taşıma kapasitesi %20.29 azalarak 129,3162 kN' ye gerilemiştir. Son olarak, D/h oranı 0.6'ya yükseldiğinde, gerinim %24.10 oranında azalarak 1,57250 $\mu\epsilon$ ' ye inerken, taşıma kapasitesi %15.31 azalarak 137,4087 kN olmuştur. Bu sonuçlar, D/h oranının artmasıyla birlikte, kolonun taşıma kapasitesinin ve gerinim değerinin nasıl etkilendiğini açıkça ortaya koymaktadır. D/h oranı 0.2, hem taşıma kapasitesinin artması hem de gerinim değerinin azalması açısından en dengeli sonucu vermektedir.

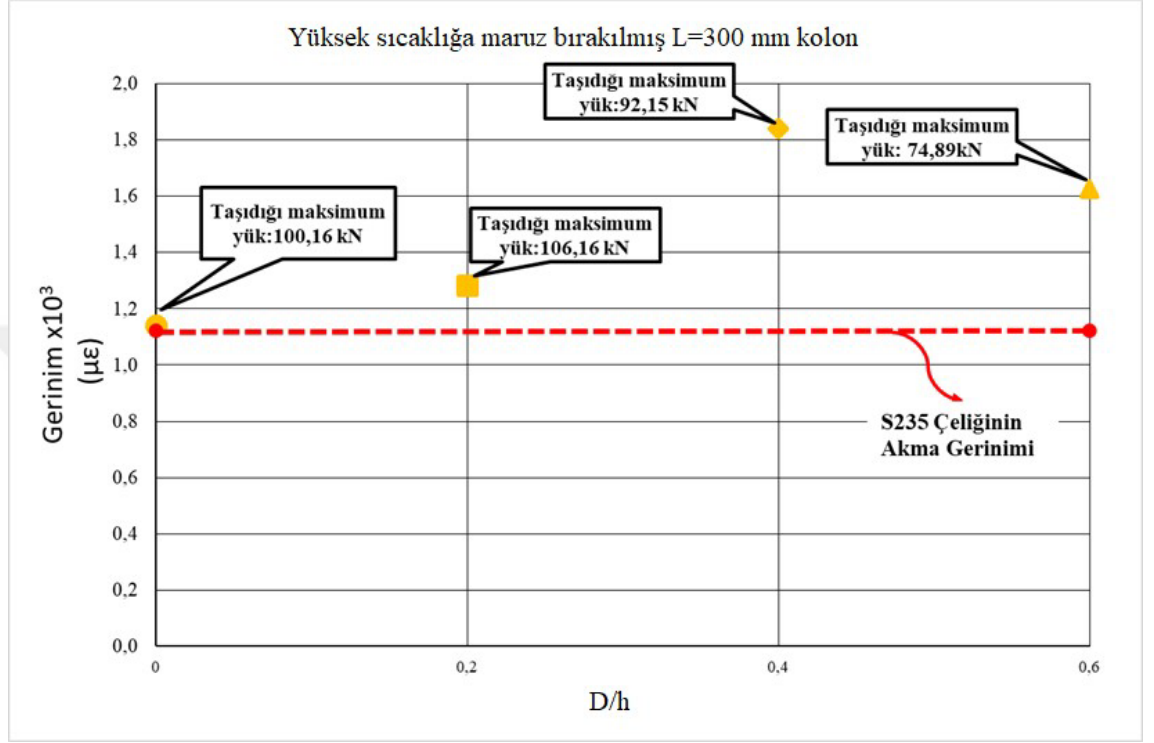
D/h oranı arttıkça, gerinim değeri sürekli olarak azalmaktadır. Bu, kolonun elastik deformasyonunun delik çapı arttıkça azaldığını gösterir, ancak bu azalma kolonun daha az esnek hale geldiğini de gösterebilir. D/h = 0.2 oranında maksimum yükte bir artış gözlemleniyor (%7.92 artış). Ancak, D/h oranı daha da arttıkça, taşıma kapasitesinde belirgin bir azalma (%20.29 ve %15.31) meydana gelmektedir. D/h = 0.2 oranı, kolonun maksimum yük taşıma kapasitesini artırırken, gerinim açısından da makul bir düşüş gösteriyor. Ancak, D/h oranı 0.2'nin üzerine çıktığında, her iki parametrede de olumsuz yönde değişimler meydana gelmektedir. Bu nedenle, D/h = 0.2 oranı en uygun seçenek olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.14. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmamış L=500 kolonunun maksimum yük altında gerinimleri.

