

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**BOYLER KAZANLARIN SERPANTİN BORULARINDA
GERİLME ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Fatih ASLAN

Danışman

Prof.Dr. Kemal YILDIZLI

SAMSUN
2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatih ASLAN tarafından, **Prof. Dr. Kemal YILDIZLI** danışmanlığında hazırlanan “**BOYLER KAZANLARIN SERPANTİN BORULARINDA GERİLME ANALİZİ**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 05.12.2024 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Kemal YILDIZLI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Prof. Dr. Lütfü NAMLI Samsun Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Doç. Dr. Mahmut Can ŞENEL Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Faik Ahmet SESLİ
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

05/12/ 2024
Fatih ASLAN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : BOYLER KAZANLARIN SERPANTİN BORULARINDA GERİLME ANALİZİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 24.12.2024 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 10

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

24 /12 / 2024
Prof. Dr. Kemal YILDIZLI

ÖZET

BOYLER KAZANLARIN SERPANTİN BORULARINDA GERİLME ANALİZİ

Fatih ASLAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Aralık/2024
Danışman: Prof. Dr. Kemal YILDIZLI

Boyerler farklı türleri bulunan ısı kaynaklarından sağlanan ısı enerjisini, bünyesinde bulundurmuş olduğu akışkanın içerisinde depolayan mekanik tesisat elemanlarıdır. Isı kaynaklarından gelen akışkanı, boyler kazanlarının içerisinde bulunan serpantin adı verilen kıvrımlı borularda dolaşımını sağlar. Bu sayede boyler haznesinde bulunan akışkana serpantin borularında dolaşan enerji aktarımı sağlanarak, akışkanın ısınması sağlanır. Serpantin, düz bir konstrüksiyona sahip boruların uç uca kaynaklanarak tasarıma uygun şekilde bükülmesi ile oluşur. Oluşan bu kıvrımlı tasarımın içerisinde akışkanın hareket edebilmesi için basınç etki eder. Etki eden bu basınç, boru yüzeyinde gerilmelere sebep olmaktadır. Küresel bir sorun haline gelen enerji krizi, boyler vb. enerji tasarrufu sağlayan endüstriyel ürünlerin kullanımının yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Kullanımının yaygınlaşması ile beraber çatlak sızdırmazlık vb. gibi sorunlar da artmaya başlamıştır.

Bu çalışmada tesisat sisteminde çalışır halde bulunan boylerlerin, serpantin borularında meydana gelen çatlama sorunlarına sebep olan gerilmeler araştırılmıştır. Serpantin borusunun, bilgisayar destekli tasarım programında modellenmesi yapılmıştır. Yapılan üç boyutlu modele sistemde etki eden 15 bar'a kadar olan basınç kuvvetleri analiz programında tanımlanarak uygulanmıştır. Uygulanan basınçlar neticesinde kritik noktalar analiz programında belirlenmiştir. Kritik noktaların belirlenmesi ile belirlenen noktalara strain gauge adı verilen gerinim ölçer bantlar yapıştırılmıştır. Değişken şartlarda voltaj ölçümleri devreler vasıtası ile alınarak gerinim hesapları yapılmıştır. Elde edilen gerinim değerleri çalışmada sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Boyler, serpantin, gerilme kuvveti, gerinim ölçer.

ABSTRACT

STRESS ANALYSIS IN SERPANTINE PIPES OF BOILER

Fatih ASLAN
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering
Master, December/2024
Supervisor: Prof. Dr. Kemal YILDIZLI

Boilers are mechanical installation elements that store the heat energy provided from different types of heat sources in the fluid it contains. It circulates the fluid coming from heat sources in curved pipes called serpentine located inside the boiler chambers. In this way, the fluid in the boiler chamber is heated by transferring the energy circulating in the serpentine pipes. Serpentine is formed by welding pipes with a straight construction end to end and bending them in accordance with the design. Pressure acts inside this curved design in order for the fluid to move. This pressure causes stresses on the pipe surface. The energy crisis, which has become a global problem, has led to the widespread use of energy-saving industrial products such as boilers. With the widespread use, problems have also started to increase. The problems encountered in boilers are generally the incomplete use of the equipment by the consumer, serpentine burst and sealing elements problems. Among the aforementioned problems, serpentine burst is one of the most common manufacturer-related faults.

In this study, the stresses that cause cracking problems in the serpentine pipes of the boilers operating in the installation system were investigated. The serpentine pipe was modeled in a computer-aided design program. Pressure forces up to 15 bar acting on the system were defined and applied to the three-dimensional model in the analysis program. As a result of the applied pressures, critical points were determined in the analysis program. Strain gauge tapes called strain gauges were attached to the points determined by determining the critical points. Voltage measurements under varying conditions were taken by means of circuits and strain calculations were made. The strain values obtained are presented in the study.

Keywords: Boiler, serpentine, straining stress, straining gauge.

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında katkılarını esirgemeyen, değerli bilgilerini paylaşan, destek olan ve sorduğum her soruyu en ince ayrıntısına kadar paylaşan değerli danışman hocam Prof. Dr. Kemal YILDIZLI' ya çok teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince zamanını Lisansüstü tez izleme raporlarını ve değerlendirmeye ayıran sayın Prof. Dr. Lütfü NAMLI ve Doç. Dr. Mahmut Can ŞENEL 'e teşekkürü bir borç bilirim. Bu süreçte göstermiş oldukları sonsuz anlayış ve hoşgörüden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmasında yardımlarından dolayı Öğr. Gör. Dr. Harun SÜMBÜL'e teşekkür ederim.

Araştırma sürecinde desteklerinden dolayı aileme çok teşekkür ederim.

Fatih ASLAN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Tez Kapsamı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE İNCE CİDARLI SİLİNDİR TEORİSİ.....	3
2.1. İnce Cidarlı Silindirde Gerilme ve Şekil Değiştirme Analizi	12
2.1.1. İnce Cidarlı Silindirde Gerilmeler.....	13
3. MATERYAL VE METOT.....	16
3.1. Boyler.....	16
3.1.1. Boyler Kullanım Alanları.....	16
3.1.2. Boyler Türleri.....	18
3.1.3. Boyler Yalıtım Malzemeleri	19
3.2. Serpantin	19
3.2.1. Serpantin İmalatı.....	21
3.3. Strain Gauge (Gerinim Ölçer).....	27
3.3.1. Strain Gauge Konstrüksiyonu	29
3.4. Metot.....	33
3.5. Doğruluk	35
3.6. Kabuller ve İhmaller	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
5. SONUÇ	48
6. KAYNAKLAR	50
7. ÖZ GEÇMİŞ.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

CAD	: Computer Aided Design
N	: Newton
μm	: Mikro Metre
m^2	: Metre Kare
mm^2	: Milimetre Kare
P	: Basınç (bar)
$^\circ$: Derece
σ	: Normal Gerilme
σ_T	: Teğetsel Gerilme
σ_E	: Eksenel Gerilme
τ	: Kayma Gerilmesi
d	: Ortalama Çap
d_i	: İç Çap
d_d	: Dış Çap
t	: Et Kalınlığı
ν	: Poisson Oranı
E	: Elastisite Modülü
ε_x	: X Eksenindeki Birim Şekil Değişirme
ε_y	: Y Eksenindeki Birim Şekil Değişirme
α	: Asal Eksen Takımı ile Yapılan Aç
γ	: Kayma Açısı
r	: Yarı Çap
Maks	: Maksimum
Min	: Minimum
\emptyset	: Çap
SG2	: Kaynak Teli Modeli
3D	: 3 Boyutlu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.2.1. İç basınç etkisinde bulunan ince cidarlı silindirde gerilmeler (E. Koç, İ. Keleş, 2012)	13
Şekil 2.2.2. İki boyutlu bir cisimde gerilme-şekil değişimi ilişkisi (E. Koç, İ. Keleş, 2012)	15
Şekil 3.1. Boyler kullanım alanları (Apamet Katalog, 2023)	17
Şekil 3.2 Tek serpantinli boyler (Apamet Katalog, 2023)	18
Şekil 3.3. Çift serpantinli boyler (Apamet Katalog, 2023)	19
Şekil 3.4. Boru alın kaynak	21
Şekil 3.5. Büküm aşaması	22
Şekil 3.6. Serpantin büküm teknik resim	22
Şekil 3.7. Patent dirsek.....	23
Şekil 3.8. Manşon	23
Şekil 3.9. Patent dirsek ve manşon montaj	24
Şekil 3.10. Manşon ve patent dirsekin serpantine montajı.....	24
Şekil 3.11. Serpantin test	25
Şekil 3.12. Serpantin kaçak onarımı	25
Şekil 3.13. Serpantin montaj işlemi	26
Şekil 3.14. Serpantin modeli	26
Şekil 3.15. Direnç telleri (Ertürk,2005)	27
Şekil 3.16. Genel amaçlı kullanılan strain gauge tipleri (Ertürk,2005).....	28
Şekil 3.17. Özel amaçlı kullanılan strain gauge tipleri (Ertürk,2005).....	28
Şekil 3.18. Wheatstone köprü devresi (RMC Mühendislik Katalog, 2024)	29
Şekil 3.19. Yapıştırılamayan strain gauge (Ertürk, 2005).....	30
Şekil 3.20. Yapıştırılabilen strain gauge (RMC Mühendislik Katalog, 2024).....	30
Şekil 3.21. Devre kartı	31
Şekil 3.22. Strain gaugeli Wheatstone devresi (RMC Mühendislik Katalog, 2024)	32
Şekil 3.23. Amplifikatör	32
Şekil 3.24. Köprü sinyallerinin gösterim şeması (E. Koç, İ. Keleş, K. Yıldızlı, 2012)	33
Şekil 3.25. Strain gauge yapıştırma işlemi.....	34
Şekil 3.26. Araştırma düzeneği	35
Şekil 4.1. Strain gauge konumları.....	38
Şekil 4.2. Teğetsel gerilme karşılaştırması	46
Şekil 4.3. Eksenel gerilme karşılaştırması	47

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. P235TR1 Alaşımlı siyah elik kimyasal bileşim (Baogangsteelpipe, 2024).....	20
Tablo 3.2. P235TR1 Alaşımlı siyah elik mekanik zellikleri (Baogangsteelpipe, 2024)	20
Tablo 3.3. Litrelere göre serpantin yüzey alanı (Apamet Katalog, 2023).....	20
Tablo 3.4. Basınç altında kritik nokta belirleme	34
Tablo 4.1. Direnç değerleri	39
Tablo 4.2. Direnç değerleri	41
Tablo 4.3. ϵ değerleri	42
Tablo 4.4. Gerilme değerleri	43
Tablo 4.5. Teorik gerilme değerleri	45
Tablo 4.6. Teorik ve pratik olarak hesaplanan gerilme farkları	45



1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Boyer kazanları, endüstriyel ve ticari alanlarda sıkça kullanılan, sıcak su üretiminde önemli bir rol oynayan cihazlardır. Bu kazanlarda, genellikle içerisinde bulunan serpantin boruları, suyun ısıtılması ve taşınması için kritik bir bileşen olarak karşımıza çıkar. Serpantin borularının doğru tasarımı ve mukavemeti, kazanın verimliliği ve güvenliği açısından büyük önem taşır.

Gerilme analizi, serpantin borularının tasarımında ve işletiminde karşılaşılabilecek mekanik gerilme durumlarını değerlendiren kritik bir süreçtir. Bu analiz, boruların malzeme özellikleri, geometrisi, içerisinde dolaşan sıvının basıncı, sıcaklığı ve kazanın işletim koşulları gibi faktörleri dikkate alarak yapılır.

Serpantin borularının gerilme analizinde temel amaç, boru duvarlarında oluşabilecek maksimum gerilme değerlerini belirlemek ve bu değerlerin borunun dayanıklılık sınırları içinde olmasını sağlamaktır. Aşırı gerilmeler, malzeme yorgunluğuna yol açabilir veya borunun ani arızalanmasına neden olabilir, bu da kazanın güvenliği ve sürekliliği açısından ciddi riskler oluşturabilir.

Bu çalışmanın amacı, boyler kazanlarında kullanılan serpantin borularının gerilme analizine odaklanmak ve bu boruların güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli olan mühendislik prensiplerini anlatmaktır. Makalede, boruların tasarımında dikkate alınması gereken parametreler, gerilme analizinin matematiksel ve fiziksel temelleri, çeşitli boru malzemelerinin performans özellikleri ve gerilme analizinde kullanılan hesap yöntemleri gibi konular ele alınacaktır.

Sonuç olarak, boyler kazanlarının serpantin borularında gerilme analizi, kazanların güvenliği, dayanıklılığı ve verimliliği için kritik öneme sahiptir. Bu analiz, mühendislik standartlarına uygun olarak yapılmalı ve kazanın işletim ömrü boyunca boruların sağlam kalmasını sağlamak için düzenli olarak tekrarlanmalıdır.

1.2. Tez Kapsamı

Bu Yüksek lisans tez çalışması 6 ana bölümden oluşmaktadır.

1. Bölümde boylerler hakkında bilgi ve içerisinde bulunan serpantin boruları hakkında bilgi verilmiştir.
2. Bölümde literatürde bulunan bu konuyla ilgili diğer çalışmalar ve araştırmalar incelenmiştir.
3. Bölümde boyler tasarım ve imalat süreçleri hakkında bilgi verilmiştir. Prosesler halinde üretim süreçleri sunulmuştur.
4. Bölümde yapılan araştırmanın boyler içerisinde bulunan serpantin borusunun CAD çizimleri üzerinden analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen kritik noktalar belirtilmiştir. Belirlenen kritik noktalara gerekli testler yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.
5. Bu bölümde yapılan testler sonucunda elde edilen veriler paylaşılmıştır. Bu veriler doğrultusunda gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.
6. Bölümde yapılan araştırma sonucunda serpantin boru üzerindeki gerilmeler hesaplanarak sunulmuştur. Bilimsel veriler elde edilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE İNCE CİDARLI SİLİNDİR TEORİSİ

Evrensel olarak yaşanan enerji krizi araştırmacıları enerji depolama yöntemlerine daha fazla yönlendirmiştir. Boyler de enerji depolama araçlarından olarak araştırmalarda daha fazla yer bulmaya başlamıştır. Boylerlerde bulunan serpantin adı verilen kıvrımlı boru ile enerji transferi sağlanılmaktadır.

2023 yılında H. Yıldızhan, Boyler destekli vakum tüplü güneş kolektör sisteminin farklı parametrelere göre ekserji analizini doktora tezi olarak sunmuştur. Farklı debilerde yapmış olduğu çalışmada debinin artması sonucunda kolektör giriş sıcaklığının arttığını, sıcaklık farkının ve çıkış sıcaklığının azaldığını tespit etmiştir. (Yıldızhan, 2023)

2021 yılında Y. A. Döğücü, Boyler kazanlarının üretim parametreleri değişimine bağlı olarak ısı performansının incelenmesi konusunda araştırma yapmıştır. Yapılan araştırma tez olarak sunulmuştur. Farklı yalıtım malzemelerinin deneyinin yapılması sonucunda gözlemlenen veriler incelenerek yorumlanmıştır. Poliüretan yalıtım malzemesine sahip boylerlerin ısı yalıtımının fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Verimlilik hesabının da yapılması sonucunda en üstün sonuçlar poliüretan yalıtım malzemesinde alınmıştır. (Döğücü, 2021)

2015 yılında K. Sarımeşe, Split kimalarda boyler kullanılarak sürekli sıcak su temini, enerji verimliliği ile termodinamik ve termoeconomik yönden uygunluğunu araştırmıştır. Ve tez olarak sunmuştur. Klima kullanımından önce boyler kullanılarak kondenserin yükü azaltılmış ve enerji tüketimi düşürülmüştür. Tasarlanmış olduğu sistemde termodinamik ve termoeconomik analizler de yapılmıştır. Boylerli kullanımda enerji verimliliğinin arttığı görülmüştür. (Sarımeşe, 2015)

2017 yılında R. Kaya, Trijenerasyon sisteminde gaz motoru ünitesi yağlama yağının soğutulmasından elde edilen enerjinin boyler sisteminde kullanılmasını araştırmıştır. Yüksek lisans tezi olarak sunmuştur. Yağlama yağı soğutma suyu atık ısısından faydalanılan bir sistemin, atık ısısının geri kazanılması ve boylerde depolanarak ön ısıtma olarak kullanılmasından sistemin enerji verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. (Kaya,2017)

2022 yılında A. Evcimen, Endüstriyel boylerlerde ısı ve akışkan geçişinin sayısal analizini incelemiştir ve yüksek lisans tezi olarak sunmuştur. Farklı açılara sahip olan serpantin borusunun ısı performansları sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda koniklik açısı yüksek olan serpantin kullanım durumunda daha yüksek ısı transferine sahip olduğu gözlemlenmiştir. (Evcimen, 2022)

2023 yılında H. Avcı, Yoğuşmalı boyler tasarım parametrelerinin sayısal, deneysel ve yapay sinir ağları yöntemleri ile optimize edilmesini araştırarak yüksek lisans tezi şeklinde sunmuştur. Isı transferini etkileyen kazan tasarım parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamında yüksek kapasiteli ve düşük emisyonlu duvar tipi yoğuşmalı kazan prototipi yapılmıştır. (Avcı, 2023)

