

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI AMORTİSÖR KUVVETLERİ İÇİN AMORTİSÖR İÇ VE
DIŞ SICAKLIKLARININ TERMAL MATEMATİKSEL
MODELİNİN TASARIMI VE 1D TERMAL ANALİZ İNCELEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih AYDEMİR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Bilim Dalı

ARALIK 2025

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI AMORTİSÖR KUVVETLERİ İÇİN AMORTİSÖR İÇ VE
DIŞ SICAKLIKLARININ TERMAL MATEMATİKSEL
MODELİNİN TASARIMI VE 1D TERMAL ANALİZ İNCELEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih AYDEMİR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin PEHLİVAN

ARALIK 2025

Fatih AYDEMİR tarafından hazırlanan “Farklı Amortisör Kuvvetleri İçin Amortisör İç ve Dış Sıcaklıklarının Termal Matematiksel Modelinin Tasarımı ve 1D Termal Analiz İncelemesi” adlı tez çalışması 30.12.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı: **Prof. Dr. Elif ÖĞÜT**
Kocaeli Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Prof. Dr. Hüseyin PEHLİVAN** (Danışman)
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Doç. Dr. Hüseyin DAL**
Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “FARKLI AMORTİSÖR KUVVETLERİ İÇİN AMORTİSÖR İÇ VE DIŞ SICAKLIKLARININ TERMAL MATEMATİKSEL MODELİNİN TASARIMI VE 1D TERMAL ANALİZ İNCELEMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığımı, etik kurul onay belgesi aldığımı (etik onayı gerekmiyorsa bu cümle metinden çıkartılır), çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

30/06/2025

Fatih AYDEMİR







TEŐEKKÖR

Yüksek lisans eğitimin süresince bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin PEHLİVAN'a, yüksek lisans çalışmalarında firmada testlerde ve diğer konularda yardımını esirgeyemeyen Özgür KARAOĞLAN ve bölüm müdürüm Ertuğrul ÇAKMAKÇI'ya ve yüksek lisans sürecinde manevi olarak bana destek olan eşim Sevtap AYDEMİR ve kızım Duru AYDEMİR'e ve kardeşim Büşra AYDEMİR'e teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Fatih AYDEMİR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Literatür Araştırması	2
2. AMORTİSÖR NEDİR.....	5
2.1. Araç Süspansiyon Sistemleri ve Yaylar	5
2.2. Amortisörün Rolü	6
3. BİNEK ARAÇLARDA AMORTİSÖR TASARIMI	9
3.1. Tek Borulu (Monotube) Amortisörler	9
3.1.1. Çalışma prensibi	9
3.1.2. Avantajları	9
3.1.3. Ebatları	10
3.1.4. Uygulaması	10
3.1.5. Açma kuvveti	11
3.2. Çift Borulu (Twintube) Amortisörler	11
3.2.1. Çalışma prensibi	11
3.2.2. Basma ve çekme basamakları	12
3.2.3. Avantajları	13
3.2.4. Dezavantajları	13
3.2.5. Ebatları	14
3.2.6. Uygulamaları	14
3.2.7. Piston çubuğu üzerindeki açma kuvveti	14
3.3. Yaylı Ayaklar	15
3.3.1. Tasarım	15
3.3.2. Ebatları	16
3.3.3. Uygulama	16
3.4. Amortisörde Kullanılan Eklentiler	16
3.4.1. RSS komponenti	16
3.4.2. HRS sistemi	18
3.4.3. HCS Sistemi	19
4. DENEY, ANALİZ VE MATEMATİK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ... 21	21
4.1. Deneysel Modelin Tasarımı	21
4.2. Matematik Modelinin Geliştirilmesi	23

4.3. 36/18 Amortisörün 1D Analizi.....	29
4.4. Deneysel Çalışmaların Sonuçları	32
4.5. Matematiksel Model Sonuçları.....	35
4.6. 1D Termal Analiz Sonuçları.....	39
4.7. Deneysel ve Matematiksel Modelin Sonuçların Değerlendirilmesi.....	41
KAYNAKLAR.....	45
EKLER.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	73



KISALTMALAR

F-s	: Kuvvet-yer deęiřtirme
F-V	: Kuvvet-hız
HCS	: Hidrolik sıkıştırma durdurma sistemi
HRS	: Hidrolik geri tepme durdurma sistemi
NVH	: Gürültü, titreşim ve sertlik testi
OEM	: Orijinal Parça reticisi (Audi, Mercedes, vd.)
RSS	: Geri tepme durdurucu yay