Şekil 4.15' e bakıldığında, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış 300 mm yüksekliğindeki kolonun merkezinde açılan deliğin çapı (D) ve kolonun kesit yüksekliği (h) oranlarına göre taşıdığı maksimum yükler ve gerinim değerleri gösterilmektedir. S235 çeliğinin akma gerinimi (yaklaşık 1120 $\mu\epsilon$) kırmızı kesik çizgiyle gösterilmiş olup, bu değer üzerine çıkan gerinim değerleri, kolonun elastik sınırını aştığını ve plastik deformasyona girdiğini belirtir. D/h oranı arttıkça, bazı yükler altında gerinim değerlerinin S235 çeliğinin akma geriliminin üzerine çıktığı gözlemlenebilir. Bu, deliklerin kolonun yapısal bütünlüğünü olumsuz etkilediğini ve plastik deformasyona yol açabileceğini gösterir. Farklı D/h oranlarına sahip kolonların taşıyabileceği maksimum yükler grafikte gösterilmiştir. yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış kolon yüksekliği 300 mm üzerinde delik bulunmayan numune (D/h=0) maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri 1,138x103 $\mu\epsilon$ 'dür. D/h=0,2 olduğunda maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri 1,28x103 $\mu\epsilon$ ' dür. D/h=0,4 olduğunda maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri 1,83x103 $\mu\epsilon$ ' dür D/h=0,6 olduğunda maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri 1,63x103 $\mu\epsilon$ ' dür. D/h = 0.2 oranına ulaştığında, gerinim deliksiz numuneye göre %12.42 oranında artış göstermiştir. Bu artış, kolonun merkezinde açılan delik çapının artmasıyla birlikte malzemenin üzerindeki gerilimin de arttığını göstermektedir. D/h = 0.4 oranında ise gerinimde %61.35 gibi daha belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu, delik çapının daha da genişlemesiyle malzemenin daha fazla gerildiğini ortaya koymaktadır. D/h = 0.6 oranına geldiğimizde, gerinim %42.51 artmıştır. Bu, önceki orana kıyasla daha düşük bir artış olsa da, delik çapının malzeme üzerinde hâlâ önemli bir etki yarattığını göstermektedir. D/h = 0.2 oranında kolonun taşıdığı maksimum yük %5.99 oranında artış göstermiştir. Bu artış, kolonun taşıma kapasitesinde bir iyileşme olduğunu işaret etmektedir. D/h = 0.4 oranında ise taşıma kapasitesinde %13.20 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Bu, delik çapının daha da genişlemesinin, kolonun taşıma kapasitesini olumsuz etkilediğini göstermektedir. D/h = 0.6 oranında taşıma kapasitesindeki azalma %29.44 gibi önemli bir seviyeye ulaşmıştır. Bu, kolonun taşıma kapasitesinin ciddi anlamda düştüğünü ve artık yük taşıma kapasitesinin büyük ölçüde azaldığını göstermektedir. D/h oranı 0.2, 0.4 ve 0.6'ya yükseldikçe gerinimde sırasıyla %12.42, %61.35 ve %42.51 oranında artış gözlemlenmiştir. Bu, kolonun merkezindeki delik çapı arttıkça kolon üzerindeki gerinim değerlerinin de arttığını göstermektedir. D/h oranı 0'dan 0.2'ye yükseldiğinde kolonun taşıdığı maksimum yük %5.99 artmıştır. Ancak D/h oranı 0.4 ve 0.6'ya çıktığında maksimum yük sırasıyla %13.20 ve %29.44 oranında azalmıştır. Bu, belirli bir D/h oranından sonra kolonun taşıma kapasitesinin önemli ölçüde azaldığını

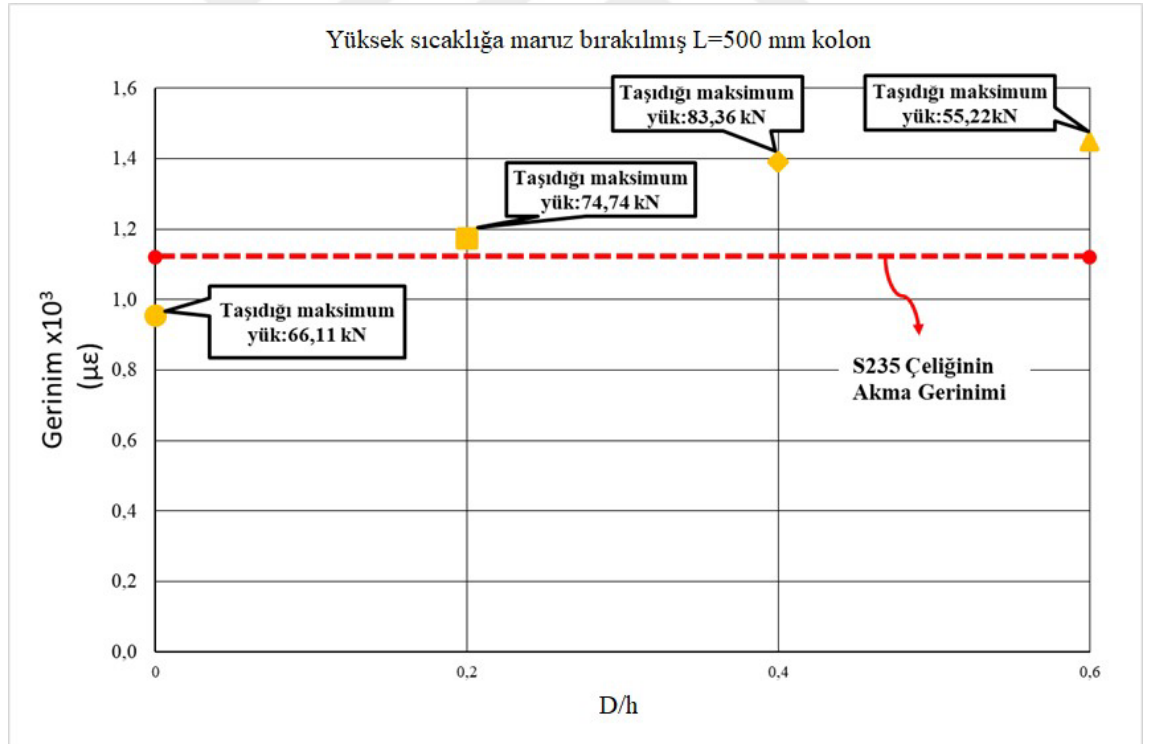
gösterir. D/h oranının artması, gerinim değerlerinde artışa neden olurken, taşıma kapasitesinde belirli bir noktadan sonra azalma meydana gelmiştir. Özellikle D/h = 0.4 ve D/h = 0.6 oranları, taşıma kapasitesinin azaldığı kritik noktalar olarak dikkat çekmektedir.