2011 yılında M. Yavuz, Bilgisayar destekli kalıp modelleme ile boru bükme kalıbı tasarımı ve üretim parametrelerinin incelenmesi üzerine araştırma yaparak yüksek lisans tezi halinde sunmuştur. Boru büküm işleminin ayrıntılı bir şekilde ele alındığı araştırmada boru bükmede karşılaşılan problemlerin oluşmaması için yapılması gerekenler açıklanmıştır. (Yavuz, 2011)

2012 yılında E. Koç, İ. Keleş ve K. Yıldızlı tarafından strain gauge deney föyü hazırlanmıştır. Cisme etki eden kuvvetin, cisim üzerinde meydana getirmiş olduğu şekil değişimleri strain gaugeler yardımı ile ölçülmüştür. Strain gauge ile yapılan ölçüm tekniğinin esasları anlatılmıştır. (Koç, Keleş ve Yıldızlı, 2012)

2005 yılında Ö. Ertürk tarafından hazırlanan Deneysel gerilme analizinde kuvvet ve tork ölçme isimli yüksek lisans tezi yayınlanmıştır. Strain gauge ile yapılan ölçümler sonucunda strain gauge tipinin tespit edilmesi ve gerekli şartların bilgisi verilmiştir. (Ertürk, 2005)

RMC Mühendisliğin strain gaugeler üzerine yapmış olduğu çalışmalar incelenmiştir. Strain gauge hesaplamaları, yapısı ve çalışma prensipleri hakkında bilgiler sunulmuştur. (RMC Mühendislik Katalog, 2024)

İnce Cidarlı Tüplerin Teori ve Uygulamaları adlı çalışmada, K. R. Rajagopal ve C. R. Calladine, ince cidarlı boruların mekanik davranışını teorik ve uygulamalı yaklaşımlarla incelemişlerdir. Çalışmada, özellikle bu tür boruların elastik, plastik ve viskoelastik deformasyonlarını incelemişlerdir. Boruların farklı yükleme koşulları

altında nasıl davrandığını açıklayarak bu davranışları modellemeye yönelik teorik bilgiler sunulmuştur. Sonuç olarak, ince cidarlı boruların mühendislik uygulamalarındaki kritik önemi vurgulanmış ve mevcut teorilerin doğruluğu pratik örneklerle desteklenmiştir. (K. R. Rajagopal, C. R. Calladine, 2019)

İnce Cidarlı Boruların Kombine Yükleme Koşulları Altında Mekanik Davranışı başlıklı çalışmada, yazarlar S. T. Wang ve Z. Y. Zhang, ince cidarlı boruların çeşitli yükleme koşulları altında nasıl davrandığını incelemiştir. Makalede, boruların aksel, burulma ve eğilme gibi farklı yükleme senaryoları altında deformasyon ve mukavemet performansları analiz edilmiştir. Sonuçlar, kombine yükleme durumlarında ince cidarlı boruların elastik ve plastik davranışlarının daha karmaşık olduğunu ve geleneksel tek akselli yükleme teorileriyle yeterince açıklanamayacağını göstermektedir. (S. T. Wang, Z. Y. Zhang, 2020)

Yapısal Uygulamalar İçin İnce Cidarlı Tüplerin İleri Analizi adlı makalede, R. L. Brown ve K. M. Thompson, ince cidarlı boruların yapısal uygulamalarındaki davranışlarını incelemiştir. Çalışmada, boruların farklı yükleme durumları altında nasıl tepki verdiği ayrıntılı analizlerle ele alınmıştır. Özellikle; burulma, bükülme ve aksel yükleme gibi karmaşık yükleme senaryolarının etkileri vurgulanmıştır. Sonuç olarak, ince cidarlı boruların bu tür durumlarda yüksek mukavemet performansı gösterdiği ve bu yapıların mühendislik uygulamalarında kritik bir rol oynadığı belirtilmiştir. (R. L. Brown, K. M. Thompson, 2021)

İnce Cidarlı Tüplerin Darbe Davranışı: Deneysel ve Sayısal Çalışmalar başlıklı çalışmada, J. K. Kim ve H. C. Choi, ince cidarlı boruların darbe etkisi altında nasıl davrandığını hem deneysel hem de sayısal yöntemlerle incelemiştir. Çalışmada, boruların çarpışma sırasında enerji soğurma kapasitelerini ve deformasyon mekanizmaları araştırılmıştır. Sonuçlar, ince cidarlı boruların enerji emiliminde etkin olduğu ve bu davranışların sayısal simülasyonlarla başarılı bir şekilde öngörülebildiğini göstermektedir. Bu tür boruların, otomotiv ve havacılık gibi sektörlerdeki güvenlik uygulamaları için uygun olduğu vurgulanmıştır. (J. K. Kim, H. C. Choi, 2022)

Otomotiv Uygulamaları İçin İnce Cidarlı Borular: Tasarım ve Test başlıklı çalışma, otomotiv endüstrisinde kullanılan ince cidarlı tüplerin tasarımı ve test edilmesi

üzerine odaklanmaktadır. Araştırma, bu tüplerin çarpışma performansı, ağırlık azaltma, enerji emme kapasiteleri gibi kritik faktörleri incelemektedir. Miller ve Williams, çeşitli malzeme kombinasyonları ve tüp geometrilerinin performansını test ederek, optimum tasarım parametrelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu bağlamda, simülasyonlar ve fiziksel testler yoluyla tüplerin davranışlarını analiz etmişlerdir. Çalışma, ince cidarlı tüplerin otomotiv sektöründe enerji emilimi ve hafiflik sağlama açısından büyük bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırmacılar, belirli malzeme kombinasyonları ve tüp geometrilerinin çarpışma sırasında daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlar ve bu tasarım parametrelerinin otomotiv güvenliği ve verimliliği açısından optimize edilmesi gerektiğini önermişlerdir. (Miller, A. P., & Williams, T. R. 2023)

Havacılık ve Uzay Yapıları için İnce Cidarlı Tüplerin Yapısal Optimizasyonu isimli çalışma, havacılık yapıları için ince cidarlı tüplerin yapısal optimizasyonu üzerine yoğunlaşmaktadır. Carter ve Robinson, hafiflik, dayanıklılık ve maliyet etkinliği açısından optimize edilmiş ince cidarlı tüp tasarımlarını incelemiştir. Araştırmada, çeşitli yük durumlarına ve çevresel koşullara maruz kalan bu tüplerin dayanıklılığını artırmak için kullanılan yöntemler analiz edilmiştir. Yazarlar, farklı malzeme ve geometrik konfigürasyonların etkinliğini değerlendirmek amacıyla hem teorik hem de deneysel yaklaşımlar kullanmışlardır. Çalışma, havacılık yapıları için optimize edilmiş ince cidarlı tüplerin, hafif ve yüksek dayanıklılık sağlayarak uçak performansını önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir. Yazarlar, ince cidarlı tüplerin havacılık uygulamaları için kritik öneme sahip olduğunu ve bu yapıların optimize edilmesiyle yakıt verimliliği, güvenlik ve maliyetlerde önemli iyileştirmeler elde edilebileceğini vurgulamaktadırlar. (Carter, M. J., & Robinson, L. T. 2023).

İnce Cidarlı Boruların Korozyon Direnci: Kapsamlı Bir İnceleme adlı çalışma, ince cidarlı tüplerin korozyon direnci üzerine kapsamlı bir inceleme sunmaktadır. Patel ve Adams, ince cidarlı tüplerin çeşitli endüstriyel uygulamalarda nasıl korozyona maruz kaldığını ve bu tüplerin uzun ömürlülüğünü sağlamak için kullanılan korozyon önleyici stratejileri değerlendirmişlerdir. Çalışma, farklı malzeme bileşimlerinin ve yüzey kaplamalarının korozyon direnci üzerindeki etkilerini analiz etmektedir. Aynı zamanda, çevresel faktörlerin ve çalışma koşullarının korozyon üzerindeki rolü de incelenmiştir.

Yazarlar, korozyona karşı dirençli malzemelerin ve kaplama teknolojilerinin doğru seçiminin, ince cidarlı tüplerin ömrünü önemli ölçüde uzatabileceğini vurgulamaktadır. Çalışma, belirli alaşım türleri ve kaplama tekniklerinin, çeşitli korozyon türlerine karşı üstün koruma sağladığını göstermiştir. Patel ve Adams, özellikle denizcilik, kimya ve petrol endüstrileri gibi korozyona duyarlı alanlarda, doğru malzeme seçimi ve yüzey işlemlerinin hayati önem taşıdığını belirtmişlerdir. (Patel, N. R., & Adams, F. J.,2024)

İnce Cidarlı Boru Yapıların Yorulma ve Ömür Tahmini başlıklı çalışma, ince duvarlı boru yapılarının yorulma davranışı ve ömür tahmini üzerine odaklanmaktadır. Evans ve Ellis, bu tür yapılar üzerindeki tekrarlanan yüklerin etkilerini incelemiş ve yorulma hasarının nasıl geliştiğini analiz etmişlerdir. Çalışmada, farklı malzeme türleri ve tüp geometrilerinin yorulma dayanıklılığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Yazarlar, deneysel veriler ve sayısal modelleme tekniklerini kullanarak, ince cidarlı tüplerin yorulma ömrünü tahmin etmeye yönelik yöntemler geliştirmişlerdir. Çalışma, ince cidarlı tüplerin yorulma dayanıklılığının, malzeme özellikleri ve tüp geometrisi gibi faktörlere bağlı olarak büyük ölçüde değiştiğini ortaya koymaktadır. Evans ve Ellis, doğru tasarım ve malzeme seçimlerinin, bu yapıların yorulma ömrünü önemli ölçüde artırabileceğini göstermişlerdir. Özellikle, bu yapıların yorulma hasarını minimize etmek için uygun yük analizleri ve ömür tahmin modellerinin kullanılmasının önemini vurgulamışlardır. (Evans, C. B., & Ellis, H. F. 2024)

Isı Transferi Uygulamalarında İnce Cidarlı Boruların Termal Performansı adlı çalışma, ısı transferi uygulamalarında kullanılan ince cidarlı tüplerin termal performansını incelemektedir. Morgan ve Brooks, tüp geometrisinin ve malzeme özelliklerinin, ısı transfer verimliliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, farklı akış koşulları ve yüzey özellikleri dikkate alınarak, ısı iletimi ve konveksiyon mekanizmaları analiz edilmiştir. Ayrıca, ince cidarlı tüplerin soğutma ve ısıtma sistemlerindeki performansı test edilmiştir. Çalışma, ince duvarlı tüplerin, optimize edilmiş geometrik ve malzeme özellikleri ile yüksek ısı transfer verimliliği sağladığını göstermektedir. Morgan ve Brooks, özellikle tüp çapı, cidar kalınlığı ve malzeme seçiminin, termal performansı önemli ölçüde etkilediğini belirtmektedir. Bu nedenle, belirli uygulamalar için en uygun tasarımın seçilmesi, ısı transfer verimliliğini artırmak açısından kritik öneme sahiptir. (Morgan, E. S., & Brooks, J. A. 2024)

İnce Cidarlı Boruların Modern Yapı Mühendisliğindeki Rolü isimli çalışma, modern yapısal mühendislikte ince cidarlı tüplerin rolünü incelemektedir. Smith ve Roberts, bu tür tüplerin hafiflik, mukavemet ve esneklik gibi avantajlarını araştırmışlar ve bu özelliklerin çeşitli yapısal uygulamalardaki etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, ince cidarlı tüplerin taşıyıcı sistemlerde ve deprem dayanıklılığı gibi kritik faktörlerde nasıl kullanıldıkları incelenmiştir. Çalışma, ince cidarlı tüplerin modern yapısal mühendislikte önemli bir yer tuttuğunu ve bu yapıların, ağırlık/mukavemet oranı açısından optimize edilmiş çözümler sunduğunu ortaya koymaktadır. Smith ve Roberts, bu tür tüplerin özellikle yüksek binalar, köprüler ve diğer mühendislik yapılarında yaygın olarak kullanıldığını ve bu uygulamalarda büyük avantajlar sağladığını vurgulamaktadır. (Smith, G. F., & Roberts, A. K. 2024)

İç Basınç Altındaki İnce Cidarlı Boruların Deneysel Çalışması başlıklı çalışma, ince cidarlı boruların iç basınca karşı davranışını deneysel olarak incelemektedir. Smith ve Naughton, bu tür boruların çeşitli iç basınç seviyelerinde nasıl davrandığını ve oluşan gerilme, deformasyon ve hasar mekanizmalarını analiz etmişlerdir. Çalışma, farklı malzemelerden üretilmiş boruların iç basınca karşı dayanıklılığını test etmiş ve kritik basınç seviyelerini belirlemiştir. Çalışma, ince cidarlı boruların iç basınç altında belirli bir noktaya kadar yüksek mukavemet gösterdiğini, ancak bu sınırın aşılması durumunda ani kırılma veya deformasyon yaşanabileceğini göstermektedir. Smith ve Naughton, boru tasarımında iç basınç dayanıklılığının dikkate alınması gerektiğini ve malzeme seçimi ile tasarım optimizasyonunun bu tür boruların performansını doğrudan etkilediğini vurgulamaktadır. (J. A. Smith, M. T. Naughton, 2020)

Havacılık ve Uzay Uygulamalarında İnce Cidarlı Silindirik Borular için Tasarım Hususları adlı çalışma, havacılık uygulamaları için ince cidarlı silindirik tüplerin tasarımında dikkate alınması gereken faktörleri incelemektedir. O'Brien ve Andrews, bu tür tüplerin hafiflik, mukavemet, titreşim dayanıklılığı ve termal stabilite gibi gereksinimlere nasıl cevap verdiğini araştırmıştır. Çalışma, ince cidarlı tüplerin aerodinamik performans ve yapısal bütünlük açısından kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Havacılık uygulamalarında kullanılan ince duvarlı tüplerin tasarımında, malzeme seçimi ve geometrik optimizasyonun büyük öneme sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu tür yapıların güvenlik ve performans açısından optimize

edilmesi gerektiğini ve uygun tasarım stratejilerinin havacılık mühendisliğinde başarıyla uygulanabileceğini göstermektedir. (L. S. O'Brien, H. T. Andrews, 2021)

İnce Cidarlı Tüp Yapılar: Üretim Tekniklerine Genel Bir Bakış başlıklı çalışma, ince cidarlı tüp yapıların üretim tekniklerini kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Richards ve Carter, farklı üretim yöntemlerinin tüp geometrisi, malzeme özellikleri ve yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Çalışma, haddeleme, ekstrüzyon, kaynak ve diğer üretim tekniklerinin avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştırarak, en uygun üretim yöntemlerini belirlemeye çalışmıştır. Çalışma, ince cidarlı tüplerin üretiminde kullanılan tekniklerin, nihai ürünün performansı ve dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Richards ve Carter, özellikle yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda, uygun üretim yöntemlerinin seçilmesinin kritik olduğunu belirtmişlerdir. Bu bağlamda, üretim sürecinde kalite kontrol ve optimize edilmiş tekniklerin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. (A. M. Richards, D. J. Carter, 2022)

Döngüsel Yüklemeye Maruz Kalan İnce Cidarlı Boruların Yorulma Analizi adlı çalışma, ince cidarlı tüplerin döngüsel yüklere maruz kaldığında nasıl yorulma davranışı sergilediğini analiz etmektedir. Wallace ve Jones, farklı malzeme türlerinin ve tüp geometrilerinin, tekrarlayan yükler altında yorulma dayanıklılığı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, deneysel veriler ve sayısal modelleme teknikleri kullanılarak yorulma ömrü tahminleri yapılmıştır. Çalışma, ince cidarlı tüplerin döngüsel yükler altında yorulma ömrünün, tasarım parametrelerine ve malzeme özelliklerine bağlı olarak büyük ölçüde değiştiğini göstermektedir. Wallace ve Jones, doğru tasarım ve malzeme seçiminin, bu yapıların yorulma dayanıklılığını artırmada kritik olduğunu belirtmektedir. Çalışma, özellikle uzun ömürlü ve güvenilir yapılar için yorulma analizlerinin tasarım sürecinin ayrılmaz bir parçası olması gerektiğini vurgulamaktadır. (R. J. Wallace, P. C. Jones, 2023)

Yapısal Sağlık İzlemede Gerinim Ölçerlerin Uygulanması başlıklı çalışma, yapı sağlığı izleme (SHM) sistemlerinde strain gauge'ların kullanımını incelemektedir. Yazarlar, strain gauge'ların çeşitli yapıların gerilme ve deformasyonlarını ölçmek için nasıl kullanıldığını ve bu verilerin yapısal bütünlüğün değerlendirilmesinde nasıl önemli

bir rol oynadığını tartışmaktadır. Özellikle köprüler, binalar ve hava araçları gibi kritik yapılarda uygulama örnekleri sunulmuştur. Strain gauge'lar, SHM sistemlerinde güvenilir ve hassas veri sağlama kapasiteleri nedeniyle önemli bir yer tutmaktadır. Yazarlar, bu sensörlerin, yapısal arızaların erken tespiti ve önlenmesi için kritik bir araç olduğunu belirtmişlerdir. (Brown, J. T., & Green, M. R. 2022)