SİMGELER

$\dot{Q}_1$	: Amortisör yağ kısmından sisteme ısı girişi	[W]
$\dot{Q}_2$	: Reservuar kısmından sisteme ısı girişi	[W]
C_o	: Amortisör yağının ısı kapasitesi	[J/°C]
c_o	: Amortisör yağının spesifik ısı kapasitesi	[J/kg.°C]
C_{ot}	: Amortisör dış tüpünün ısı kapasitesi	[J/°C]
c_{ot}	: Amortisör dış tüpünün spesifik ısı kapasitesi	[J/kg.°C]
C_{pr}	: Piston çubuğunun ısı kapasitesi	[J/°C]
c_{pr}	: Piston çubuğunun spesifik ısı kapasitesi	[J/kg.°C]
C_{pt}	: Amortisör basınç tüpünün ısı kapasitesi	[J/°C]
c_{pt}	: Amortisör basınç tüpünün spesifik ısı kapasitesi	[J/kg.°C]
C_r	: Reservuarın ısı kapasitesi	[J/°C]
c_r	: Reservuarın spesifik ısı kapasitesi	[J/kg.°C]
C_s	: Kontrol kovanının ısı kapasitesi	[J/°C]
c_s	: Kontrol kovanının spesifik ısı kapasitesi	[J/kg.°C]
h_a	: Çevrenin ısı transfer sabiti	[W/m ² .°C]
h_o	: Yağın ısı transfer sabiti	[W/m ² .°C]
h_r	: Reservuarın ısı transfer sabiti	[W/m ² .°C]
h_w	: Soğutma suyunun ısı transfer sabiti	[W/m ² .°C]
k_s	: Kontrol kovanının ısı iletkenliği	[W/m.°C]
L_1	: Kontrol kovanının yüksekliği	[mm]
L_2	: Soğutma su ceketinin yüksekliği	[mm]
m_o	: Amortisör yağının kütlesi	[kg]
m_{ot}	: Amortisör dış tüpünün kütlesi	[kg]
m_{pr}	: Piston çubuğunun kütlesi	[kg]
m_{pt}	: Amortisör basınç tüpünün kütlesi	[kg]
m_r	: Reservuarın kütlesi	[kg]
m_s	: Kontrol kovanının kütlesi	[kg]
T_{10}^i	: Reservuarın i zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_{10}^{i+1}	: Reservuarın i+1 zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_{12}^i	: Amortisör dış tüpünün i zamanındaki sıcaklığı	[°C]

T_{12}^{i+1}	: Amortisör dış tüpünün i+1 zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_2^i	: Piston çubuğunun i zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_2^{i+1}	: Piston çubuğunun i+1 zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_4^i	: Amortisör yağının i zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_4^{i+1}	: Amortisör yağının i+1 zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_6^i	: Kontrol kovanının i zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_6^{i+1}	: Kontrol kovanının i+1 zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_8^i	: Amortisör basınç tüpünün i zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_8^{i+1}	: Amortisör basınç tüpünün i+1 zamanındaki sıcaklığı	[°C]
T_a	: Çevrenin sıcaklığı	[°C]
T_s	: Su soğutmanın sıcaklığı	[°C]
V_o	: Amortisör yağının hacmi	[m ³]
V_{ot}	: Amortisör dış tüpünün hacmi	[m ³]
V_{pr}	: Piston çubuğunun hacmi	[m ³]
V_{pt}	: Amortisör basınç tüpünün hacmi	[m ³]
V_r	: Reservuarın hacmi	[m ³]
V_s	: Kontrol kovanının hacmi	[m ³]
Δt	: Zaman farkı	[saniye]
ρ_o	: Amortisör yağının yoğunluğu	[kg/m ³]
ρ_{ot}	: Amortisör dış tüpünün yoğunluğu	[kg/m ³]
ρ_{pr}	: Piston çubuğunun yoğunluğu	[kg/m ³]
ρ_{pt}	: Amortisör basınç tüpünün yoğunluğu	[kg/m ³]
ρ_r	: Reservuarın yoğunluğu	[kg/m ³]
ρ_s	: Kontrol kovanının yoğunluğu	[kg/m ³]