Şekil 4.15. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış L=300 kolonunun maksimum yük altında gerinimleri.

Şekil 4.16' ya bakıldığında, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış 500 mm yüksekliğindeki kolonun merkezinde açılan deliğin çapı (D) ve kolonun kesit yüksekliği (h) oranlarına göre taşıdığı maksimum yükler ve gerinim değerleri gösterilmektedir. S235 çeliğinin akma gerinimi (yaklaşık 1120 µε) kırmızı kesik çizgiyle gösterilmiş olup, bu değer üzerine çıkan gerinim değerleri, kolonun elastik sınırını aştığını ve plastik deformasyona girdiğini belirtir. D/h oranı arttıkça, bazı yükler altında gerinim değerlerinin S235 çeliğinin akma geriliminin üzerine çıktığı gözlemlenebilir. yüksek sıcaklığa maruz bırakılmayan kolon yüksekliği 500 mm üzerinde delik bulunmayan numune (D/h=0) maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri 0,956x10³ µε'dür. D/h=0,2 olduğunda maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri 1,173x10³ µε'dür. D/h=0,4 olduğunda maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri 1,39x10³ µε'dür D/h=0,6 olduğunda maksimum yüke ulaştığında gerinim değeri 1,446x10³ µε'dür

Yapılan analizde, D/h oranı arttıkça gerinim değerlerinde belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. $D/h = 0.2$ oranında deliksiz numuneye göre gerinim %22.74 oranında artış göstermiştir, bu da delik çapının büyümesiyle malzemenin daha fazla gerildiğini göstermektedir. $D/h = 0.4$ oranında gerinim %18.50 oranında artmıştır, bu da gerilimin daha da arttığını işaret eder. $D/h = 0.6$ oranına ulaşıldığında gerinimde %4.00 oranında artış görülmüştür, bu da önceki oranlara kıyasla daha düşük bir artış olmakla birlikte malzemenin gerilim üzerindeki etkinin devam ettiğini gösterir. Maksimum yük taşıma kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, $D/h = 0.2$ oranında kolonun taşıdığı maksimum yük %13.05 oranında artmıştır, bu da kolonun yük taşıma kapasitesinde bir iyileşme olduğunu belirtir. $D/h = 0.4$ oranında taşıma kapasitesinde %11.55 oranında bir artış gözlemlenmiştir, bu da kapasitenin artmaya devam ettiğini gösterir. Ancak, $D/h = 0.6$ oranında taşıma kapasitesi %33.75 oranında azalmış olup, bu da delik çapının büyümesiyle birlikte kolonun yük taşıma kapasitesinde önemli bir düşüş olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.15. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış $L=500$ kolonunun maksimum yük altında gerinimleri.

4.6. Göçme Modları

Numunelerin göçme modu bölümünde numunelerinin deneylerden sonraki görüntüleri sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 4.4’ de numunelerin göçme modları sunulmuştur. Çizelgede de görüldüğü üzere numunelerin tamamında yerel ve yerel burulmalı burkulma göçme modları gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.4. Numune detayları ve göçme modları

Numuneler	h	B	L	C'	t	S	a	Göçme modu
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
CU240-t2-L300-S50-A0	240	45	300	20	2	50	0	YBB + YB
CU240-t2-L300-S50-A0.2	240	45	300	20	2	50	0,2	YBB + YB
CU240-t2-L300-S50-A0.4	240	45	300	20	2	50	0,4	YBB + YB
CU240-t2-L300-S50-A0.6	240	45	300	20	2	50	0,6	YBB + YB
CU240-t2-L500-S50-A0	240	45	500	20	2	50	0	YBB + YB
CU240-t2-L500-S50-A0.2	240	45	500	20	2	50	0,2	YBB + YB
CU240-t2-L500-S50-A0.4	240	45	500	20	2	50	0,4	YBB + YB
CU240-t2-L500-S50-A0.6	240	45	500	20	2	50	0,6	YBB + YB
BCU240-t2-L300-S50-A0	240	45	300	20	2	50	0	YBB + YB
BCU240-t2-L300-S50-A0.2	240	45	300	20	2	50	0,2	YBB + YB
BCU240-t2-L300-S50-A0.4	240	45	300	20	2	50	0,4	YBB + YB
BCU240-t2-L300-S50-A0.6	240	45	300	20	2	50	0,6	YBB + YB
BCU240-t2-L500-S50-A0	240	45	500	20	2	50	0	YBB + YB
BCU240-t2-L500-S50-A0.2	240	45	500	20	2	50	0,2	YBB + YB
BCU240-t2-L500-S50-A0.4	240	45	500	20	2	50	0,4	YBB + YB
BCU240-t2-L500-S50-A0.6	240	45	500	20	2	50	0,6	YBB + YB