Kompozit Malzemelerde Gerinim Ölçer Ölçümleri isimli makale, kompozit malzemelerde strain gauge kullanarak yapılan gerilme ölçümlerini incelemektedir. Johnson ve Smith, kompozit malzemelerin anisotropik yapısı nedeniyle strain gauge'ların doğru yerleştirilmesinin ve kalibrasyonunun önemini vurgulamaktadır. Çalışma, farklı kompozit malzemeler üzerinde yapılan deneysel ölçümlerden elde edilen sonuçları sunmaktadır. Strain gauge'lar, kompozit malzemelerde doğru yerleştirildiğinde, gerilme dağılımı ve malzeme davranışları hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır. Ancak, malzeme yapısının karmaşıklığı nedeniyle dikkatli bir uygulama gerekmektedir. (Johnson, L. K., & Smith, D. S. 2021)

Gerinim Ölçerler için Sıcaklık Kompanzasyonu Teknikleri adlı çalışma, strain gauge'ların sıcaklık değişimlerine karşı duyarlılığını azaltmak için kullanılan sıcaklık dengeleme tekniklerini ele almaktadır. Thompson ve White, çeşitli sıcaklık dengeleme yöntemlerini karşılaştırmış ve deneysel sonuçlarla desteklenmiş bir analiz sunmuşlardır. Sıcaklık dengeleme teknikleri, strain gauge'ların doğruluğunu artırmada kritik öneme sahiptir. Uygun dengeleme yöntemlerinin seçimi, özellikle değişken sıcaklık koşullarında yapılan ölçümlerin doğruluğunu sağlamaktadır. (Thompson, M. A., & White, H. J. 2020)

Biyomedikal Uygulamalar için Yüksek Hassasiyetli Gerinim Ölçerlerin Geliştirilmesi başlıklı doktora tezi, biyomedikal uygulamalar için yüksek hassasiyetli strain gauge'ların geliştirilmesine odaklanmaktadır. Lee, bu sensörlerin insan vücudundaki biyomekanik gerilmeleri ölçmek için nasıl optimize edilebileceğini araştırmıştır. Çalışma, mikroelektronik üretim teknikleri kullanılarak geliştirilen yeni strain gauge tasarımlarını sunmaktadır. Yüksek hassasiyetli strain gauge'lar, biyomedikal uygulamalarda başarıyla kullanılabilir. Bu sensörler, vücut içi implantlar ve giyilebilir cihazlar için uygun hale getirilmiştir. (Lee, C. M. 2019)

Stres Ölçümü için Gerinim Ölçer Rozet Konfigürasyonlarının Analizi adlı çalışma, strain gauge rozet konfigürasyonlarının analizini yapmaktadır. Miller ve Hernandez, farklı rozet tiplerinin hassasiyet ve doğruluk açısından nasıl performans gösterdiğini incelemiştir. Strain gauge rozet konfigürasyonları, karmaşık gerilme durumlarının belirlenmesinde etkili bir araçtır. Ancak, doğru sonuçlar elde etmek için uygun konfigürasyonun seçilmesi ve doğru yerleştirme tekniklerinin uygulanması gerekmektedir. (Miller, R. F., & Hernandez, G. A. 2018)

Sonlu Elemanlar Analizi ve Gerinim Ölçer Verilerinin Deneysel Doğrulaması isimli makale, sonlu elemanlar analizinin (FEA) strain gauge verileriyle nasıl doğrulanabileceğini incelemektedir. Wang ve Patel, FEA ile elde edilen sonuçların strain gauge ölçümleri ile karşılaştırılmasını ve bu iki yöntemin birleştirilerek daha doğru sonuçlar elde edilmesini tartışmaktadır. FEA, strain gauge verilerinin doğrulanmasında etkili bir araçtır. İki yöntemin birlikte kullanılması, daha kapsamlı ve güvenilir bir gerilme analizi sağlamaktadır. (Wang, S. P., & Patel, N. R. 2017)

Yapısal İzleme için Gerinim Ölçer Yerleşiminin Optimizasyonu başlıklı yüksek lisans tezi, yapı izleme sistemleri için strain gauge yerleştirilmesinin optimizasyonunu ele almaktadır. Nguyen, optimum sensör yerleştirme stratejilerini belirlemek amacıyla çeşitli yapısal modeller üzerinde simülasyonlar gerçekleştirmiştir. Strain gauge'ların doğru yerleştirilmesi, yapıların gerilme ve deformasyonlarının doğru bir şekilde izlenmesi için hayati öneme sahiptir. Nguyen, optimum yerleştirme stratejilerinin belirlenmesinin izleme verimliliğini artırdığını göstermiştir. (Nguyen, T. K. 2016)

Gerinim Ölçer Kalibrasyon Yöntemleri adlı çalışma, strain gauge'ların kalibrasyonu için kullanılan farklı yöntemleri karşılaştırmaktadır. Clark ve Wright, çeşitli kalibrasyon tekniklerini analiz etmiş ve bu tekniklerin doğruluk ve tekrarlanabilirlik açısından nasıl performans gösterdiğini değerlendirmiştir. Kalibrasyon, strain gauge'ların doğru ölçümler yapabilmesi için kritik bir adımdır. Yazarlar, doğru kalibrasyon yönteminin seçilmesinin, ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini önemli ölçüde artırdığını vurgulamaktadır. (Clark, A. B., & Wright, S. L. 2015)

Otomotiv Endüstrisinde Gerinim Ölçer Teknolojisi başlıklı makale, otomotiv sanayisinde strain gauge kullanımını incelemektedir. Taylor ve Evans, çeşitli araç

parçalarının gerilme ve deformasyonlarının izlenmesinde strain gauge'ların nasıl uygulandığını ve karşılaşılan zorlukları tartışmaktadır. Otomotiv endüstrisinde strain gauge'lar, araç güvenliği ve performansı açısından kritik veri sağlamaktadır. Ancak, araç parçalarının karmaşık geometrisi ve çevresel faktörler, bu teknolojinin uygulanmasında zorluklar görülmektedir. (Taylor, P. E., & Evans, J. C. 2014)

Uzaktan İzleme için Kablosuz Gerinim Ölçer Sistemlerindeki Gelişmeler başlıklı doktora tezi, kablosuz strain gauge sistemlerinin uzaktan izleme için geliştirilmesini ele almaktadır. Collins, geleneksel kablolu sistemlere kıyasla kablosuz sistemlerin avantajlarını incelemiş ve yeni nesil kablosuz strain gauge tasarımlarını sunmuştur. Kablosuz strain gauge sistemleri, uzaktan izleme uygulamalarında büyük esneklik ve maliyet avantajları sunmaktadır. Bu sistemler, özellikle erişimi zor alanlarda yapı izleme için ideal bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. (Collins, D. R. 2013).

2.1. İnce Cidarlı Silindirde Gerilme ve Şekil Değiştirme Analizi

Kesit kalınlığı, yarıçapının 1/10'undan daha küçük silindirler, ince cidarlı silindir olarak tanımlanır.

Yapılan çalışmada, strain gage'ler kullanılarak, iç basınç etkisinde bulunan ince cidarlı silindirde oluşacak çevresel ve aksenal şekil değiştirme ve gerilme değerlerinin belirlenmesi ve verilen analitik bağıntılarla doğrulanması amaçlanmıştır.

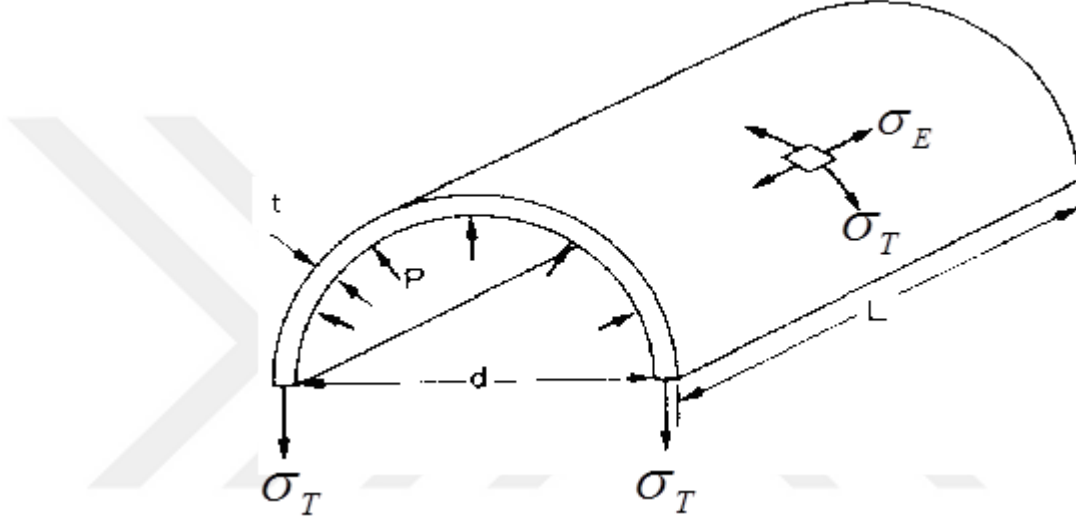
Araştırma düzeneği ile ilgili teknik bilgiler tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Serpantin teknik özellikleri

Serpantin Borusu Teknik Özellikleri	
Malzeme	Alaşımli Çelik Boru (P235TR1)
İç Çap	29,7 mm
Cidar Kalınlığı	2 mm
Uzunluk	12 m
Elastisite Modülü	209 GPa [209.000 N/mm ²]
Poisson Oranı	0,3
İç Basınç Ölçüm Aralığı	0-8 bar

2.1.1. İnce Cidarlı Silindirde Gerilmeler

Et kalınlığının(t) iç çapa oranı $1/20$ 'den daha küçük olan silindirlere ince cidarlı silindir denilmektedir. Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi uniform iç basınçtan(p) dolayı silindirde oluşan temel gerilmeler; teğetsel σ_T ve eksenel σ_E olmak üzere iki çeşittir. Radyal gerilmeler dikkate alınmayacak kadar küçüktür.



Şekil 2.2.1. İç basınç etkisinde bulunan ince cidarlı silindirde gerilmeler (E. Koç, İ. Keleş, 2012)

2.1.1.1. Açık Uçlu Silindir

Serpantin giriş manşonu bölümünden içeri doğru hareket eden akışkan tek eksenli gerilme hali diğer bir deyişle açık uçlu silindir hali oluşturulmaktadır. Kabule göre, bir boyutu diğer ikisine oranla çok büyük olan çubuk şeklindeki elemanlarda bir veya tek eksenli gerilme hali söz konusudur. Burada serpantin uç kısmında herhangi bir sınırlama olmayacağından silindirde yalnızca teğetsel gerilme (σ_T) meydana gelir. Eksenel gerilme (σ_E) sıfırdır. Ancak Poisson etkisi sebebiyle silindirde teğetsel gerilmeden oluşan hem teğetsel hem de eksenel şekil değişimleri meydana gelir. İnce cidarlı silindirde meydana gelen teğetsel gerilme (σ_T) Eşitlik (2.1)'de ifade edilmiştir.

$$\sigma_T = \frac{pd}{2t} \quad (2.1)$$

Formülde, t et kalınlığı, p uniform iç basınç, d ortalama çap olup iç(d_i) ve dış(d_d) çapların toplamının yarısına eşittir($d = \frac{d_i + d_d}{2}$).

2.1.1.2. Kapalı Uçlu Silindir

Yapılan araştırmada serpantin çıkış bölümü tapa yardımı ile kapatılarak, serpantin içerisine akışkan verilmiştir. Yapılan işlem sonucunda iki eksenli gerilme hali diğer bir deyişle kapalı uçlu silindir hali oluşturulmuştur.

İki eksenli gerilmeler, iki boyutu diğer boyutuna oranla çok büyük olan ince plaklarda(kalınlığı fazla olmayan) veya düzlemsel levhalarda oluşur. Burada silindir, her iki ucundan da sınırlandığı için hem teğetsel(σ_T) hem de eksenel gerilme(σ_E) etkisindedir. Silindirde oluşan eksenel gerilme σ_E ise Eşitlik (2.2)'de verilmiştir.

$$\sigma_E = \frac{pd}{4t} \quad (2.2)$$

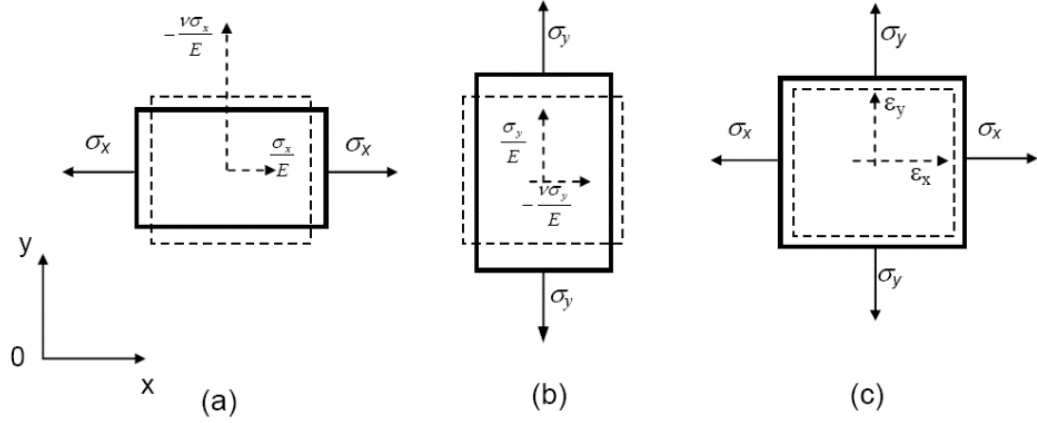
2.1.1.3. Gerilme-Şekil Değişimi İlişkisi

Elastik davranış gösteren basit bir lineer-elastik sistem x ve y yönlerinde σ_x ve σ_y gerilmelerine maruz ise oluşan şekil değişimi, süperpozisyon kuralı uygulanarak belirlenebilmektedir. (Şekil 2.2.) Burada dikdörtgen kesitli cisimde x ve y yönündeki birim şekil değişimleri Hooke kanunları dikkate alındığında,

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y) \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x) \quad (2.4)$$

şeklinde belirlenir. Burada ν Poisson oranı, E de elastisite modülüdür.



Şekil 2.2.2. İki boyutlu bir cisimde gerilme-şekil değişimi ilişkisi (E. Koç, İ. Keleş, 2012)

İnce cidarlı silindirde asal gerilmeler σ_1 ve σ_2 cinsinden asal eksenler doğrultusunda iki boyutlu şekil değişimi eşitlik (2.5) ve eşitlik (2.6)'da gösterilmiştir.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \nu\sigma_2) \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E}(\sigma_2 - \nu\sigma_1) \quad (2.6)$$

Bu eşitliklerden σ_1 ve σ_2 asal gerilmeleri

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) \quad (2.7)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1) \quad (2.8)$$

elde edilmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Boyler

Boyerler, genellikle sıcak suyun depolandığı ve ihtiyaç duyulduğunda kullanıma sunulduğu bir cihazdır. Evlerde, işyerlerinde ve diğer ticari veya endüstriyel alanlarda kullanılan boylerler, sürekli olarak sıcak su sağlamayı amaçlar.

Boyerler, içindeki suyu ısıtarak kullanıcılara hızlı bir şekilde sıcak su sağlar. Bu genellikle bir ısıtma elemanı, örneğin elektrikli rezistans, kullanılarak gerçekleştirilir. Isıtma elemanı, termostat tarafından kontrol edilen belirli bir sıcaklıkta tutulur. Su ısıtıldığında, boylerin içindeki suyun daha uzun süre sıcak kalmasını sağlayan bir izolasyon kabuğu bulunur.

Boyerler, banyo yapma, temizlik, mutfak ihtiyaçları ve diğer sıcak su gerektiren faaliyetler için kullanılır. Evlerde genellikle banyo ve mutfakta bulunurlar, ancak ticari veya endüstriyel kullanımlarda daha büyük boyutlara sahip ve daha fazla sıcak su ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış boylerler kullanılabilir.

Boyerler farklı tiplerde olabilir. Elektrikli boylerler elektrik enerjisiyle çalışırken, gazlı boylerler doğal gaz veya LPG gibi yakıtları kullanır. Ayrıca, güneş enerjisiyle çalışan güneş enerjili boylerler de mevcuttur. Bu tür boylerler, güneş enerjisini kullanarak suyu ısıtır ve enerji tasarrufu sağlar.

Boyerler, sürekli olarak sıcak suyun sağlanmasıyla konfor ve kullanım kolaylığı sunar. Ancak, doğru boyutlandırma ve bakım gerektirirler. Boyler seçimi ve kullanımında üretici talimatlarına ve yerel güvenlik yönetmeliklerine uyulması önemlidir.