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Tek borulu amortisör boyutları (Cotur, 2010).....	11
Tablo 3.2. Çift borulu amortisör boyutları (Cotur, 2010).....	14
Tablo 3.3. Piston çubuğu değerine göre gaz açma kuvvetleri (Cotur, 2010).	15
Tablo 3.4. Çift borulu yaylı tip amortisör boyutları (Cotur, 2010).	16
Tablo 4.1. Deneysel çalışmalar için 36/18 test matriksi.....	23
Tablo 4.2. Titan SAF 1579 EU 175 ürün veri sayfası.	26
Tablo 4.3. Bilinmeyen ısı transfer değerleri için korelasyon çalışması.	29
Tablo 4.4. Amortisör enerji kapasitesi şablonu.	36
Tablo 4.5. Matriks 3 sıcaklık karşılaştırılması.	42
Tablo 4.6. Matriks 7 sıcaklık karşılaştırılması.	43
Tablo 4.7. Matriks 9 sıcaklık karşılaştırılması.	44



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Amortisörün sönümleme etkisi.....	7
Şekil 3.1. Tek borulu bir amortisörün kesiti ve ana bileşenleri (Cotur, 2010).	10
Şekil 3.2. İki borulu amortisör kesiti ve ana bileşenleri (Cotur, 2010).....	12
Şekil 3.3. Çift borulu bir amortisörde basma ve çekme basamakları.	13
Şekil 3.4. Yaylı amortisör kesit görünümü ve ana bileşenleri (Cotur, 2010).	15
Şekil 3.5. Standart amortisörlerde F-s grafiği.....	17
Şekil 3.6. Standart amortisörlerde F-V grafiği.	17
Şekil 3.7. a) Gevşek geçme b) Sıkı geçme.	18
Şekil 3.8. RSS kullanılan bir amortisör için F-s grafiği.....	18
Şekil 3.9. HRS sisteminin kesit görünümü ve temel bileşenleri.....	19
Şekil 3.10. HRS sistemi kullanılan bir amortisörün F-s grafiği.....	19
Şekil 3.11. HCS komponentinin kesit görünümü ve temel bileşenleri.	20
Şekil 3.12. HCS komponenti kullanılan bir amortisörün F-s grafiği.....	20
Şekil 4.1. Su soğutmalı test düzeneği.	21
Şekil 4.2. a) Piston çubuğu yatağı b) Rezerve boru termokupl yerleşimi.....	22
Şekil 4.3. Matematik modeli için sistem tasarımı.....	23
Şekil 4.4. Isıl direnç diyagramı.	24
Şekil 4.5. HRS’li bir amortisörün şematik ölçü gösterimi.....	27
Şekil 4.6. 36/18 Simcenter Amasim amortisör modeli.	30
Şekil 4.7. Matriks 1 Simcenter Amasim zamana göre kuvvet dağılım grafiği.	30
Şekil 4.8. Matriks 5 Simcenter Amasim zamana göre kuvvet dağılım grafiği.	31
Şekil 4.9. Matriks 1 Simcenter Amasim ile hesaplanan enerji miktarı.....	31
Şekil 4.10. Matriks 1 Simcenter Amasim ve deneysel çalışmada kuvvet karşılaştırması.	32
Şekil 4.11. Referans aralığının gösterilmesi.	32
Şekil 4.12. Matriks 3 için T4, T10 ve T12 sıcaklıkları.	33
Şekil 4.13. Matriks 7 için T4, T10 ve T12 sıcaklıkları.	34
Şekil 4.14. Matriks 9 için T4, T10 ve T12 sıcaklıkları.	35
Şekil 4.15. Matriks 3’in matematiksel sıcaklık hesabı (T4 için).	37
Şekil 4.16. Matriks 3’in matematiksel sıcaklık hesabı (T12 için).	37
Şekil 4.17. Matriks 7’in matematiksel sıcaklık hesabı (T4 için).	38
Şekil 4.18. Matriks 7’in matematiksel sıcaklık hesabı (T12 için).	38
Şekil 4.19. Matriks 9’un matematiksel sıcaklık hesabı (T4 için).	39
Şekil 4.20. Matriks 9’un matematiksel sıcaklık hesabı (T12 için).	39
Şekil 4.21. Simcenter Amasim ve deneysel sonuçlarda T4 sıcaklığının karşılaştırması	40
Şekil 4.22. Simcenter Amasim ve deneysel sonuçlarda T12 sıcaklığının karşılaştırması	40
Şekil 4.23. Matriks 3 T4 için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.	41