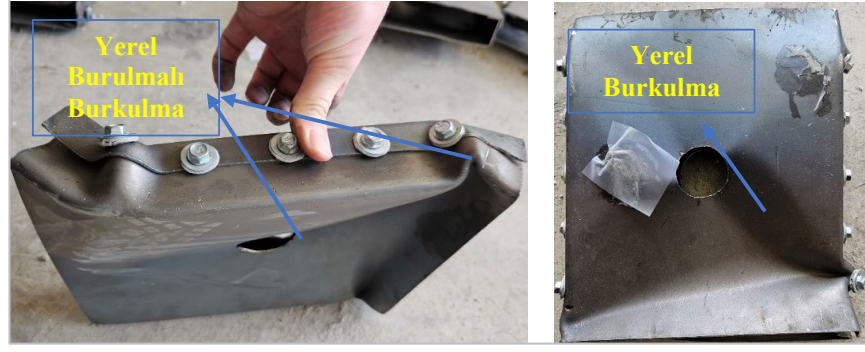
YBB: Yerel burulmalı burkulma; YB: Yerel burkulma

Şekil 4.16~23 arasında numunelerin deneyden sonraki görüntüleri sunulmuştur. CU240-t2-L300-S50-A0 numunesinde hem yerel hem de yerel burulmalı burkulma göçme modu gözlemlenmiştir. Numunenin orta noktasına yakın bölgede ve iki profilin birleşme noktasının olduğu bölgede yerel burulmalı burkulma davranışı gözlemlenmiştir. Ayrıca numunenin gövde bölgesinde ve yine orta noktaya yakın bölgede de yerel burkulma gözlemlenmiştir. CU240-t2-L300-S50-A0.2 numunesinde yerel burulmalı burkulma numunenin mesnet bölgesine yakın bir noktada oluşmuştur. Yerel burulma ise

numunede boşluğa ve orta noktaya yakın bir bölgede oluşmuştur. CU240-t2-L300-S50-A0.4 numunesinde ise boşluk oranı %20 olan numuneye göre bu numunede yerel burulmalı burkulma numunenin orta noktasında meydana gelmiştir. Yerel burulma ise %20 boşluklu numunedekine benzer olarak boşluğa yakın bir bölgede oluşmuştur. Fakat yerel burkulma %40 boşluklu numunede %20 boşluklu numuneye göre daha fazladır. Bu da boşluk oranının artmasının yerel burulmanın büyüklüğünü arttırdığını göstermektedir. CU240-t2-L300-S50-A0.6 numunesinde ise özellikle yerel burulmanın büyüklüğü boşlukla orantılı artmıştır. Yerel burulmalı burkulma ise yine numunenin orta noktasına yakın bir bölgede oluşmuştur. CU240-t2-L500-S50-A0 numunesinde de hem yerle hem de yerel burulmalı burkulma davranışı gözlemlenmiştir. Numune boyunun artması yerel burulmalı burkulmanın numunenin mesnet bölgesinde oluşmasına neden olmuştur. Benzer şekilde numunenin boyunun artması yerel burulmanın mesnete yakın bir bölgede oluşmasına neden olmuştur. CU240-t2-L500-S50-A0.2 numunesinde yerel burulmalı burkulma diğer numunelerdeki gibi orta noktaya yakın bir bölgede oluşmuştur. Bununla birlikte yerel burulma boşluğun etrafında oluşmuştur. Fakat boşluk etrafında oluşan yerel burulmanın büyüklüğü aynı özelliklere sahip 300 mm boyundaki numuneye göre daha büyüktür. Dolayısıyla numunenin boyunun artması aynı boşluk oranına sahip numuneye göre yerel burulmanın artmasına neden olmuştur. CU240-t2-L500-S50-A0.6 numunesinde ise yerel burulmalı burkulma diğer numunelerde olduğu gibi boşluğun etrafında oluşmuştur. Ayrıca boşluk oranının artması ile yerel burulmalı burkulmanın da boyutu artmaktadır.



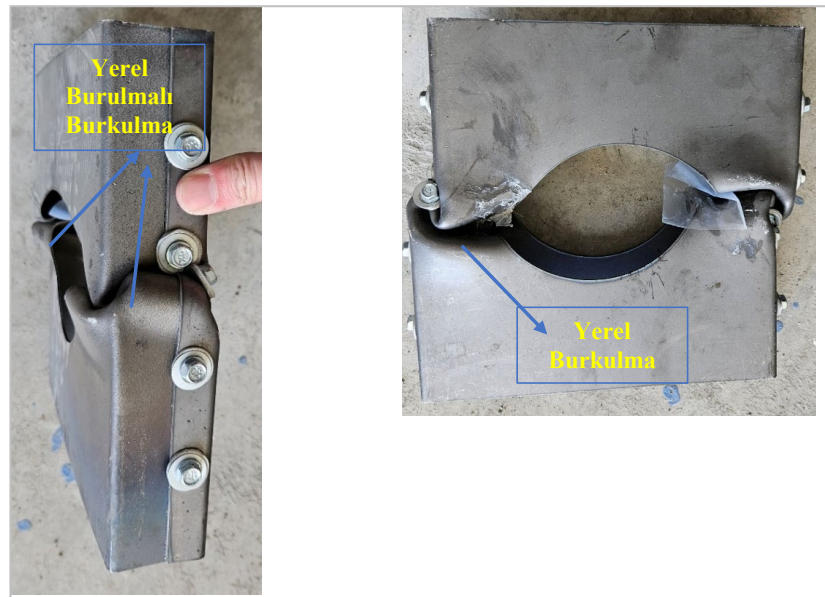
Şekil 4.16. CU240-t2-L300-S50-A0 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