3.1.1. Boyler Kullanım Alanları

Boyerler, sıcak suyun depolanması ve kullanılabilir hale getirilmesi için çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. İşte boylerlerin yaygın olarak kullanıldığı bazı alanlar;

Evlerde boylerler, banyo yapma, duş alma, mutfak ihtiyaçları (yemek yıkama, bulaşık yıkama) ve genel temizlik gibi günlük yaşamın bir parçası olan sıcak su ihtiyaçlarını karşılar. Oteller, Otellerde konaklayan misafirlerin rahat bir şekilde sıcak

suya erişebilmesi için boylerler kullanılır. Bu, banyo yapma, duş alma ve mutfak ihtiyaçlarını içerir.

Restoran ve kafe gibi gıda hizmeti veren işletmelerde, yemeklerin hazırlanması, bulaşıkların yıkanması ve müşterilere sıcak içeceklerin sunulması için boylerler kullanılır.

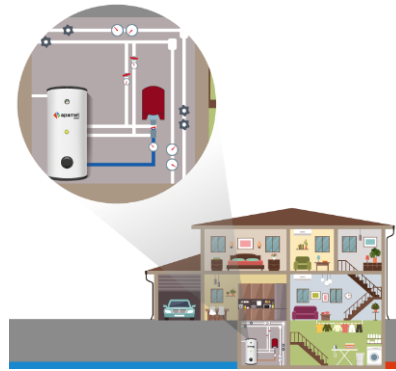
Ofisler, alışveriş merkezleri, hastaneler, okullar ve diğer ticari binalarda, sıcak su ihtiyaçlarını karşılamak için boylerler kullanılır. Bu, personelin temizlik, mutfak ihtiyaçları, yemekhane hizmetleri ve hijyen amaçları gibi çeşitli alanları içerir.

Bazı endüstriyel işletmelerde, üretim süreçleri için yüksek miktarda sıcak su gereklidir. Boylerler, bu tür işletmelerde sıcak suyun sürekli olarak temin edilmesini sağlamak için kullanılır.

Yüzme havuzları ve spa merkezlerinde, sıcak suya ihtiyaç duyulan alanlar bulunur. Boylerler, bu tesislerdeki sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılır.

Sanayi sektöründe, işletmelerin üretim süreçlerinde sıcak suya ihtiyaç duyulabilir. Boylerler, bu ihtiyacı karşılamak ve sürekli sıcak su temin etmek için kullanılır.

Bu kullanım alanlarının yanı sıra, boylerler diğer birçok ticari ve endüstriyel uygulamada da yaygın olarak kullanılır. Sıcak su ihtiyacının olduğu her alanda boylerlerin kullanımı önemlidir ve konforlu bir sıcak su temini sağlar. Ancak, doğru boyutlandırma, kurulum ve düzenli bakım gerektirmesine dikkat edilmelidir.



Şekil 3.1. Boyler kullanım alanları (Apamet Katalog, 2023)

3.1.2. Boyler Türleri

Bu kullanım alanlarının yanı sıra, boylerler diğer birçok ticari ve endüstriyel uygulamada da yaygın olarak kullanılır. Sıcak su ihtiyacının olduğu her alanda boylerlerin kullanımı önemlidir ve konforlu bir sıcak su temini sağlar. Ancak, doğru boyutlandırma, kurulum ve düzenli bakım gerektiği unutulmamalıdır.

3.1.2.1. Tek Serpantinli Boyler

Tek serpantinli boylerler genellikle evlerde kullanılan standart boylerlerdir. Bir ısı transfer serpantini kullanarak suyu ısıtırlar ve depolama tankında saklarlar



Şekil 3.2 Tek serpantinli boyler (Apamet Katalog, 2023)

Tek serpantinli boylerler genellikle daha küçük evlerde veya düşük su talepleri olan yerlerde tercih edilir. Boylerin enerji kaynağına bağlı olarak elektrikli veya gazlı olabilir. Seçim yaparken, ihtiyaçlarınızı, kullanım senaryolarınızı ve enerji verimliliği gereksinimlerinizi göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

3.1.2.2. Çift Serpantinli Boyler

Çift serpantinli boylerler, iki adet ısı transfer serpantinini kullanarak sıcak su üretir ve farklı enerji kaynaklarına bağlı olarak çalışabilir.

İki serpantinli yapı, Çift serpantinli boylerlerde bir serpantin, içme suyunu (soğuk suyu) ısıtmak için kullanılırken, diğer serpantin ise mevcut ısınmış suyu daha da ısıtmak için kullanılır. İçme suyu serpantini, doğrudan su hattından gelen soğuk suyu ısıtarak

kullanıcılara sıcak su sağlar. Diğer serpantin ise mevcut ısınmış suyu daha yüksek sıcaklıkta su sağlamak için kullanılır. Şekil 3.3.'te görseli sunulmuştur.



Şekil 3.3. Çift serpantinli boyler (Apamet Katalog, 2023)

3.1.3. Boyler Yalıtım Malzemeleri

Isı yalıtım malzemesi seçilirken; ısı iletkenliğinin düşük olmasına, yoğunluğunun az olmasına, kalın olmasına, nem direncinin yüksek olmasına, yanmazlık özelliğine, uygulama kolaylığına ve çevresel etkilere dayanıklı olmasına dikkat edilmelidir.

Yaygın olarak poliüretan köpük, sünger, elastomerik kauçuk köpüğü ve cam yünü malzemeleri kullanılır.

3.2. Serpantin

Serpantin adı verilen kıvrımlı boru, ince cidarlı borunun bükülmesi sonucu elde edilmektedir. Serpantin, boylerin içerisinde dolaşımı sonucunda suyun ısıtılması sağlar. Isı kaynağı, genellikle kazan, güneş enerjisi sistemi veya başka bir ısıtıcı olabilir. Isı kaynağından gelen sıcak su veya buhar, serpantinin içinden geçerken, boylerin içindeki suyu dolaylı yolla ısıtır. Bu sayede, serpantinin içerisinde dolaşan akışkan ile serpantinın dış yüzeyinin temas etmiş olduğu diğer akışkan arasında ısı transferi gerçekleşir. Gerçekleşen ısı transferi sonucunda serpantinın dış yüzeyinin temas etmiş olduğu, boyler haznesindeki soğuk su ısıtılmış olur. Isıtılan mevcut su kullanılmak üzere tesisat sistemine gönderilmektedir.

Tez çalışmasında boru kalitesi P235TR1 olan alaşımlı siyah çelik boru kullanılmıştır.

Tablo 3.1. P235TR1 Alaşımlı siyah çelik kimyasal bileşim (Baogangsteelpipe, 2024)

Karbon	Silikon	Manganez	Fosfor	Kükürt
Maks. 0,16	Maks. 1,20	0,025	0,02	Maks. 0,30
Molibden	Nikel	Krom	Vanadyum	Titanyum
Maks. 0,30	Maks. 0,08	Maks. 0,30	Maks. 0,02	Maks. 0,04

Tablo 3.1.'de kimyasal bileşim özellikleri verilen borunun mekanik özellikleri tablo 3.2.'de belirtilmiştir.

Tablo 3.2. P235TR1 Alaşımlı siyah çelik mekanik özellikleri (Baogangsteelpipe, 2024)

Gerilme direnci		Uzama
MPa (min)	MPa (min)	Yüzde
360	500	25

Kimyasal ve mekanik özellikleri belirtilen borunun fabrika imalat uzunluğu taşıma esnasında kolaylık sağlanması ve maksimum tır hacminin doldurulması adına 6 metrelik uzunluğa sahiptir. Serpantin uzunluğu, boyler litresine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Tablo 3.3.'te litreler göre serpantin yüzey alanları belirtilmiştir.

Tablo 3.3. Litrelere göre serpantin yüzey alanı (Apamet Katalog, 2023)

Litre	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2000	3000
Serpantin Yüzey Alanı (m²)	0,62	0,93	1,03	1,58	1,97	2,77	3,16	4,75	5,14	7,12

3.2.1. Serpantin İmalatı

Boyer litresine göre farklılık gösteren serpantin uzunluğu, 6 metreden uzun olması halinde boruların birbirlerine uç uca kaynatılması elde edilir. Boruların uç uca kaynatılması, gazaltı kaynak türlerinden alın kaynak ile sağlanır. Gaz olarak ise argon kullanılır.

Yapılan tez çalışmasında kullanılmak üzere numune olarak üretilen serpantin borusunun uzunluğu 12 metredir. 2 ayrı borunun uç uca alın kaynağı ile 12 metrelik düz bir boru elde edilmektedir. Şekil 3.4.'te yapılan işleme ait görsel bulunmaktadır. Numune borunun et kalınlığı 2mm olarak seçilmiştir.



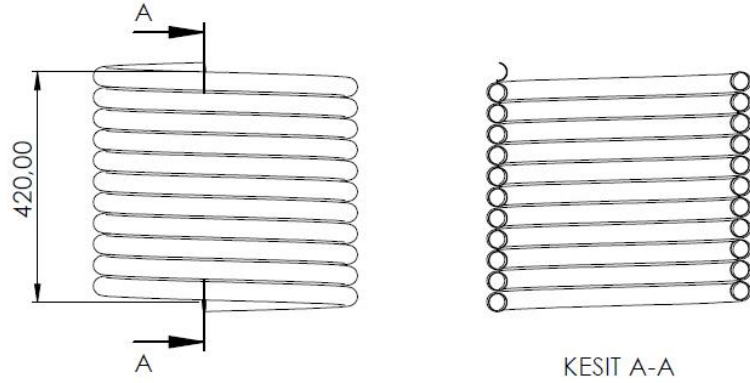
Şekil 3.4. Boru alın kaynak

Alın kaynağı yapılan 12 metrelik düz boru, serpantin formatını alabilmesi için bir sonraki büküm aşamasına geçmektedir. Şekil 3.5.'te büküm başlangıcında mafsallara borunun sabitlenmesi görseli sunulmuştur.



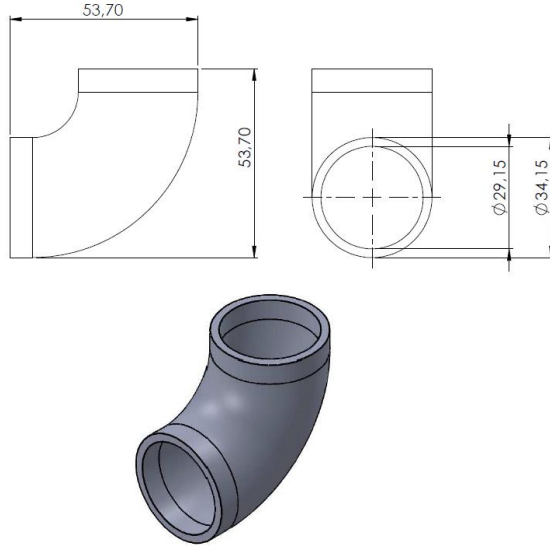
Şekil 3.5. Büküm aşaması

Büküm aşamasının bitmesinin ardından elde edilen yarı mamul ürün montaj elemanlarının kaynatılabilmesi için diğer prosese aktarılmaktadır. Büküm aşamasından oluşan görselin teknik resim özellikleri şekil 3.6.'da belirtilmiştir. 12 metre uzunluğundaki boru 11 sarım sayısında, 450mm çapında bükülmüştür. Boru başlangıç ve bitiş merkezleri arasındaki uzaklık 420 mm'dir.

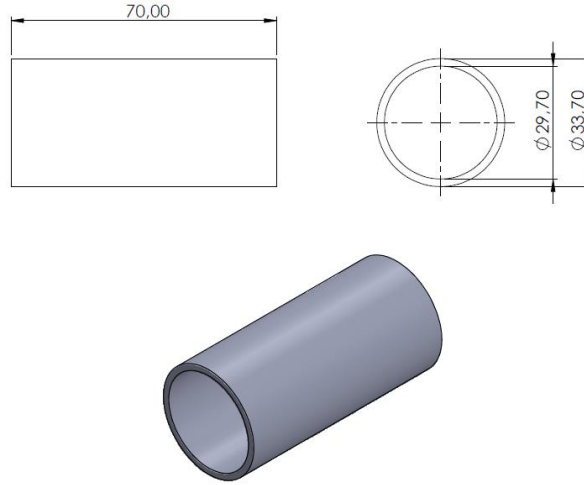


Şekil 3.6. Serpantin büküm teknik resim

Serpantinin boylere montajı esnasında bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Manşon ve patent dirsek adı verilen bağlantı elemanları, ayrı bir proses olarak birbirlerine başka bir istasyonda kaynatılarak serpantinin bükülmesi beklenir. Şekil 3.7. ve şekil 3.8.'de manşon ve patent dirsek yardımcı elemanlarına ait teknik resim ve özellikleri bulunmaktadır.



Şekil 3.7. Patent dirsek



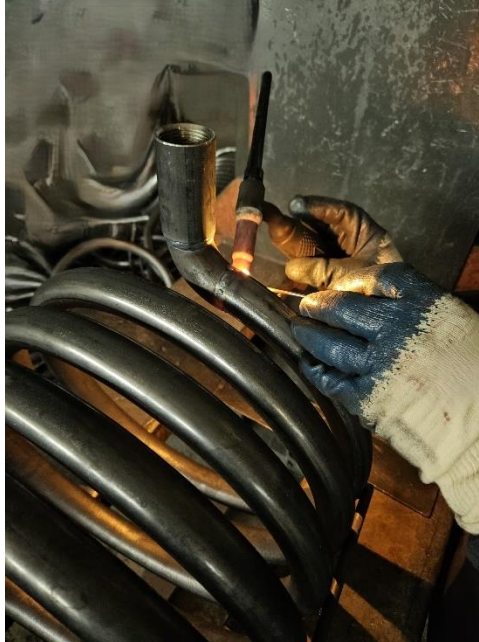
Şekil 3.8. Manşon

Patent dirsek ve manşonun birbirlerine kaynatılmasında gazaltı kaynak türü kullanılmaktadır. Kullanılan gaz argondur. Kaynak işleminin ardından oluşan malzemenin görüntüsü şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



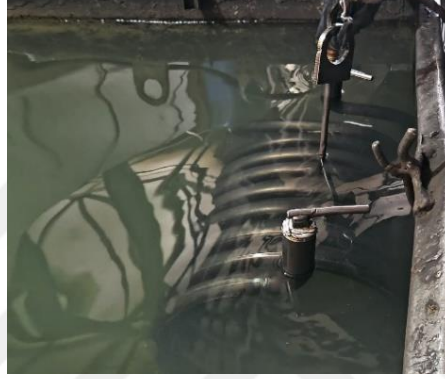
Şekil 3.9. Patent dirsek ve manşon montaj

Birbirine kaynaklanmış manşon ve patent dirsek, serpantin borusuna kaynaklanarak test aşamasına gönderilir. Serpantin borusuna kaynak aşamasının görseli şekil 3.10.'da gösterilmiştir. Kaynak gazı olarak argon kullanılmıştır.



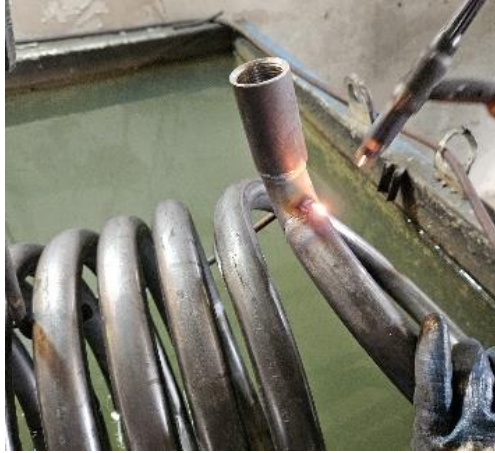
Şekil 3.10. Manşon ve patent dirsekin serpantine montajı

Montaj malzemeleri kaynatılan serpantin borusu, ürüne montajı yapılmadan önce teste sokulur. Teste başlamadan önce serpantin borusunun çıkış bölümü tapa ile kapatılır. Giriş bölümü ise hava tesisatı verilebilmesi için, hava delikli tapa ile kapatılır. Ardından test esnasında 10bar seviyesinde hava basıncı uygulanır. Hava basıncı uygulanan serpantin borusu akışkan sıvı içerisine daldırılarak herhangi bir hava kaçağı ihtimaline karşılık olarak kontrol edilir. Yapılan test işleminin görseli şekil 3.11.'de belirtilmiştir.



Şekil 3.11. Serpantin test

Hava kaçağı tespit edilen serpantin borusu, aynı istasyonda bulunan argon kaynağı ile düzeltilerek tekrar teste tutulur. Şekil 3.12.'de yapılan düzeltme işlemine örnek görsel belirtilmiştir. Herhangi bir kaçak olmaması halinde serpantin hazır hale gelmiş olup, montajının yapılabilmesi için bir sonraki istasyona transfer olur.



Şekil 3.12. Serpantin kaçak onarımı

Serpantinin ürüne montajı ve model görünümü şekil 3.13. ve şekil 3.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Serpantin montaj işlemi

Serpantin montaj işleminde ürün yarı mamule montajlanırken, gazaltı kaynak kullanılır. Kaynak işlemi ensasında SG2 kaynak teli kullanılmaktadır. İşlem 110-250 Amper arasında ürün çeşitliliğine göre değişiklik göstermektedir.