Şekil 4.24. Matriks 3 T12 için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.	41
Şekil 4.25. Matriks 7 T4 için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.	42
Şekil 4.26. Matriks 7 T12 için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.	42
Şekil 4.27. Matriks 9 T4 için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.	43
Şekil 4.28. Matriks 9 T12 için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.	43



FARKLI AMORTİSÖR KUVVETLERİ İÇİN AMORTİSÖR İÇ VE DIŞ SICAKLIKLARININ TERMAL MATEMATİKSEL MODELİNİN TASARIMI VE 1D TERMAL ANALİZ İNCELEMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, farklı sönümleme kuvvetleri altında çalışan ve HRS (Hydraulic Rebound Stop) sistemi içeren bir amortisörde, amortisörün iç kısmındaki hidrolik yağ ile dış tüp üzerindeki sıcaklık dağılımının zamana bağlı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda hem deneysel çalışmalar hem de termal matematiksel modelleme yaklaşımları birlikte ele alınmıştır. Ayrıca geliştirilen matematiksel modelin doğrulanması amacıyla SimCenter Amesim yazılımı kullanılarak 1D termal analizler gerçekleştirilmiştir.

Amortisörler, özellikle ömür testleri sırasında uzun süreli ve sürekli çalışmaya maruz kalmaktadır. Bu durum, amortisör içerisinde enerji kayıplarından kaynaklı olarak hidrolik yağ sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Hidrolik yağ sıcaklığındaki bu artış, amortisörün en kritik bileşenlerinden biri olan keçe üzerinde doğrudan etki göstermektedir. Keçenin sıcaklığa bağlı olarak sahip olduğu teknik sınır değerlerin aşılması durumunda, malzeme özelliklerinde bozulma meydana gelmekte, deformasyon oluşmakta ve sonuç olarak yağ kaçağı riski ortaya çıkmaktadır. Bu tür arızalar hem testlerin süresini uzatmakta hem de test maliyetlerinin artmasına yol açmaktadır.

Bu olumsuz etkilerin önlenmesi amacıyla, ömür testleri sırasında amortisör dış yüzeyine bir su ceketini monte edilerek aktif bir soğutma sistemi uygulanmaktadır. Amortisörün dış tüpüne yerleştirilen sıcaklık sensörleri yardımıyla belirlenen üst ve alt sıcaklık limitleri doğrultusunda test süreci kontrol edilmektedir. Standart amortisörlerde bu sıcaklık sınırları belirli prosedürlere göre tanımlanmışken, HRS sistemi içeren amortisörlerde bu değerler çoğunlukla deneme-yanılma yöntemi ile belirlenmektedir. Bu yaklaşım, test sürelerinin uzamasına ve test maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, HRS sistemi içeren bir amortisörde hidrolik yağ sıcaklığı ile dış tüp sıcaklığı arasındaki ilişkiyi zamana bağlı olarak tanımlayabilen bir termal model geliştirmektir. Bu doğrultuda, öncelikle amortisörün termal davranışını tanımlayan temel fiziksel prensipler ele alınmış ve ilgili ısıl direnç denklemleri oluşturulmuştur. Ardından, sistemin termal analizinde açık sayısal çözüm yöntemi kullanılarak sıcaklık dağılımları hesaplanmıştır. Modelleme sürecinde piston çubuğu, hidrolik yağ, kılıf, silindir tüpü, rezerve ve dış boru gibi temel bileşenler ayrı ayrı ele alınmıştır.