Şekil 4.17. CU240-t2-L300-S50-A0.2 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



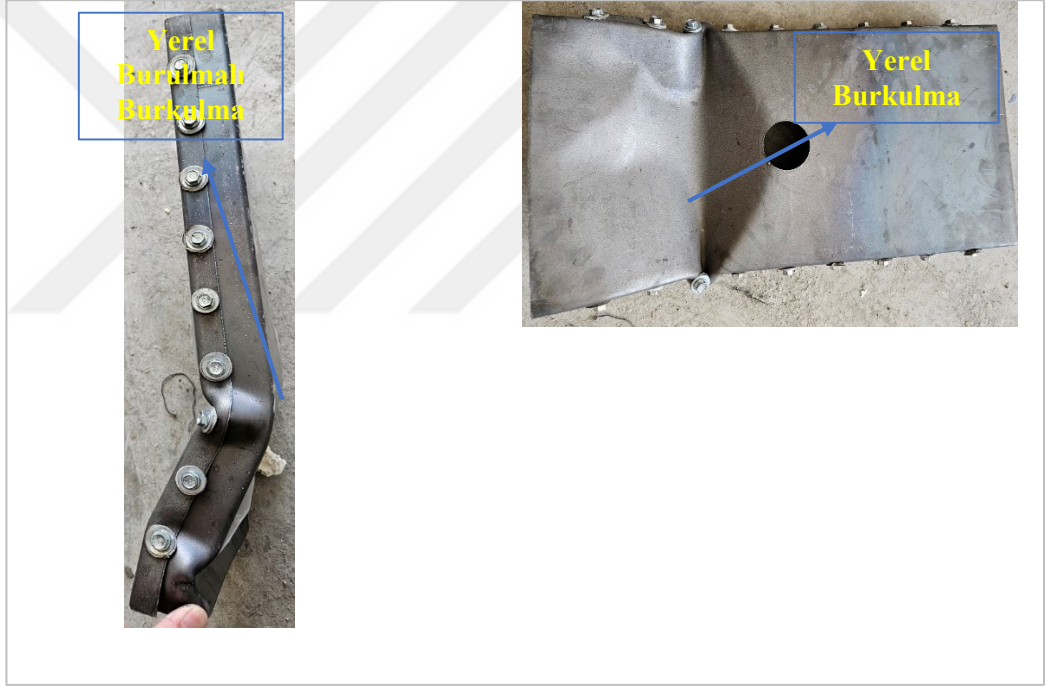
Şekil 4.18. CU240-t2-L300-S50-A0.4 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



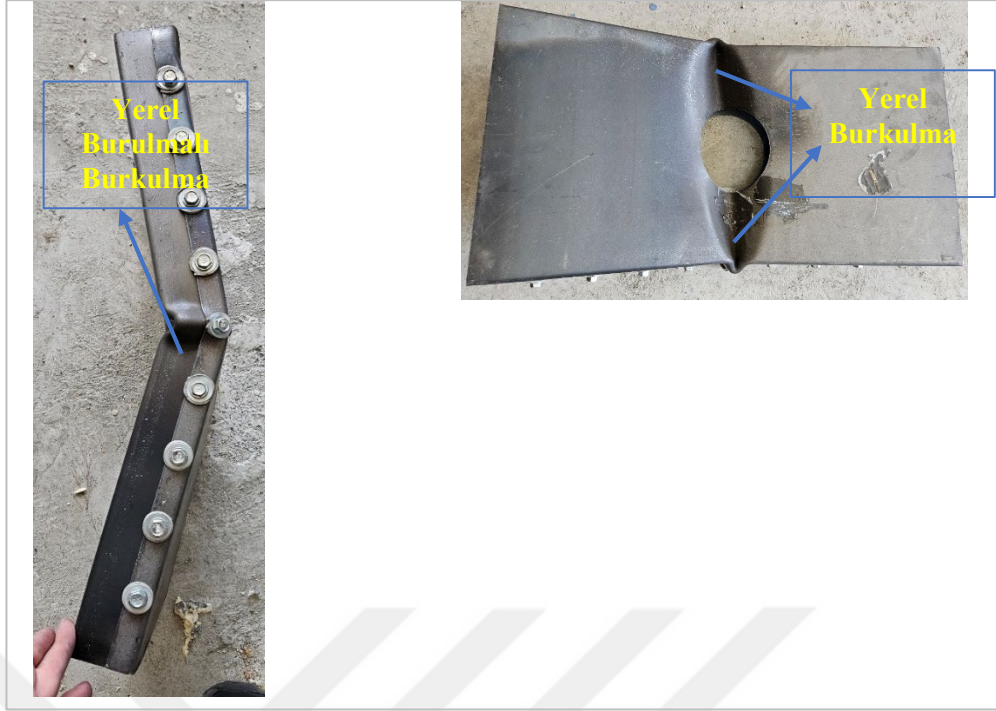
Şekil 4.19. CU240-t2-L300-S50-A0.6 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