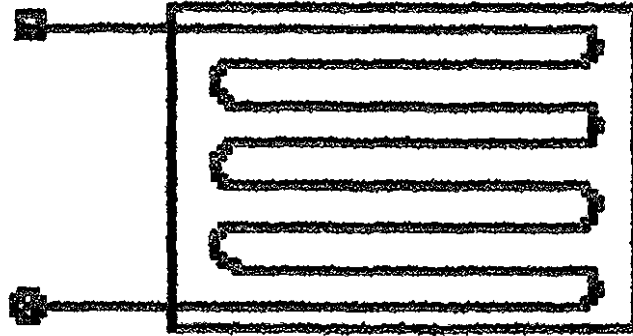
Şekil 3.14. Serpantin modeli

3.3. Strain Gauge (Gerinim Ölçer)

Gerilim ölçümünde kullanılan ve metal bir malzeme üzerine yerleştirilen küçük bir cihaz olan "strain gauge" (gerilim ölçer), malzemenin üzerinde meydana gelen gerilme veya deformasyonu ölçmek için tasarlanmıştır. Bu cihazlar genellikle teller veya ince film formunda yapılır ve malzemenin yüzeyine yapıştırılır veya bağlanır.

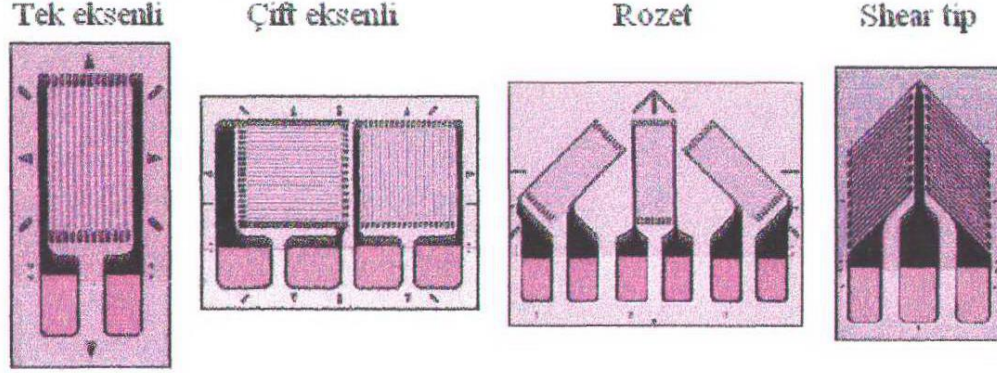
Gerilim ölçerler, malzemenin üzerindeki gerilmenin neden olduğu elektriksel direnç değişikliklerini kullanarak gerilim veya deformasyonu doğrudan ölçebilirler. Bu değişiklikler genellikle mikroskobik düzeyde olup, hassas ölçüm cihazları kullanılarak belirlenir.

Üç boyutlu malzemelerde şekil değiştirme her üç eksende birden oluşur. 3 boyutlu bir malzemenin direnç değişiminin hesaplanması oldukça zordur. Malzeme boyutunun artması da veri alma konusunu neredeyse imkansız hale getirir. Bu sebeple istenilen ekseninde ölçüm yapılabilmesi için yardımcı bir ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç doğrultusunda üretilen bu alete 'Strain Gauge' denmektedir. Bu gerinim ölçme elemanı, bir doğrultuda yönlendirilmiş dairesel kesitli bir tel içeren yalıtılmış elemanlardır. Ölçümü yapılmak istenen malzemenin yüzeyine yapıştırılarak direnç değişimi ölçülmektedir. Şekil 3.15.'te direnç telleri gösterilmiştir.

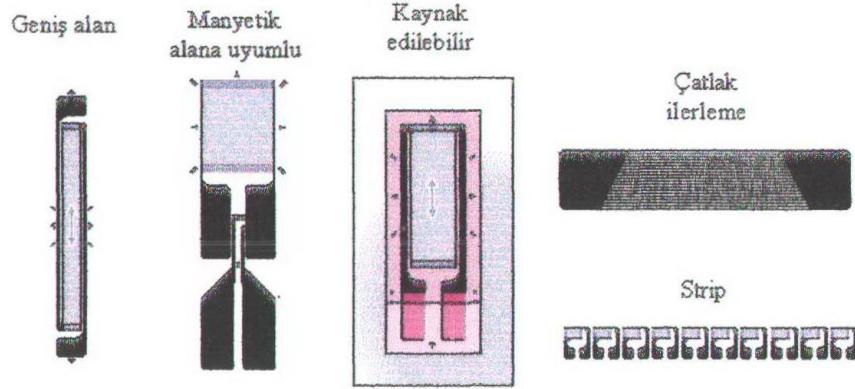


Şekil 3.15. Direnç telleri (Ertürk,2005)

Genel amaçlı olarak kullanılan strain gauge tipleri ve özel amaçlı olarak kullanılan strain gauge tipleri şekil 3.16. ve şekil 3.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Genel amaçlı kullanılan strain gauge tipleri (Ertürk,2005)

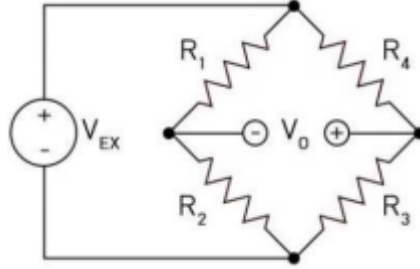


Şekil 3.17. Özel amaçlı kullanılan strain gauge tipleri (Ertürk,2005)

Tarihte yapılan deneylerden olan Lord Kelvin (W. Thomson) 1856 yılında mekanik yüklemeler sonucunda bakır ve demir tellerinin dirençlerinde değişim gözlemlemiştir. Direnç değişiminin etkisi sonucunda tellerde uzama tespit etmiştir. Bu uzama miktarı demir telde bakır tele oranla daha büyük bir direnç artışı göstermiştir. Kelvin yapmış olduğu deneylerin devamında direnç değişimlerini ölçmek amaçlı olarak Wheatstone köprü devresi ve galvanometre kullanmıştır. Yapmış olduğu deneyler sonucunda önemli sonuçlar elde etmiştir. Elde ettiği sonuçlar şu şekildedir:

1. Tel direncinin değişimi uzamaya etki etmektedir.
2. Malzemelerin değişkenliği duyarlılığı etkilemektedir.
3. Wheatstone köprü devresi direnç değişimlerini ölçmek için kullanılabilir, doğru sonuçları veren bir devredir.

İlk adımlarının 1856 yılında Lord Kelvin tarafından atılmasına karşılık olarak, strain gauge uygulamaları 1938 yılında yaygınlaşmıştır. Simmons ve Ruge'nin yapmış olduğu ortak çalışma sonucunda elektrik dirençli strain gaugeler üretilmiştir. Uzun yıllar süren çalışma sonrasında Wheatstone köprü devresi ile beraber kullanılan yapışkan folyo strain gaugeler kusursuza yakın lme sistemi oluşturmuştur.



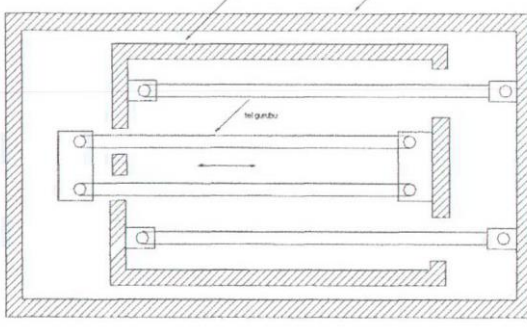
şekil 3.18. Wheatstone köprü devresi (RMC Mühendislik Katalog, 2024)

3.3.1. Strain Gauge Konstrüksiyonu

Yapıştırılabilen ve yapıştırılmayan olmak üzere iki ayrı konstrüksiyonda bulunan strain gaugeler mevcuttur.

3.3.1.1. Yapıştırılmayan Straing Gauge

Yapıştırılmayan strain gauge'ler, bazı özel uygulamalarda kullanılan ve metal yzeyele yapıştırılmayan veya uygun olmayan durumlarda tercih edilen strain gauge'lerdir. Bu tür strain gauge'ler genellikle özel teknikler veya montaj yöntemleri gerektirir ve kullanıldıkları ortamlarda daha dayanıklı veya özel özelliklere sahip olabilirler. şekil 3.19'da görseli sunulmuştur.

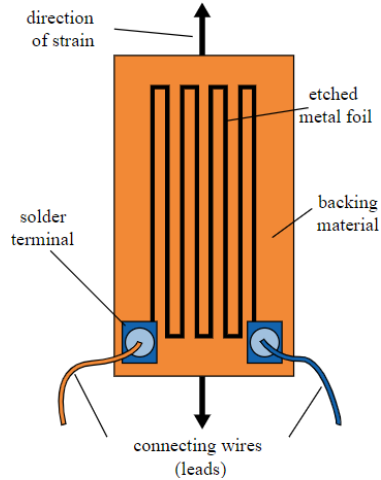


Şekil 3.19. Yapıştırılmayan strain gauge (Ertürk, 2005)

Yapıştırılmayan strain gauge'ler, standart yapıştırılabilir olanlara kıyasla daha spesifik koşullarda kullanım için tasarlanmış özel cihazlardır. Her uygulama için en uygun strain gauge tipinin seçilmesi, ölçümlerin doğruluğu ve güvenilirliği açısından önemlidir. Bu nedenle, belirli bir uygulama için uygun strain gauge seçimi yapılırken, çalışma ortamının özel gereksinimleri dikkate alınmalıdır.

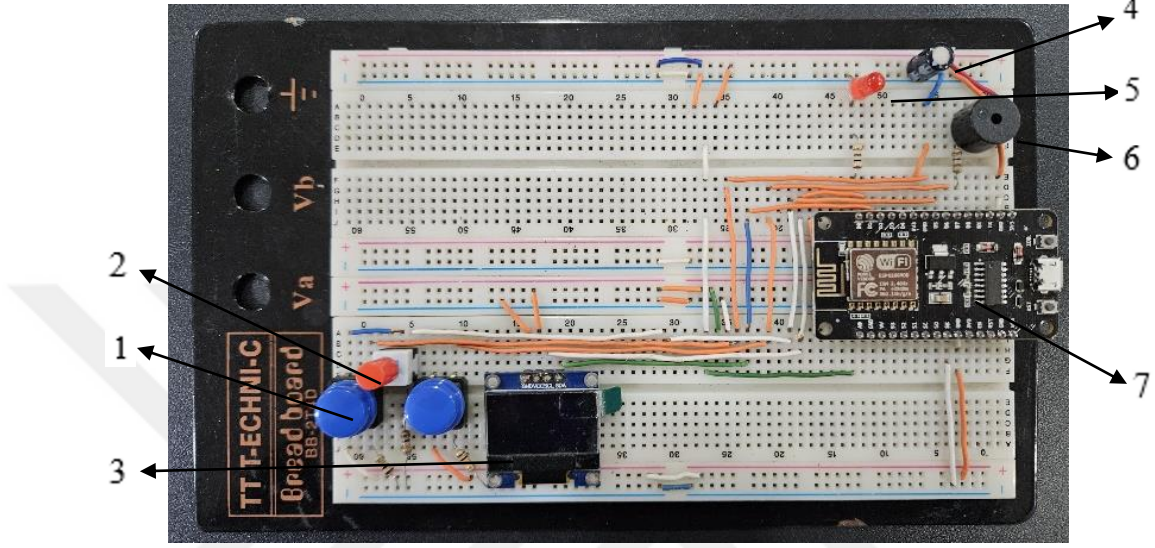
3.3.1.2. Yapıştırılabilen Strain Gauge

Yapıştırılabilen strain gaugeler yaygın olarak kullanılırlar. Bunların arasında yapısal olarak evrensel denilebilir strain gage; ince plastik bir film (15-16 μm kalınlığında) üzerine yerleştirilmiş ve üzeri lamine filmle kaplanmış grid şeklinde çok ince (3-6 μm) metalik dirençli sensör elemanından oluşmaktadır.



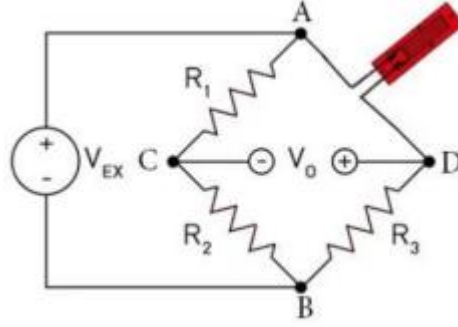
Şekil 3.20. Yapıştırılabilen strain gauge (RMC Mühendislik Katalog, 2024)

Çalışma ortamı ve şartlarına göre bakıldığında, tez çalışmasında yapıştırılabilen strain gaugeler kullanılmıştır. Strain Gauge verilerinin okunabilmesi için oluşturulan devre kartı görselleri şekil 3.21.'de gösterilmiştir.



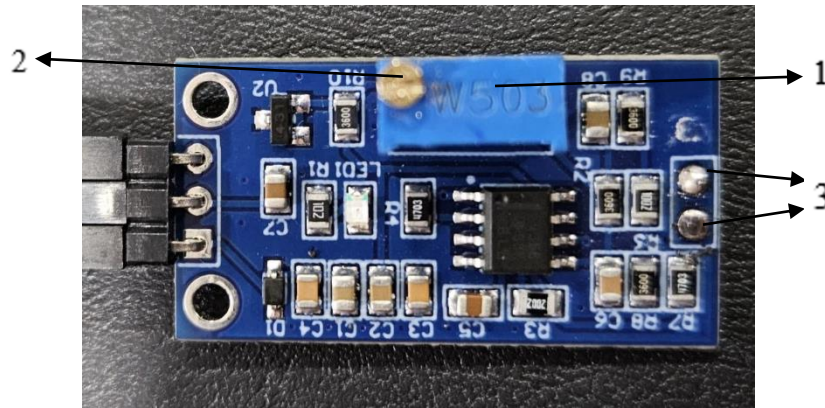
Şekil 3.21. Devre kartı

Şekil 3.21.'de gösterilen devre kartının üzerinde bulunan kırmızı(2) ve mavi butonlar(1), devreden alınan verilerin kaydedilmesini ve sisteme gönderilmesi işlemlerinde manuel olarak kullanılmaktadır. Devrede bulunan dijital ekran(3) sayesinde okunan direnç değerleri görüntülenmektedir. Işık(5) sistemin çalıştığının göstergesidir ve buzzer(6) sonuçların okunmasını sesli bildirim yapmaktadır. Devrenin internet bağlantısının ve elektrik güc girişinin bulunduğu ESP8266 işlemci(7) sistemin çalışmasını sağlar. Devrenin elektrik gücü, herhangi aksi bir durum yaşanmaması adına 3,3V ile sınırlandırılmıştır. Şekil 3.21.'de gösterilen devre kartının temelinde Wheatstone Köprüsü bulunmaktadır. Strain gauge bağlantısı sonucu oluşan Wheatstone köprü devresi şekil 3.18.'de gösterilmiştir. Strain gauge, şekilde 3.22.'de gösterildiği üzere R4 direnci yerine bağlanmıştır.



Şekil 3.22. Strain gaugeli Wheatstone devresi (RMC Mühendislik Katalog, 2024)

Devre kartı ile strain gauge arasındaki bağlantının sağlanmasında şekil 3.23.'te belirtilen amplifikatör kullanılmıştır. Belirtilen bu sensör, malzemelerdeki gerilimi ölçmek için kullanılan hassas bir sensördür. Bu modül, mekanik deformasyonu (gerinimi, mikrogerinimleri) elektrik direncindeki karşılık gelen bir değişime dönüştürerek kuvvet, ağırlık ve basınç değişimlerinin doğru bir şekilde algılanmasını sağlar. Sensör üzerinde bulunan reosta(1) sayesinde direnç kalibrasyonu yapılmıştır. Reosta üzerinde bulunan vida(2) saat yönünde veya saat yönü tersi yönünde döndürülerek kalibrasyon işlemi yapılır. Kalibrasyon işlemi ardından veriler kaydedilerek ölçüm işlemine başlanılır. Kart üzerinde bulunan bağlantı noktaları (3), strain gauge bağlantı noktaları ile birbirine lehimlenir. Bu sayede elektriksel iletim sağlanır.

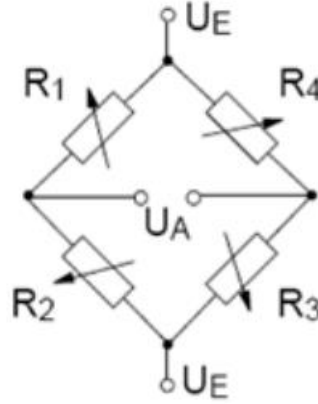


Şekil 3.23. Amplifikatör

Strain gauge bağlantılı köprü modellerinde, şekilde 3.24.'te gösterilen ölçme köprüsünün çıkış sinyali U_A , U_E besleme voltajına göre referans alınır. Strain gaugenin duyarlılığı 'k faktörü' ile tam köprü modeli için ölçülen şekil değiştirme değerinin hesaplanması formülde (3.1) sunulmuştur.

$$\varepsilon = \frac{1}{2(1 + \nu)} \frac{4 U_A}{k U_E} \quad (3.1)$$

Strain gauge yardımı ile amplifikatörden okundan değer ($\frac{U_A}{U_E}$)'in birimi mV/V olmasından dolayı boyutsuzlaştırmanın sağlanabilmesi için 10^{-3} ile çarpılması gerekmektedir. ν poisson oranı 0,3 değerinde ve k faktörü ise 2 değerindedir.