Elde edilen sonuçlar, amortisörün farklı darbe kuvvetlerine maruz kalması durumunda iç ve dış sıcaklıklarda belirgin değişimler meydana geldiğini göstermektedir. Özellikle HRS sisteminin bir alt komponenti olan kontrol halkasının yapısı ve valf sisteminin yapısı, hidrolik yağ sıcaklığındaki artışa neden olduğu ve yağın termal özelliklerinin de hidrolik yağ sıcaklığında etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, amortisör

tasarımında termal yönetimin önemini ortaya koymakta ve gelecekte yapılacak tasarım iyileştirmeleri ile test optimizasyonu çalışmaları için önemli bir altyapı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Amortisör, Termal Matematiksel Model, 1D Analiz, Isı Transferi, Sayısal Analiz



DESIGN OF THERMAL MATHEMATICAL MODEL AND 1D THERMAL ANALYSIS STUDY OF SHOCK ABSORBER INTERNAL AND EXTERNAL TEMPERATURES FOR DIFFERENT SHOCK ABSORBER FORCES

SUMMARY

In this thesis study, the thermal behavior of a shock absorber equipped with a Hydraulic Rebound Stop (HRS) system and operating under different damping forces is investigated. The primary focus of the study is to analyze the time-dependent temperature distribution of the hydraulic oil inside the shock absorber and the temperature of the outer tube. For this purpose, a comprehensive approach combining experimental investigations, thermal mathematical modeling, and one-dimensional (1D) numerical simulations has been adopted. The developed thermal model is validated through 1D simulations conducted using SimCenter Amesim software.

Shock absorbers are critical suspension components that are subjected to continuous and long-term operation, particularly during durability and lifetime tests. During such tests, mechanical energy dissipated through damping forces is converted into thermal energy, leading to a significant increase in the temperature of the hydraulic oil. The rise in oil temperature directly affects the overall thermal behavior of the shock absorber and has a substantial impact on its performance, durability, and reliability. One of the most temperature-sensitive components in a shock absorber is the seal, which plays a vital role in preventing oil leakage and maintaining internal pressure.

When the hydraulic oil temperature exceeds the allowable thermal limits of the seal material, degradation of material properties occurs. This degradation may result in seal deformation, loss of sealing performance, and eventually oil leakage. Such failures not only invalidate durability tests but also increase test duration, cost, and development time. Therefore, effective thermal management is a critical requirement during shock absorber lifetime testing.

To prevent excessive temperature rise, an active cooling system is commonly employed during durability tests. In this system, a water jacket is mounted around the outer surface of the shock absorber. Temperature sensors placed on the outer tube continuously monitor the surface temperature, and the cooling system is activated or deactivated based on predefined upper and lower temperature limits. When the measured temperature exceeds the upper limit, cooling water flows through the jacket to reduce the external and internal temperatures. Once the temperature approaches the lower limit, the cooling system is stopped, and the test continues under normal operating conditions.

For standard shock absorbers, these upper and lower temperature limits are generally well-defined based on established testing procedures and prior experience. However, in shock absorbers incorporating an HRS system, the determination of these temperature limits is not straightforward. The HRS system introduces additional flow restrictions, control elements, and valve mechanisms that significantly influence heat generation within the damper. As a result, temperature limits for HRS-equipped shock

absorbers are often determined using a trial-and-error approach, which leads to extended test durations and increased testing costs.

The main objective of this thesis is to develop a time-dependent thermal model that accurately describes the relationship between the hydraulic oil temperature and the outer tube temperature in a shock absorber equipped with an HRS system. By establishing this relationship, it becomes possible to predict internal oil temperature based on externally measured surface temperature, thereby enabling more efficient and reliable control of the cooling system during durability tests.

To achieve this objective, the fundamental physical principles governing heat transfer within the shock absorber are first examined. The dominant heat transfer mechanisms, including conduction, convection, and thermal energy generation due to damping forces, are identified and modeled. Based on these principles, a thermal resistance network is established, and the corresponding heat balance equations are formulated for each component of the system.

The shock absorber is modeled as a cylindrical structure composed of multiple concentric components. These components include the piston rod, hydraulic oil, sleeve, cylinder tube, reservoir, and outer tube. Each component is treated as a separate thermal node, and heat transfer interactions between adjacent components are described using equivalent thermal resistances. The influence of material properties, geometric dimensions, and convective heat transfer coefficients is incorporated into the model.

An explicit numerical solution method is employed to solve the governing differential equations and calculate the transient temperature distribution within the shock absorber. This approach allows the temperature evolution of each component to be tracked over time under varying operating conditions. The numerical model is implemented and validated through 1D thermal simulations performed using SimCenter Amesim, which provides a reliable platform for system-level thermal analysis.