Şekil 4.20. CU240-t2-L500-S50-A0 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



Şekil 4.21. CU240-t2-L500-S50-A0.2 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



Şekil 4.22. CU240-t2-L500-S50-A0.4 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



Şekil 4.23. CU240-t2-L500-S50-A0.6 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü

Şekil 4.24' de yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin deneylerden sonraki fotoğrafları sunulmuştur. BCU240-t2-L300-S50-A0 numunesinde yerel burulmalı burkulma iki mesnet bölgesinde oluşmuştur. Ayrıca boşluksuz numunelerde olduğu gibi yerel burulma da mesnet bölgesinde oluşmuştur. Bununla birlikte yüksek sıcaklığa maruz kalan numunenin yüzeyinde meydana gelen renk değişimi de görülmektedir. BCU240-t2-L300-S50-A0.2 numunesinde ise yüksek sıcaklığa maruz kalan numunede boşluk

oranının artmasının hasarın boyutunu ne kadar arttırdığı görülmektedir. Bu numunede hem yerel burulmalı burkulmanın hem de yerel burkulmanın büyüklüğü göze çarpmaktadır. Aynı özelliklere sahip normal ortamda bekletilen numuneye göre hasar seviyesi bu numunede daha fazla olmuştur. Dolayısıyla numunenin yüksek sıcaklığa maruz kalması hasar seviyesini önemli ölçüde arttırmıştır. BCU240-t2-L300-S50-A0.2 numunesinde de normal ortamdaki numuneler gibi boşluk oranının artması yerel burulmalı burkulma hasarının artmasına neden olmuştur. Yerel burulma boşluk etrafında meydana gelmiştir. BCU240-t2-L300-S50-A0.6 numunesinde diğer numunelerde olduğu gibi boşluk oranının artması hasar seviyesini de artmasına neden olmuştur. Bu numunede de hem yerel hem de yerel burulmalı burkulma hasarı meydana gelmiştir. Özellikle yerel burkulma hasarının seviyesi oldukça fazladır. Bu duruma da artan boşluk oranını neden olmuştur. BCU240-t2-L500-S50-A0 numunesinde narinliğin artması hasar seviyesinin artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte BCU240-t2-L500-S50-A0.2 ve BCU240-t2-L500-S50-A0.4 numunelerinde de boşluk oranının artması yüksek sıcaklığa maruz kalmış numuneler arasında da hasar seviyesinin artmasına neden olmuştur. Bu numunelerde de hem yerel hem de yerel burulmalı burkulma hasarları meydana gelmiştir. Benzer şekilde boşluk oranının %60 oranına çıkarılması da hasar seviyesinin artmasına neden olmuştur. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere numunelerin narinliğinin artması, boşluk oranının artması ve yüksek sıcaklığa maruz kalması durumunda hem yerel hem de yerel burulmalı burkulma hasar seviyesi önemli ölçüde artmaktadır.



Şekil 4.24. BCU240-t2-L300-S50-A0 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



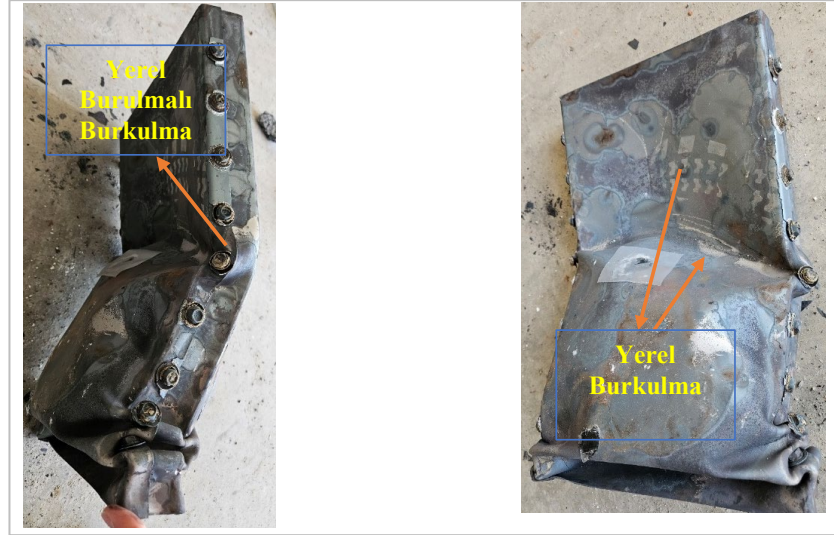
Şekil 4.25. BCU240-t2-L300-S50-A0.2 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



Şekil 4.26. BCU240-t2-L300-S50-A0.4 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



Şekil 4.27. BCU240-t2-L300-S50-A0.6 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