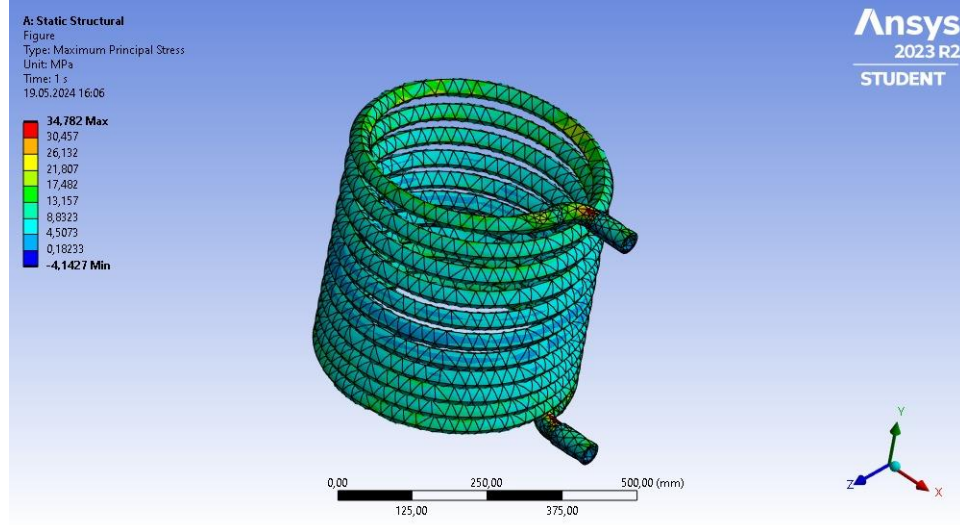


Şekil 3.24. Köprü sinyallerinin gösterim şeması (E. Koç, İ. Keleş, K. Yıldızlı, 2012)

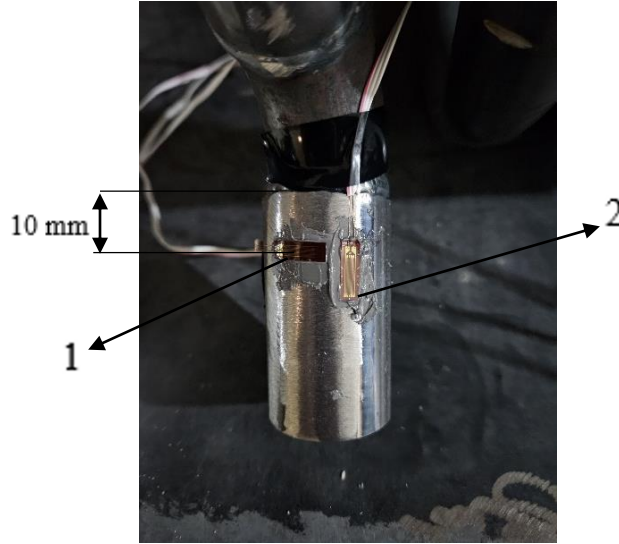
3.4. Metot

Tez çalışması için hazırlanan numune serpantin ürününün, 3D model tasarımında kritik noktaların belirlenmesi amacıyla analiz programında incelenmiştir. 15 bar'a kadar test uygulanan serpantin modelinin analiz programında sınır şartları tanımlanmıştır. Sınır şartlarının tanımlanabilmesi için serpantin ürününe mesh işlemi uygulanmıştır. Mesh işleminin ardından serpantin iç yüzeyine 15 bar basınç işlemi uygulanarak, çözümleme yapılmıştır. Tablo 3.4.'te yapılan analiz sonucunda ortaya çıkan analiz sonuçları gösterilmektedir. Noktasal olarak basınç değerleri analiz programından okunmuştur.

Tablo 3.4. Basınç altında kritik nokta belirleme

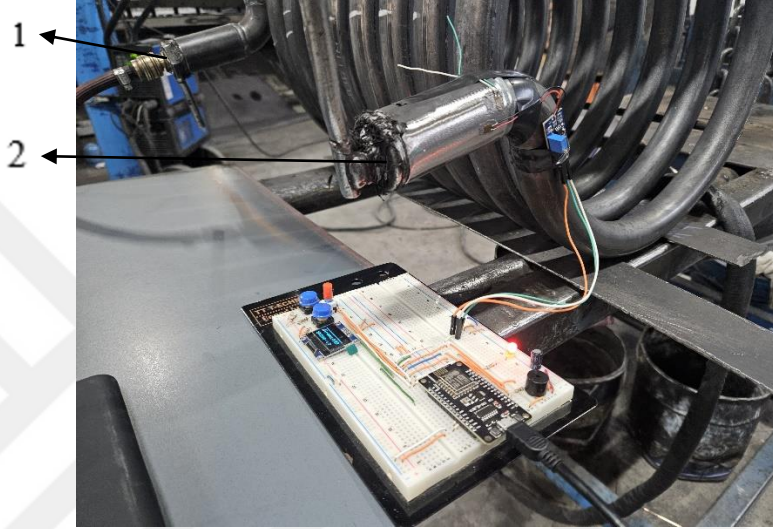


Tablo 3.4.'te de görüldüğü üzere kritik noktaların yoğunluklu olduğu bölge patent dirsek ve manşon kaynağın bulunduğu, kıvrım noktalarında yoğunlaşmıştır. Strain gauge yapıştırılarak gerilim analizi yapılacak noktalar belirlenmiştir. Belirlenen kritik noktalara strain gauge yapıştırılma işlemi şekil 3.25.'te gösterilmiştir. (1) numaralı strain gauge teğetsel olarak, (2) numaralı strain gauge ise aksenal olarak yapıştırılmıştır. Strain gaugeler ile kaynak dikişi arasındaki mesafe 10 mm'dir.



Şekil 3.25. Strain gauge yapıştırma işlemi

Strain gaugelerin yapıştırılmasında epoksi madde içeren yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcının kuruması için yaklaşık olarak 30 saat oda şartlarında beklenilmiştir. Araştırma için hazırlanan numune serpantine strain gauge uygulama işleminin ardından, gerekli basınç uygulanabilmesi için araştırma düzeneği oluşturulmuştur. Araştırma düzeneğine ait görsel, şekil 3.26.'da belirtilmiştir.



Şekil 3.26. Araştırma düzeneği

Şekil 3.26.'da görüldüğü üzere, numune serpantin borusunun giriş bölümünden hava basıncı uygulanabilmesi gerekli montaj işlemleri yapılmıştır. Hava basıncının eşit bir şekilde yayılmasını sağlayabilmek için serpantin çıkış bölümü tapa(2) yardımı ile kapatılmıştır. Sisteme istenilen değerlerde basınç, giriş bölümünden(1) verilerek araştırma sonuçları elde edilmiştir.

3.5. Doğruluk

Bir problemin çözümündeki doğruluk iki şeye bağlıdır:

- Verilerdeki Doğruluk
- Yapılan Hesaplardaki Doğruluk.

Çözüm bu iki maddedekilerin en az doğru olanından daha doğru olamaz. Örneğin, bir köprüye gelen yük 40.000 kg olsa ve bundaki hata, aşağı veya yukarı 50 kg ise verilen bilginin doğruluğunu gösteren hata, $\frac{50 \text{ kg}}{40.000 \text{ kg}}=0,00125= \%0,125$ olur. Köprü

ayaklarından birine gelen tepkiyi hesaplarırken 8.133 kg olduğunu yazmanın anlamı yoktur. Hesaplar ne kadar doğru olursa olsun çözümün doğruluğu %0,125'ten fazla olamaz. Ve bu çözümdeki muhtemel hata $\left(\frac{0,125}{100}\right) 8.133 \approx 10$ kg kadar olabilir. Çözümün doğru olarak yazılışı 8130 ± 10 kg olmalıdır.

Mühendislik problemlerinde veriler nadiren %0,2'den daha doğru olur. Onun için hesapları bundan daha doğru yürütmek gereksizdir. Hemen her durumda hesap cetveli istenilen doğruluğu sağlar. 27 cm'lik bir hesap cetvelinin esas bölümüne bakarken 502 sayısı, iki yanındaki 500 ve 505'lik bölümlere göre kolayca okunabilir. 501 ve 503 ile karıştırılması mümkündür fakat biraz vakit harcanırsa daha büyük bir hata yapılması mümkün değildir. Şu halde yapılan hata en çok 500 birimde 1 birimdir; bağıl hata %0,2'dir. Cetvelin diğer kısımlarında salt hata farklı olur (örneğin 1000 de 2 birim); fakat bölümün logaritmik karakteri sebebiyle bağıl hata %0,2 olarak kalır.

Bazen hesap cetvelindeki doğruluğun üç anlamlı sayı olduğu söylenir. Bu ancak cetvelin orta kısımları için doğrudur. Burada 298,299,300,301 rahatça okunabilir. Buna karşı cetvelin sağ tarafına gidildikçe üçüncü rakam şüpheli olur. Öte yandan cetvelin sol kenarına doğru dördüncü rakamın bir iki birim farkı ile okunması kabildir. 996 ile 998 arasındaki bağıl hata, 1002 ile 1004 arasındakiin aynıdır. (Her ikisi de %0,2'dir.) Şu hale göre hesaplardaki doğruluğu, elde edilen anlamlı sayılardan çok, yapılan muhtemel bağıl hata ile tanımlayacağız ve bütün cevapları aşağı yukarı %0,2 hata ile elde etmeye uğraşacağız. Pratik bir kural 27 cm'lik hesap cetvelinde 1 ile 2 arasındaki sayıları 4 hane, 2 ile 10 arasındaki sayıları 3 hane okumak şeklinde verilebilir. Aksi söylenmedikçe bir problemde verilen bilgi de aynı doğruluk derecesinde kabul edilmelidir. Örneğin 40 kg'lık bir kuvvet, 40 kg ve 15 kg'lık bir kuvvet 15,00 kg kabul edilmelidir. (Mühendisler İçin Mekanik Statik, 1995)

3.6. Kabuller ve İhmaller

Araştırma düzeneğinde işlemlere başlanmadan önce kabuller ve kullanılacak olan sabit değerler şu şekildedir:

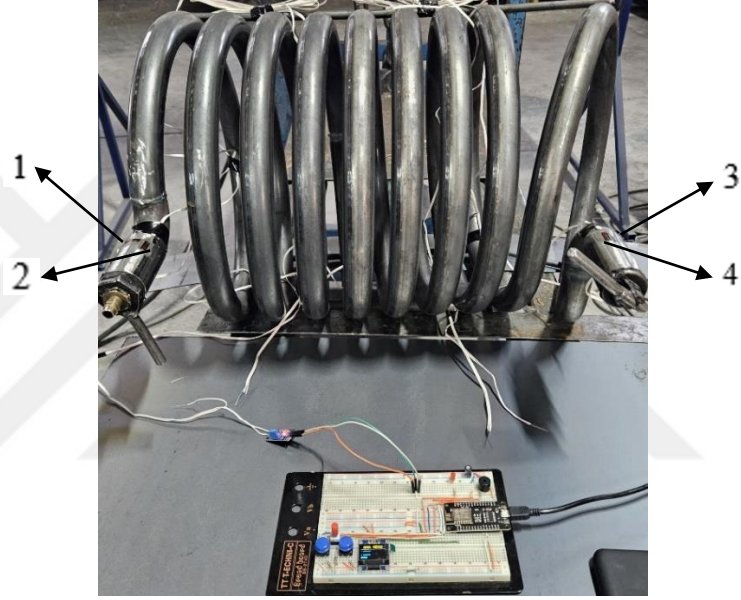
- İnce cidarlı silindir için iki ucu kapalı silindir kabulü ile çözümlenmeler yapılmıştır.
- İç basınç dağılımı üniform olacak şekilde kabul edilmiştir.

- İnce cidarlı silindirin sadece elastik şekil değiştirdiği kabul edilmiştir.
- Basıncın başlangıçta '0' olduğu kabul edilerek gerekli işlemler yapılmıştır. Başlangıç basıncında '0' kabul edilen basınç değeri, gösterge basıncıdır. Mutlak basınç değildir.
- Poisson oranı= 0,3 sabit kabul edilmiştir.
- Elastisite Modl= 209 GPa sabit kabul edilmiştir.
- Strain gauge faktörü (k)= 2 sabit kabul edilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmada 4 farklı noktadan ölçüm alınmıştır. Bu noktalar şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Şekilde belirtilen ve serpantin giriş bölümünde bulunan 1 numaralı strain gauge teğetsel, 2 numaralı strain gauge ise eksenel olarak serpantin borusuna yapıştırılmıştır. Serpantin çıkış bölümünde bulunan 3 numaralı strain gauge teğetsel, 4 numaralı strain gauge ise eksenel olarak serpantin borusuna yapıştırılmıştır.



Şekil 4.1. Strain gauge konumları

Şekil 3.21.'de de gösterilen devre kartının strain gaugeler ile bağlantısı yapılmış olup sonrasında 3,3V ile sınırlandırılmış olan güç kaynağı ile sisteme gerekli elektriksel güç verilmiştir. Gerekli montaj işlemlerinin ardından araştırma sonuçlarının elde edilebilmesi için çalışmaya başlanılmıştır.

Araştırma düzeneğine 0 bar değerinden 8 bar değerine kadar basınç yüklenmiş olup, daha sonrasında ise 8 bar değerinden 0 bar değerine kadar boşaltma işlemi yapılmıştır. Yapılan işlem sonucunda okunan direnç değerleri, strain gauge konumlarına göre tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Direnç değerleri

KONUM	BASINÇ		ÖLÇÜLEN DİRENÇ (OHM)		
	BAR	MPa [N/mm ²]	BAŞLANGIÇ	YÜKLEME	BOŞALTMA
SERPANTİN GİRİŞ - TEĞETSEL	1	0,1	159	163	162
	2	0,2	159	167	166
	3	0,3	159	171	171
	4	0,4	159	175	174
	5	0,5	159	180	179
	6	0,6	159	183	184
	7	0,7	159	187	188
	8	0,8	159	192	191
SERPANTİN GİRİŞ - EKSENEL	1	0,1	172	173	173
	2	0,2	172	174	174
	3	0,3	172	175	175
	4	0,4	172	177	176
	5	0,5	172	177	177
	6	0,6	172	178	178
	7	0,7	172	179	179
	8	0,8	172	180	180
SERPANTİN ÇIKIŞ - TEĞETSEL	1	0,1	170	174	173
	2	0,2	170	178	177
	3	0,3	170	182	181
	4	0,4	170	185	185
	5	0,5	170	190	189
	6	0,6	170	194	193
	7	0,7	170	197	197
	8	0,8	170	202	201
SERPANTİN ÇIKIŞ - EKSENEL	1	0,1	174	175	175
	2	0,2	174	176	176
	3	0,3	174	177	176
	4	0,4	174	178	178
	5	0,5	174	178	179
	6	0,6	174	180	180
	7	0,7	174	181	181
	8	0,8	174	182	182

Tabloda belirtilmiş olan okunan direnç değerlerinin türü analog sinyali cinsindedir. Yani 0 volt ile 3,3 volt arasında değişen analog sinyallerine göre ölçülen değerlerdir. Bu sinyalin dijital sinyale çevrilebilmesi için 10 bitlik ADC (Analog Dijital Dönüştürücü) kullanılmıştır. 10 bitlik dönüştürücünün teorik çözünürlüğü $2^{10}=1024$ 'tür. Yani bu saklayıcı 0 volt giriş için 0 V; 3,3 V giriş için ise 1023 değerini vermektedir. ADC, 0 ve 3,3 Volt arasındaki sinyali oranlayarak 0 ve 1023 arasında bir değere dönüştürmektedir. Yapılan bu dönüşüm tersten işleme alınmış olup, hesaplamalarda kullanılacak olan volt dönüşümüne ulaşılmıştır.

Serpantin giriş bölümünde bulunan ve teğetsel olarak yapıştırılmış strain gaugenin, kalibre işleminin ardından başlangıçtaki okunan direnç değeri 159 ohm'dur. 1 bar yüklemesi etki edildiğinde okunan değer ise 163 ohm'dur. Yukarıda bahsedilen dönüşüm uygulandığında elde edilen mV/V değeri hesaplanarak sunulmuştur.