The simulation results demonstrate that the shock absorber exhibits significant temperature variations when subjected to different impact and damping force levels. In particular, the hydraulic oil temperature shows a strong dependency on the damping force magnitude, operating frequency, and internal flow characteristics introduced by the HRS system. It is observed that the control ring geometry and valve system configuration, which are key subcomponents of the HRS system, play a crucial role in heat generation and temperature rise within the hydraulic oil.

Furthermore, the thermal properties of the hydraulic oil, such as specific heat capacity and viscosity variation with temperature, are found to have a notable influence on the overall thermal response of the system. These effects highlight the importance of considering both mechanical and thermal characteristics in the design and analysis of HRS-equipped shock absorbers.

The findings of this study emphasize the critical role of thermal management in shock absorber design and testing. The developed thermal model provides a valuable tool for predicting internal oil temperature based on measurable external parameters, thereby reducing reliance on trial-and-error methods. This approach has the potential to significantly shorten test durations, lower testing costs, and improve the reliability of durability tests for shock absorbers with advanced damping systems.

In conclusion, this thesis contributes to the understanding of the thermal behavior of shock absorbers with HRS systems and offers a systematic methodology for thermal modeling and analysis. The results obtained serve as a solid foundation for future design improvements, optimization of cooling strategies, and development of more efficient and robust shock absorber testing procedures.

Keywords: Shock Absorber, Thermal Mathematical Model, 1D Analysis, Heat Transfer, Numerical Analysis





1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı

Otomotiv sektöründe kullanılan iki borulu amortisörlerde ömür testlerinde amortisörün dış tüpünden sensör ile sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Ömür testlerinde amortisör test hızına ve test çevrimine göre sürekli çalışmadan dolayı iç yağ sıcaklığı ısınmaktadır. İç sıcaklığın fazla ısınmasından dolayı amortisör iç yapısında kullanılan sızdırmazlık parçaların ve/veya plastik komponentlerde deformasyon oluşmakta ve testler olumsuz sonuç alınmaktadır. Amortisör normal kullanımda sürekli çalışma olmadığı için OEM firmalarının belirlediği ömür test koşullarının yapılmasında test sisteminde amortisör dış yüzeyine bir su ceketı kullanılır. Amortisör ömür testinde iç sıcaklığın yükselmesi ile oluşacak olumsuz durumları engellemek için dış tüpten bir sensör ile sıcaklık ölçümü yapılır. Dış tüp sıcaklığı 80°C'nin üzerine çıkması durumunda ömür testi durmakta ve su soğutma sistemi devreye girerek amortisörün dış yüzeyi soğutularak iç sıcaklık düşürülmektedir. Bu sayede iç komponentlerde testten dolayı oluşacak deformasyon engellenmektedir. Amortisör dış sıcaklığı 50°C'ye ulaşınca, su soğutma sistemi durmakta ve test devam etmektedir. İki borulu amortisörlerde geri tepme yönünde ek bir kuvvet istenmesi durumunda sistemde ekstra eklentiler kullanılarak ek bir sönümlleme kuvveti elde edilir. Bu eklentilerin kullanılması iç sıcaklığın daha fazla ısınmasını sağlamaktadır. Dış sıcaklık ile iç sıcaklık arasındaki ilişkinin farklı amortisör kuvvetlerinde nasıl etkileşim içinde olduğu bilinmediğinden dolayı test için dış sıcaklıkta su soğutma sisteminin devreye gireceği sıcaklık değeri tahmin edilememektedir. Tez çalışmasında geri tepme yönünde farklı sönümlleme kuvvetleri için iç sıcaklık ile dış sıcaklık arasındaki etkileşimin anlaşılması ve ömür testleri için ayar sıcaklığı değerinin tez kapsamında yapılacak bir yazılım programı ile tespit edilmesi amacı ile yapılmıştır. Ayrıca iç ve dış sıcaklık etkileşiminin 1D termal analiz yapılarak, matematik modelinin ve test modelinin doğrulanması sağlandı.

1.2. Literatür Araştırması

Otomotiv ve ağır vasıta sektörlerinde, amortisörler sadece araç sürüş dinamiklerini iyileştirmede değil aynı zamanda yol tutuşunu ve sürüş konforunu artırmada da kritik bir rol oynar. Bu bileşenler, çalışma sırasında karşılaştıkları dinamik yükler ve termal koşullar nedeniyle karmaşık davranışlar sergiler. Sonuç olarak, amortisörlerin termal ve dinamik performansını anlamak ve optimize etmek, mühendislik topluluğu içinde sürekli bir araştırma alanı olmuştur.