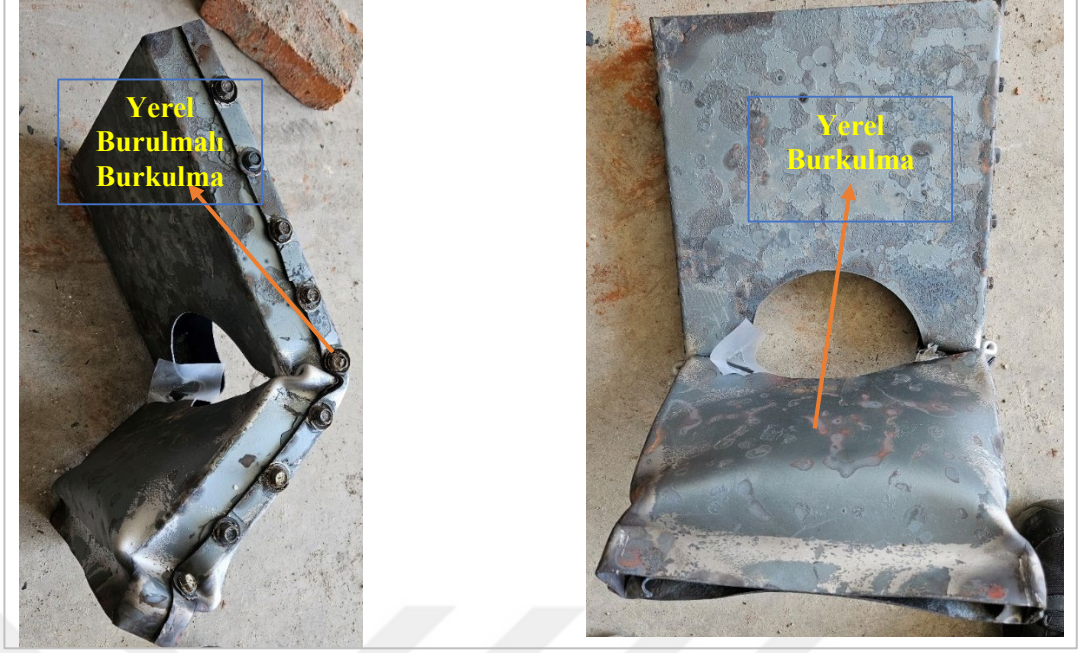
Şekil 4.28. BCU240-t2-L500-S50-A0 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



Şekil 4.29. BCU240-t2-L500-S50-A0.2 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



Şekil 4.30. BCU240-t2-L500-S50-A0.4 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü



Şekil 4.31. BCU240-t2-L500-S50-A0.6 numunesinin deneyden sonraki görüntüsü

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, eksenel yük altındaki dairesel boşluklara sahip soğuk şekillendirilmiş çelik kolonların burkulma davranışı incelenmiştir. Farklı çaplara sahip dairesel boşlukların, kolonların taşıma kapasitesi, yerel ve yerel burulmalı burkulma modları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Hem yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış hem de normal koşullardaki numuneler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

Sonuçlar:

1. Taşıma Kapasitesi:

- **Boşluksuz numuneler** en yüksek eksenel yük taşıma kapasitesine sahip olmuştur. Hem yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış hem de normal numunelerde boşluk oranı arttıkça taşıma kapasitesinde belirgin bir azalma gözlenmiştir.
- **$D/h = 0.2$** olan numuneler, boşluksuz numunelere kıyasla nispeten yüksek taşıma kapasitesi göstermiştir ve bu oran, taşıma kapasitesi açısından en iyi performansı sergilemiştir.
- **$D/h = 0.4$ ve 0.6** boşluk oranlarına sahip numunelerde, taşıma kapasitesi belirgin şekilde düşmüştür. Özellikle $D/h = 0.6$ oranında taşıma kapasitesi en düşük seviyeye gerilemiştir.

2. Burkulma Davranışları:

- Boşluk oranı arttıkça, yerel burulmalı burkulma modları daha baskın hale gelmiştir. Özellikle $D/h = 0.4$ ve $D/h = 0.6$ oranlarına sahip numunelerde, yerel burkulma modlarına ek olarak yerel burulmalı burkulma da gözlemlenmiştir.

- Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerde burkulma davranışı daha belirgin hale gelmiş, boşluk oranı arttıkça burkulmanın daha hızlı geliştiği görülmüştür.

3. Yüksek Sıcaklık Etkisi:

- Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde, taşıma kapasitesi genel olarak normal numunelere göre daha düşüktür. Yüksek sıcaklık etkisi, özellikle büyük boşluk oranlarına sahip numunelerde taşıma kapasitesini daha fazla azaltmıştır.

Öneriler:

1. **Tasarımda Boşluk Oranı Seçimi:** Dairesel boşlukların kolon taşıma kapasitesine olumsuz etkileri göz önüne alındığında, özellikle taşıma kapasitesinin kritik olduğu yapılarda boşluk oranlarının sınırlı tutulması önerilmektedir. Bu çalışmada $D/h = 0.2$ oranı, hem taşıma kapasitesi hem de burkulma direnci açısından en uygun performansı göstermiştir.
2. **Yüksek Sıcaklık Dayanımı İçin Güçlendirme:** Yüksek sıcaklığa maruz kalan kolonlarda taşıma kapasitesinde önemli düşüşler yaşanmıştır. Yüksek sıcaklık dayanımını artırmak amacıyla kolonların yüksek sıcaklık yalıtım kaplamalarıyla güçlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, yüksek sıcaklığa maruz kalacak yapı elemanlarında boşluk oranlarının minimize edilmesi gereklidir.
3. **Yerel Burulmalı Burkulma Riskine Karşı Önlem:** Yerel burulmalı burkulma özellikle büyük boşluk oranlarında daha yaygın gözlemlenmiştir. Bu durumu minimize etmek için kolonların boyutlarının optimize edilmesi ve gerekli yerlerde ek yapısal desteklerin kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Chen, B., Roy, K., Uzzaman, A. and Lim, J.B.P. 2020. Moment capacity of cold-formed channel beams with edge-stiffened web holes, un-stiffened web holes and plain webs. *Thin-Walled Structures*, 157, 107070.
- Moen, C.D. and Schafer, B.W. 2009. Elastic buckling of cold-formed steel columns and beams with holes. *Engineering Structures*, 31(12), 2812-2824.
- Moen, C.D. and Schafer, B.W. 2009. Elastic buckling of thin plates with holes in compression or bending. *Thin-Walled Structures*, 47(12), 1597-1607.
- Smith, F.H. and Moen, C.D. 2014. Finite strip elastic buckling solutions for thin-walled metal columns with perforation patterns. *Thin-Walled Structures*, 79, 187-201.
- Hancock, G.J. 1997. Design for distortional buckling of flexural members. *Thin-Walled Structures*, 27(1), 3-12.
- Craveiro, H.D., Rahnavard, R., Laím, L., Simões, R.A. and Santiago, A. 2022. Buckling behavior of closed built-up cold-formed steel columns under compression. *Thin-Walled Structures*, 179, 109493.
- Becque, J. and Rasmussen, K.J.R. 2009. A numerical investigation of local–overall interaction buckling of stainless steel lipped channel columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(8–9), 1685-1693.
- Becque, J. and Rasmussen, K.J.R. 2009. Experimental investigation of local-overall interaction buckling of stainless steel lipped channel columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(8–9), 1677-1684.
- Teng, J.G., Yao, J. and Zhao, Y. 2003. Distortional buckling of channel beam-columns. *Thin-Walled Structures*, 41(7), 595-617.
- Roy, K., Ting, T.C.H., Lau, H.H. and Lim, J.B.P. 2018. Experimental investigation into the behavior of back-to-back gapped built-up cold-formed steel channel sections under compression. *Missouri University of Science and Technology, Conference Proceedings*, 1-10.
- Li, L.Y. and Chen, J.K. 2008. An analytical model for analysing distortional buckling of cold-formed steel sections. *Thin-Walled Structures*, 46(12), 1430-1436.
- Anbarasu, M. 2016. Local-distortional buckling interaction on cold-formed steel lipped channel beams. *Thin-Walled Structures*, 98(B), 351-359.
- Chen, M., Fan, S., Tao, Y., Li, S. and Liu, M. 2018. Design of the distortional buckling capacity of stainless steel lipped C-section columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 147, 116-131.
- Niu, S., Rasmussen, K.J.R. and Fan, F. 2014. Distortional–global interaction buckling of stainless steel C-beams: Part I - Experimental investigation. *Journal of Constructional Steel Research*, 96, 127-139.

- Fan, S., Mo, H., Ding, Z., Zeng, S. and Jiang, Q. 2021. Research on local buckling capacity of lipped C-section stainless steel beams under weak axis bending. *Structures*, 33, 3570-3587.
- Fan, S., Wu, Y., Du, L., Liu, M. and Wu, Q. 2022. Experimental study and numerical simulation analysis of distortional buckling capacity of stainless steel lipped C-section beams. *Engineering Structures*, 250, 113428.
- Fan, S., Chen, M., Li, S., Ding, Z., Shu, G. and Zheng, B. 2019. Stainless steel lipped C-section beams: Numerical modelling and development of design rules. *Journal of Constructional Steel Research*, 152, 29-41.
- Fan, S., Dong, D., Zhu, T., Wang, J. and Hou, W. 2022. Experimental study on stainless steel C-columns with local-global interaction buckling. *Journal of Constructional Steel Research*, 198, 107516.
- Fan, S., Liu, F., Zheng, B., Shu, G. and Tao, Y. 2014. Experimental study on bearing capacity of stainless steel lipped C section stub columns. *Thin-Walled Structures*, 83, 70-84.
- Sputo, T. and Tovar, J. 2005. Application of direct strength method to axially loaded perforated cold-formed steel studs: Longwave buckling. *Thin-Walled Structures*, 43(12), 1852-1881.
- Živaljević, V., Jovanović, Đ., Kovačević, D. and Džolev, I. 2022. The influence of web holes on the behaviour of cold-formed steel members: A review. *Buildings*, 12(8), 1091.
- Yuan, W., Yu, N. and Li, L. 2017. Distortional buckling of perforated cold-formed steel channel-section beams with circular holes in web. *International Journal of Mechanical Sciences*, 126, 255-260.
- Huang, X. and Zhu, J. 2016. A stiffened-plate buckling model for calculating critical stress of distortional buckling of CFS columns. *International Journal of Mechanical Sciences*, 119, 237-242.
- Wu, Y., Fan, S., Du, L. and Wu, Q. 2021. Research on distortional buckling capacity of stainless steel lipped C-section beams. *Thin-Walled Structures*, 169, 108453.
- Fang, Z., Roy, K., Chen, B., Xie, Z. and Lim, J.B.P. 2022. Local and distortional buckling behaviour of aluminium alloy back-to-back channels with web holes under axial compression. *Journal of Building Engineering*, 47, 103837.