Başlangıç değeri için okunan Volt değeri (0 bar – 159 ohm):

$$\frac{3,3}{1023} \times 159 = 0,513 \text{ V}$$

Basınç yüklemesi sonrasında okunan Volt Değeri (1 bar – 163 ohm):

$$\frac{3,3}{1023} \times 163 = 0,526 \text{ V}$$

1 bar yükleme sonrasında oluşan Voltaj farkı (U_A):

$$0,526 - 0,513 = 0,013 \text{ V}$$

Besleme voltajı (U_E)'nin 3,3 V olduğu bilindiğine göre, 1 bar için yükleme esnasındaki mV/V değeri:

$$\frac{mV}{V} = \frac{U_A}{U_E} = \frac{0,013}{3,3} = 0,004 \text{ V}$$

olarak hesaplanmıştır. Her bir strain gaugenin ayrı basınç değerleri altındaki mV/V değerleri, yani $\frac{U_A}{U_E}$ değerleri hesaplanılarak tablo 4.2.'de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Direnç değerleri

KONUM	BASINÇ		ÖLÇÜLEN DİRENÇ (OHM)			VOLT DEĞERLERİ	
	BAR	MPa [N/mm ²]	BAŞLANGIÇ	YÜKLEME	BOŞALTMA	YÜKLEME (mV/V)	BOŞALTMA (mV/V)
SERPANTİN GİRİŞ - TEĞETSEL	1	0,1	159	163	162	0,004	0,003
	2	0,2	159	167	166	0,008	0,007
	3	0,3	159	171	171	0,012	0,012
	4	0,4	159	175	174	0,016	0,015
	5	0,5	159	180	179	0,021	0,020
	6	0,6	159	183	184	0,023	0,024
	7	0,7	159	187	188	0,027	0,028
	8	0,8	159	192	191	0,032	0,031
SERPANTİN GİRİŞ - EKSENEL	1	0,1	172	173	173	0,001	0,001
	2	0,2	172	174	174	0,002	0,002
	3	0,3	172	175	175	0,003	0,003
	4	0,4	172	177	176	0,005	0,004
	5	0,5	172	177	177	0,005	0,005
	6	0,6	172	178	178	0,006	0,006
	7	0,7	172	179	179	0,007	0,007
	8	0,8	172	180	180	0,008	0,008
SERPANTİN ÇIKIŞ - TEĞETSEL	1	0,1	170	174	173	0,004	0,003
	2	0,2	170	178	177	0,008	0,007
	3	0,3	170	182	181	0,012	0,011
	4	0,4	170	185	185	0,015	0,015
	5	0,5	170	190	189	0,020	0,019
	6	0,6	170	194	193	0,023	0,022
	7	0,7	170	197	197	0,026	0,026
	8	0,8	170	202	201	0,031	0,030
SERPANTİN ÇIKIŞ - EKSENEL	1	0,1	174	175	175	0,001	0,001
	2	0,2	174	176	176	0,002	0,002
	3	0,3	174	177	176	0,003	0,002
	4	0,4	174	178	178	0,004	0,004
	5	0,5	174	178	179	0,004	0,005
	6	0,6	174	180	180	0,006	0,006
	7	0,7	174	181	181	0,007	0,007
	8	0,8	174	182	182	0,008	0,008

Hesaplanan değerler eşitlik (3.1) 'de yerine yazılarak gerekli ϵ değerlerine ulaşılmıştır. Serpantin giriş bölümünde teğetsel olarak bağlanılan strain gauge için 1 bar yükleme esnasındaki ϵ değerinin hesaplanması,

$$\epsilon = \frac{1}{2(1 + 0,3)} \frac{4}{2} (0,004)(10^{-3}) = 3,0077 \cdot 10^{-6}$$

şeklinde elde edilir. Yapılan hesaplamannın tüm bar değerleri ve strain gaugeler için yapılarak sunulmuş hali tablo 4.3.'te belirtilmiştir.

Tablo 4.3. ϵ değerleri

KONUM	BASINÇ		VOLT DEğERLERİ		ϵ DEğERLERİ (10^{-6})	
	BAR	MPa [N/mm ²]	YÜKLEME (mV/V)	BOŞALTMA (mV/V)	YÜKLEME	BOŞALTMA
SERPANTİN GİRİŞ - TEğETSEL	1	0,1	0,004	0,003	3,0077	2,2558
	2	0,2	0,008	0,007	6,0155	5,2636
	3	0,3	0,012	0,012	9,0232	9,0232
	4	0,4	0,016	0,015	12,0310	11,2790
	5	0,5	0,021	0,020	15,7907	15,0387
	6	0,6	0,023	0,024	18,0465	18,7984
	7	0,7	0,027	0,028	21,0542	21,8062
	8	0,8	0,032	0,031	24,8139	24,0620
SERPANTİN GİRİŞ - EKSENEL	1	0,1	0,001	0,001	0,7519	0,7519
	2	0,2	0,002	0,002	1,5039	1,5039
	3	0,3	0,003	0,003	2,2558	2,2558
	4	0,4	0,005	0,004	3,7597	3,0077
	5	0,5	0,005	0,005	3,7597	3,7597
	6	0,6	0,006	0,006	4,5116	4,5116
	7	0,7	0,007	0,007	5,2636	5,2636
	8	0,8	0,008	0,008	6,0155	6,0155
SERPANTİN ÇIKIŞ - TEğETSEL	1	0,1	0,004	0,003	3,0077	2,2558
	2	0,2	0,008	0,007	6,0155	5,2636
	3	0,3	0,012	0,011	9,0232	8,2713
	4	0,4	0,015	0,015	11,2790	11,2790
	5	0,5	0,020	0,019	15,0387	14,2868
	6	0,6	0,023	0,022	18,0465	17,2945
	7	0,7	0,026	0,026	20,3023	20,3023
	8	0,8	0,031	0,030	24,0620	23,3100
SERPANTİN ÇIKIŞ - EKSENEL	1	0,1	0,001	0,001	0,7519	0,7519
	2	0,2	0,002	0,002	1,5039	1,5039
	3	0,3	0,003	0,002	2,2558	1,5039
	4	0,4	0,004	0,004	3,0077	3,0077
	5	0,5	0,004	0,005	3,0077	3,7597
	6	0,6	0,006	0,006	4,5116	4,5116
	7	0,7	0,007	0,007	5,2636	5,2636
	8	0,8	0,008	0,008	6,0155	6,0155

Eşitlik (2.7) kullanılarak elde edilen ϵ değerlerinden gerilmeler bulunabilmektedir. Yükleme esnasında serpantin giriş bölümünde bulunan strain gaugelerin 1 bar basınç altındaki σ_T (teğetsel gerilme) hesaplaması yapılırken ϵ_1 değeri $3,0077 \cdot 10^{-6}$, ϵ_2 değeri ise eksenel yapılandırılmış strain gauge verisine bağlı olarak $0,7519 \cdot 10^{-6}$, olarak alınmıştır. Yapılan hesaplama şu şekildedir:

$$\sigma_T = \sigma_1 = \frac{209 \cdot 10^3}{1 - (0,3)^2} \cdot [3,0077 + (0,3)(0,7519)] 10^{-6} = 0,7426 \text{ N / mm}^2$$

Eşitlik (2.8) kullanılarak 1 bar basınç altındaki σ_E (eksenel gerilme) şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_E = \sigma_2 = \frac{209 \cdot 10^3}{1 - (0,3)^2} \cdot [0,7519 + (0,3)(3,0077)] 10^{-6} = 0,3799 \text{ N / mm}^2$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda serpantin giriş bölümünde bulunan aksenal ve teğetsel olarak yapıştırılmış strain gaugeler için gerilme değerleri tablo 4.4.'te sunulmuştur.

Tablo 4.4. Gerilme değerleri

BASINÇ		TEĞETSEL		EKSENEL	
BAR	MPa [N/mm ²]	σ_T [MPa]	$\varepsilon_1 (10^{-6})$	σ_E [MPa]	$\varepsilon_2 (10^{-6})$
1	0,1	0,74	3,01	0,38	0,75
2	0,2	1,49	6,02	0,76	1,50
3	0,3	2,23	9,02	1,14	2,26
4	0,4	3,02	12,03	1,69	3,76
5	0,5	3,89	15,79	1,95	3,76
6	0,6	4,46	18,05	2,28	4,51
7	0,7	5,20	21,05	2,66	5,26
8	0,8	6,11	24,81	3,09	6,02

Araştırma düzeneğinden elde edilen veriler tabloda sunulmuştur. Verilerin teorik sonuçlara yakınlık durumuna bakılabilmesi için pratikte hesaplanan bu verilerin teoride de hesaplanması gerekmektedir. Eşitlik (2.1) ve eşitlik (2.2)'ye göre, 1 bar basınç altında aksenal ve teğetsel gerilmelerin gerekli hesaplamaları yapıldığında,

$$\sigma_T = \sigma_1 = \frac{Pd}{2t} = \frac{(0,1)(31,7)}{2(2)} = 0,7925 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma_E = \sigma_2 = \frac{Pd}{4t} = \frac{(0,1)(31,7)}{4(2)} = 0,39625 \text{ N / mm}^2$$

sonuçları elde edilir. Daha sonra eşitlik (2.7) ve eşitlik (2.8) kullanılarak ε_1 ve ε_2 değerlerine bağlı denklem elde edilmiştir.

$$\sigma_T = \sigma_1 = \frac{E}{1 - \nu^2} (\varepsilon_1 + \nu \cdot \varepsilon_2)$$

$$\sigma_1 = \frac{209 \cdot 10^3}{1 - (0,3)^2} [\varepsilon_1 + (0,3)\varepsilon_2](10^{-6}) = 0,7925 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_1 + (0,3)\varepsilon_2 = 3,4506$$

$$\sigma_E = \sigma_2 = \frac{E}{1 - \nu^2} (\varepsilon_2 + \nu \cdot \varepsilon_1)$$

$$\sigma_2 = \frac{209 \cdot 10^3}{1 - (0,3)^2} [\varepsilon_2 + (0,3)\varepsilon_1](10^{-6}) = 0,39625 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_2 + (0,3)\varepsilon_1 = 1,7253$$

$$\varepsilon_1 + (0,3)\varepsilon_2 = 3,4506$$

$$\varepsilon_2 + (0,3)\varepsilon_1 = 1,7253$$

$$(1,3) \varepsilon_1 + (1,3) \varepsilon_2 = 5,1759$$

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 3,9815$$

$$\varepsilon_1 + (0,3)[(3,9815) - \varepsilon_1] = 3,4506$$

$$(0,7) \varepsilon_1 = 2,25615$$

$$\varepsilon_1 = 3,22$$

$$\varepsilon_2 = 0,76$$

Elde edilen denklemler sonucunda ε_1 ve ε_2 değerleri hesaplanılmıştır. Yapılan hesaplamaların 8 bar'a kadar hesaplanan değerleri tablo 4.5.'te sunulmuştur.

Tablo 4.5. Teorik gerilme değerleri

BASINÇ		TEĞETSEL		EKSENEL	
BAR	MPa [N/mm ²]	σ_T [MPa]	$\epsilon_1 (10^{-6})$	σ_E [MPa]	$\epsilon_2 (10^{-6})$
1	0,1	0,79	3,22	0,40	0,76
2	0,2	1,59	6,44	0,79	1,52
3	0,3	2,38	9,66	1,19	2,28
4	0,4	3,17	12,88	1,59	3,05
5	0,5	3,96	16,10	1,98	3,81
6	0,6	4,76	19,32	2,38	4,57
7	0,7	5,55	22,54	2,77	5,33
8	0,8	6,34	25,76	3,17	6,09

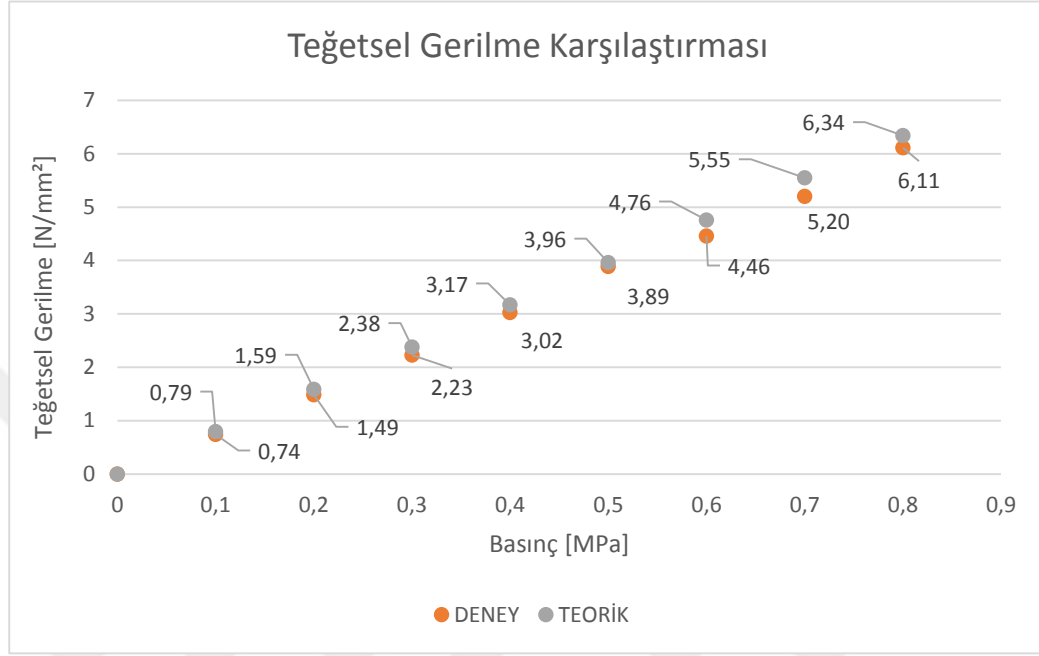
Araştırma d¼zeneginden elde edilen ϵ_1 ve ϵ_2 değerlerine bağlı olarak eksenel ve teğetsel gerilmeler hesaplanmıştır. Eksenel ve teğetsel gerilmeler teorik olarak da hesaplanıp kıyaslandığında değerler arasında fark olduğu g¼zlemlenmiřtir.

Tablo 4.6. Teorik ve pratik olarak hesaplanan gerilme farkları

BASINÇ		TEĞETSEL GERİLME (σ_T) [MPa]		EKSENEL GERİLME (σ_E) [MPa]	
BAR	MPa [N/mm ²]	PRATİK	TEORİK	PRATİK	TEORİK
1	0,1	0,74	0,79	0,38	0,40
2	0,2	1,49	1,59	0,76	0,79
3	0,3	2,23	2,38	1,14	1,19
4	0,4	3,02	3,17	1,69	1,59
5	0,5	3,89	3,96	1,95	1,98
6	0,6	4,46	4,76	2,28	2,38
7	0,7	5,20	5,55	2,66	2,77
8	0,8	6,11	6,34	3,09	3,17

Teğetsel gerilme değerleri arasında ortalama %6 ve eksenel gerilme değerleri arasında ortalama %2'lik sapmalar g¼zlemlenmiřtir.

Pratik ve teorik gerilme değerlerinin grafik üzerindeki gösterimleri Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'te sunulmuştur.



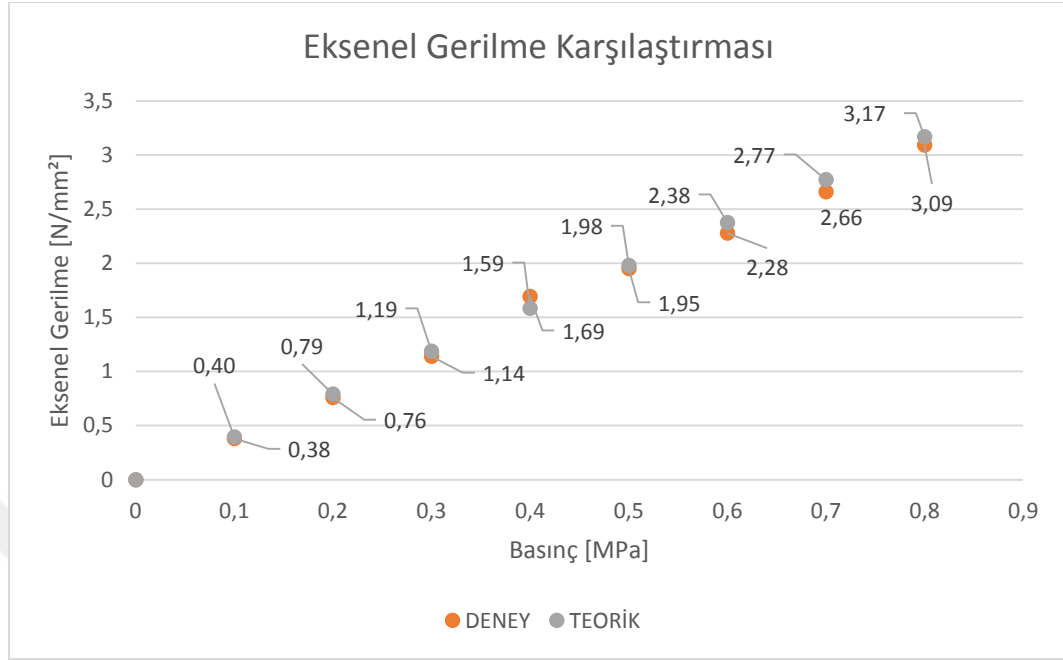
Şekil 4.2. Teğetsel gerilme karşılaştırması

Teğetsel gerilme değerleri kıyaslandığında ortalama %6 oranında sapma gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu sapmanın sebepleri olarak:

- Hassas lm alınamaması (Bit sayısı daha fazla dönüŐtürücü kullanılmalı),
- Ölüm esnasında ortamda bulunan elektromanyetik gürültü,
- Cep telefonları veya kablosuz bağlantıları,
- Kabloların ve bağlantıların elektriksel kendi dirençleri, gösterilebilir.

Belirtilen sebeplerin yanı sıra malzemenin homojen olarak dağılım göstermemesi de sapma sebeplerinden gösterilebilir.

Deney düzeneğinde sapma oranı basıncın artması ile beraber artıŐ göstermiştir. Bunun sebebi olarak kullanılan strain gauge, dönüŐtürücü ve malzeme kalitesi yine gösterilebilir.



Şekil 4.3. Eksenel gerilme karşılaştırması

Eksenel gerilme değerleri kıyaslandığında ortalama %2 oranında sapma gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu sapmanın sebepleri, eksenel gerilmelerin kıyaslanması bölümünde anlatılmıştır. Bu sebeplere ek olarak strain gaugenin yapıştırma kalitesi, ortam şartları ve malzeme homojenliği eklenebilir.

Şekil 4.3.'te 4 bar yani 0,4 MPa değeri haricindeki tüm değerler teorik olarak hesaplanan değerlerin altında kalmıştır. Deney düzeneği belirtilen basınç 4 bar etkisindeyken hesaplanan gerilme değerinin diğer basınç değerinden farklı olmasının sebebi, deney esnasında ortamda değişiklik gösteren sinyaller, elektromanyetik gürültü gibi ortam şartları gösterilebilir.

Teorik ve deneysel ölçüm grafikleri arasındaki farkın yakın çıkması, yüzey gerilmelerinin doğruluğunu göstermektedir.

5. SONUÇ

Serpantin borularında strain gauge kullanılarak yapılan gerilme analizinin sonuçları, borunun maruz kaldığı mekanik yüklemeler ve bu yüklemeler sonucunda oluşan gerilme dağılımını saptamak açısından kritik öneme sahiptir. Gerilme dağılımı ve analiz sonuçları yorumlandığında,

- Maksimum gerilme değerleri, yapılan ölçümler sonucunda kritik noktalar tespit edilmiştir. Bu noktalar genellikle borunun kıvrım bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Minimum gerilme değerleri ise daha düz ve az yük altındaki bölgelerde gözlemlenmiştir.
- Gerilme konsantrasyon bölgeleri, strain gauge verileri borunun kıvrım yaptığı noktalarda arttığı gözlemlenmiştir. Bu bölgeler yorulma ve çatlak başlangıç noktaları olarak saptanmıştır.
- Ölçülen gerilme değerleri, boru malzemesinin elastik sınırları içinde kalıp kalmadığını belirlemek için analiz edilmiştir. Sonuçlar, borunun mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır.
- Strain gauge yardımıyla elde edilen veriler, malzemenin gerilme değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Bu değerler, borunun mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır.
- Eğer sıcaklık değişimlerinin olduğu bir ortamda çalışma yapılıyorsa, termal gerilmelerin de analiz edilmesi gerekmektedir. Strain gauge verileri, sıcaklık değişimlerinin gerilme dağılımını nasıl etkilediğini göstermiştir.
- Yapısal Sağlamlık, analiz sonuçlarına göre, serpantin borularının mevcut tasarım ve yükleme koşulları altında yapısal olarak sağlam olduğu görülmüştür. Ancak, belirli bölgelerdeki yüksek gerilmeler nedeniyle periyodik kontroller önerilmektedir.
- Yorulma Analizi, yüksek gerilme bölgelerindeki malzeme yorulma riski değerlendirilmiş ve bu bölgelerin düzenli olarak izlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Gerektiğinde güçlendirme çalışmaları yapılabilir.

- Tasarım İyileştirmeleri, analiz sonuçları, boru tasarımında yapılabilecek iyileştirmeler konusunda rehberlik etmektedir. Özellikle kıvrım bölgelerinde gerilme azaltıcı tasarım değişiklikleri önerilmektedir.

Bu sonuçlar, serpantin borularda yapılan gerilme analizinin, borunun güvenli ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için ne kadar önemli olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır. Bu tür analizler, mühendislik uygulamalarında olası riskleri önceden tespit ederek güvenli çalışma koşullarının sağlanmasına yardımcı olur.

Elde edilen sonuçlara göre serpantin boruların kıvrım yerlerindeki birleşimi sağlayan patent dirsek ve manşon gibi malzemelerin et kalınlıklarının artırılması kaynak et kalınlığının artmasını sağlayacaktır. Yapılan bu iyileştirme, serpantin patlağı sorunlarına kısmen çözüm sağlayabilir. Serpantin patlağı sorununa bir başka çözüm önerisi ise, serpantin manşon bağlantı noktasındaki kavis derecesini azaltacak yeni serpantin tasarımları kullanılabilir. Kavis derecesinin azaltılması ile kıvrım noktalarındaki basınç değerlerinin daha homojen bir yayılım göstermesi sağlanabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akıncı, H. (2007). Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri. (Yayın No. T02792). Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Anık, S., & Tülbentçi, K. (n.d.). Gazaltı Kaynak Tekniği. Gedik Eğitim ve Sosyal Yardım Vakfı.
- Apamet. (2023). Apamet sünger ve poliüretan ürünü fiyat listesi [Broşür]https://www.apamet.com.tr/boylar_katalogu.pdf Son Erişim Tarihi: 06.05.2024
- Avcı, H. (2023). Optimizing The Design Parameters of Condensing Boiler by Numerical, Experimental and Artificial Neural Networks Methods (thesis). İzmir
- Baştürk, E. (2018). Isıl Enerji Depolama Kapasitesine Sahip UV Işınlı Sertleşebilen Kompozit Yapıların Geliştirilmesi. (Yayın No. 513366). Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Beer, F. P., & Johnston, E. R. Jr. (1995). Mühendisler için mekanik statik (F. Keskinel & T. Özbek, Çev.). Birsen Yayınevi.
- Çallı, E. (2016). Boru Yalıtımı Uygulamalarında Isıtma Derece Günlere Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufu. (Yayın No. 430944). Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Çiftçi, E., Sözen A. ve Karaman, E. (2016). TiO₂ İçeren Nanoakışkan Kullanımının Isı Borusu Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Politeknik Dergisi,19(3), 367-376.
- Çomaklı, K., Bakırcı, K., Erdoğan, S. ve Şahin, B. (2005). Enerji, Çevre, Sağlık ve Güvenlik Açısından Yalıtım. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 89, 65-70.
- Dağoğlu, E. (2019). Nbr-Pvc Bazlı Elastomerik Kauçuk Köpüğünde Boyutsal Kararlılığın Termal Analiz Yöntemiyle Geliştirilmesi. (Yayın No. 588697). Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.100
- Daşdemir, A. (2019). Boru Yalıtımında Farklı Boru Çapları İçin Hava Boşluğunun Yalıtım Kalınlığı ve Kullanım Ömrü Maliyetleri Üzerine Etkileri. (Yayın No. 567911). Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Deveci, M. (2020). Farklı Döşeme Teknikleriyle Üretilen Oturma Elemanlarının Performanslarının Belirlenmesi. (Yayın No. 626148). Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Döğücü, Y.A. (2021). 'Boylar Kazanlarının Üretim Parametreleri Değişimine Bağlı Olarak Isıl Performansının İncelenmesi' Yüksek lisans tezi, Amasya Üniversitesi, Amasya.
- Ensari, Ö. F. (2020). Yağ Alkolleri Bazlı Faz Değişim Malzemelerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Isıl Enerji Depolama Özelliklerinin Belirlenmesi. (Yayın No. 629187). Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Erdoğan, M. (2014). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Termodinamik Analiz Yöntemi ile İncelenerek, Yenilenebilir Enerji Kullanımının Gelecek Projeksiyonlarının Değerlendirilmesi. (Yayın No. 394408). Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Ertürk, Ö. (2005). Deneysel Gerilme Analizinde Kuvvet ve Tork Ölçme (thesis). İstanbul.
- Evcimen, A. (2022). Endüstriyel Boylerlerde Isı ve Akışkan Geçişinin Sayısal Analizi (thesis). Çorum.
- Gürenli, M., Atamtürk, U. (2011, 13-16 Nisan). Türkiye’de Yaygın Olan Kullanım Sıcak Suyu Sistemlerine Genel Bir Bakış Hızlı Boyler ve Depo Şarj Sisteminin Karşılaştırmalı Analizi. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi’nde Yayımlanan Makale.
- İzocam. (2021). İzocam cam yünü ürünü fiyat listesi [Broşür]<http://www.himerpa.com/images/upload/f353dcaa-0cb2-43a8-99b6-b1a516f351b1.pdf> Son Erişim Tarihi: 24.05.2024
- Kara, A. Y. ve Aslantürk, C. (2003). Binalarda Kullanılan Boylerin Modellenmesi, Tesisat Mühendisliği, 73, 17 – 22.
- Karaoğlu, O. (2019). Güneş Kaynaklı Bölgesel Isıtma Sistemlerinin İncelenmesi ve Bir Üniversite Kampüsündeki Belirli Bölge İçin Modellenerek Değerlendirilmesi. (Yayın No. 10268729). Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya, R. (2017). Trijenerasyon Sisteminde Gaz Motoru Ünitesi Yağlama Yağının Soğutulmasından Elde Edilen Enerjinin Boyler Sisteminde Kullanılması. (Yayın No. 470660). Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. ve Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. Mühendis ve Makine Dergisi, 59(692), 86-114.
- Koç, E. ve Keleş, İ. (2012). İnce Cidarlı Silindirde Gerilme ve Şekil Değiştirme Analizi Deney Föyü, Samsun
- Koç, E., Keleş, İ., & Yıldızlı, K. (2012). (rep.). Strain Gage Deney Föyü. Samsun.
- Kozak, M. ve Kozak, Ş. (2012). Enerji Depolama Yöntemleri. SDU International Technologic Science, 4(2), 17-29.
- Küçükgül, İ. (2014). Enerji Kullanımı, Dış Ticaret ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Teori, Literatür ve Uygulama. (Yayın No. 359941). Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hatay.
- Oğur, E., & Çıtlak, A. (2021). Adıyaman Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi Isıtma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi. Fırat Üniversitesi Fen Bil. Dergisi, 33(1), 37–49.
- Ögetürk, İ. (2019). Binalarda Isı Yalıtım Malzemelerinin Enerji Verimliliği Üzerine Etkisinin Araştırılması. (Yayın No. 560018). Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Ökten, K. (2016). Isı Geri Kazanımı ve Depolanmasında Sıcaklık Farklarının Korunması İçin Cam Yünlü Donatılı Tankların Termal İncelenmesi. (Yayın No. 297367). Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Özaltun, H. (1999). Boru Hatlarında Hasar Oluşumu ve Hasarların Çeşitli Kaynak Teknikleri Kullanılarak Tamir Edilme Usulleri (thesis).
- Lee, C. M. (2019). Development of high-sensitivity strain gauges for biomedical applications (Doctoral dissertation). Massachusetts Institute of Technology.

- Miller, R. F., & Hernandez, G. A. (2018). Analysis of strain gauge rosette configurations for stress measurement. *Journal of Experimental Mechanics*, 58(9), 1234-1245.
- Thompson, M. A., & White, H. J. (2020). Temperature compensation techniques for strain gauges. *Sensors and Actuators A: Physical*, 307, 111940.
- Johnson, L. K., & Smith, D. S. (2021). Strain gauge measurements in composite materials. *Composites Science and Technology*, 202, 108-118.
- Brown, J. T., & Green, M. R. (2022). The application of strain gauges in structural health monitoring. *Journal of Structural Engineering*, 148(5), 623-634.
- Smith, G. F., & Roberts, A. K. (2024). The role of thin-walled tubes in modern structural engineering. *Structural Engineering International*, 34(3), 400-412.
- Morgan, E. S., & Brooks, J. A. (2024). Thermal performance of thin-walled tubes in heat transfer applications. *Heat Transfer Engineering*, 45(1), 22-35.
- Evans, C. B., & Ellis, H. F. (2024). Fatigue and life prediction of thin-walled tubular structures. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 47(2), 567-580.
- Patel, N. R., & Adams, F. J. (2024). Corrosion resistance of thin-walled tubes: A comprehensive review. *Corrosion Science*, 195, 110-123.
- Carter, M. J., & Robinson, L. T. (2023). Structural optimization of thin-walled tubes for aerospace structures. *Aerospace Engineering and Design*, 21(4), 345-359.
- Miller, A. P., & Williams, T. R. (2023). Thin-walled tubes for automotive applications: Design and testing. *Automotive Engineering Journal*, 89(3), 215-227.
- Kim, J. K., & Choi, H. C. (2022). Impact behavior of thin-walled tubes: Experimental and numerical studies. *Journal of Impact Engineering*, 163, 104289.
- Brown, R. L., & Thompson, K. M. (2021). Advanced analysis of thin-walled tubes for structural applications. *Computers & Structures*, 255, 106687.
- Wang, S. T., & Zhang, Z. Y. (2020). Mechanical behavior of thin-walled tubes under combined loading conditions. *Mechanics of Materials*, 147, 103424.
- Rajagopal, K. R., & Calladine, C. R. (2019). *Journal of Mechanical Engineering Science*. <https://doi.org/10.1177/0954406219885957>
- Smith, J. A., & Naughton, M. T. (2020). *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104288>
- O'Brien, L. S., & Andrews, H. T. (2021). *Aerospace Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.105867>
- Richards, A. M., & Carter, D. J. (2022). *Materials & Design*. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110320>
- Wallace, R. J., & Jones, P. C. (2023). *Journal of Fatigue and Fracture*. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.110631>
- Saha M. C., Kabir Md.E. ve Jeelani S. (2008). Enhancement In Thermal and Mechanical Properties Of Polyurethane Foam Infused With Nanoparticles. *Materials Science and Engineering A*, 479, 213-222.
- Sarımeşe, K. (2015). Split Klimalarda Boyler Kullanılarak Sürekli Sıcak Su Temini, Enerji Verimliliği ile Termodinamik ve Termoeconomik Yönden Uygunluğunun Araştırılması.

- (Yayın No. 405880). Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Şanslı, B. (2015). Ticari Tip Split Klimada Kondenser Atık Isının Farklı Bir Yöntemle Boylerde Kullanımının Enerji Verimliliğine Etkisi. (Yayın No. 405881). Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.99
- Tang, W., Feng, H., Chen, L., Xie, Z., & Shi, J. (2021). Constructal design for a boiler economizer. *Energy*, 223.18. Tharake, G.M. & Sithari, M. (2020). Boiler systems optimization. *Journal of Research Technology and Engineering*, 1(3), 151-160.
- Urmamen, E. (2019). Türkiye’de ve Dünya’da Enerji Verimliliği. (Yayın No. 567968). Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yapıcı, F., Gök, A., Gülsoy, S.K., Kurt, Ş., Altun, S., Kılıç, İ. ve Korkmaz, M. (2012). Döşemelik Süngerlerin Statik Yorma Performanslarının Belirlenmesi. *Orman Fakültesi Dergisi*, 12(2), 285-290.
- Yavuz, M. (2011). Bilgisayar Destekli Kalıp Modelleme İle Boru Bükme Kalıbı Tasarımı ve Üretim Parametrelerinin İncelenmesi (thesis). Bursa.
- Yıldızhan, H. (2013). Boyler Destekli Vakum Tüplü Güneş Kollektör Sisteminin Farklı Parametrelere Göre Ekserji Analizi. (Yayın No. 354261). Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

7. ÖZ GEÇMİŞ

Fatih ASLAN, 2014 yılında Merzifon Anadolu Öğretmen Lisesini bitirdikten sonra Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2019 yılında mezun oldu.

2021 yılında Apaydın Isıtma Sistemleri ve Enerji şirketinde çalışmaya başladı. Çalışmış olduğu süre zarfı içerisinde askerlik görevini de yerine getirmiştir. Şirkette Planlama Müdürü olarak aktif bir şekilde çalışmaktadır.

Tasarım ve analiz programlarını kullanabilme konusunda gerekli bilgi ve donanımı bulunmaktadır. Kaynak tekniği ve gerilmeler üzerine araştırmalar yapmıştır.

Lider karakterlidir. Problem çözme becerisi yüksektir. Spora ve gök bilimlerine ilgi duymaktadır. Teknolojik gelişmeleri takip etmektedir. Müzik aletlerinin birçoğunu kullanabilmektedir. (05.12.2024)

İletişim Bilgileri

ORCID ID: 0009-0004-2515-3262

Yayımlar:

1. Aslan F., Yıldızlı K. (2024) “BOYLER KAZANLARIN SERPANTİN BORULARINDA GERİLME ANALİZİ”. Bilgin Ö. (ed.). 4. Ulusal Bilimsel Araştırma Kongresi. (s. 53-59). Ankara, Türkiye.