İki tüplü amortisörler için termal modellerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar, bu cihazların sıcaklıkla ilgili dinamik değişikliklere nasıl tepki verdiğine dair anlayışımıza önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Bu tür modeller, çeşitli çalışma koşulları altında amortisör performansının tahmin edilmesine olanak sağlamıştır ve deneysel verilerle doğrulanmıştır (Andrighetto, 2019). Ek olarak, ağır vasıtalarda kullanılan amortisörler için termal hazırlığın modellenmesi, bu bileşenlerin sıcaklık dalgalanmalarına nasıl tepki verdiğine dair kritik içgörüler sağlamıştır (Chernukkin, 2023).

Ayrıca, valf kontrollü ayarlanabilir sönümleme sistemlerinin sıcaklık artış özellikleri, sistem performansını doğrudan etkileyen önemli parametrelerdir. Sıcaklığa göre değişen bu tür sistemlerin performansı, mühendisler tarafından daha hassas ayarlamalar yapılmasını gerektirir (Fangwei ve ark, 2020). Hidrolik amortisörlerin sönümleme özellikleri üzerine yapılan araştırmalar, bu bileşenlerin sıcaklık ve basınç gibi çevresel faktörlere nasıl tepki verdiğini ayrıntılı bir şekilde inceleyerek önemli bulgular ortaya koymuştur (Guo ve ark, 2013). Özellikle, çift borulu hidrolik amortisörlerin termodinamik özelliklerinin modellenmesi ve simülasyonu, bu sistemlerin performansını etkileyen faktörlerin daha derin bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır (Hryciów ve ark, 2021).

Önceki çalışmalardan elde edilen bir diğer önemli bulgu, hidrolik amortisörlerin sıcaklık değişimlerine karşı yüksek hassasiyetidir ve bu, sistem performansını optimize ederken sıcaklık etkilerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Ramos ve ark, 2005). Bu bağlamda, amortisörlerin matematiksel modellenmesi hem termal hem de dinamik faktörlerin birlikte ele alındığı daha karmaşık bir analiz süreci gerektirir (Yuewei ve ark, 2020). Özellikle, büyük akışlı darbe silindirleri için hidrolik amortisörlerin termal-hidrolik modellenmesi, bu tür sistemlerin aşırı koşullar altında nasıl performans gösterdiğine dair anlayışımıza katkıda bulunmuştur (Zhifei ve ark,

2021). Tüm bu çalışmalar, amortisörlerin karmaşık ve çok yönlü doğasını aydınlatmaya yardımcı olarak gelecekteki araştırmalar için sağlam bir temel sağlamaktadır.

Bu çalışmada, mevcut literatüre dayanarak, çift borulu bir hidrolik amortisörün termal davranışı ayrıntılı olarak açıklanacaktır; Ayrıca, dış boru ve basınç borusu içindeki yağın sıcaklık değişimleri incelenerek, farklı ayarlar için dış boru ve basınç borusu arasındaki sıcaklık değişiminin benzetimini yapmak üzere bir termal matematiksel model önerilecektir.





2. AMORTİSÖR NEDİR

Amortisör (Fransızcadan: amortisseur), makinalarda çalışma sırasında meydana gelen sarsıntı ve titreşimlerin şiddetini ve etkisini azaltmak için kullanılan bir elemandır. Amortisörler hareket yönüne ters, hız ile orantılı bir direnç gösterirler. Böylece sarsıntı ve titreşim doğuran enerjiyi, ısıya çevirerek yutarlar. Her türlü darbeli çalışan makinalarda (tekstil makinaları, iş makinaları, kaldırma makinaları, otomobiller, ...) kullanılmalarına rağmen, en aygın kullanım alanı araçlardır. (Url-1, 2025).

2.1. Araç Süspansiyon Sistemleri ve Yaylar

Yayların araç süspansiyon sistemlerinde kullanılmaları geçen yüzyıla kadar dayanır. İlk kullanılan yaylar kalın çelik yaylardır. Bunların yoldan gelen darbeleri bir ölçüde yutmaları, daha hızlı ve rahat yolculuk yapma imkanını ortaya çıkarmıştı. Daha sonraları halk arasında makas olarak bilinen yaprak yayların büyükten küçüğe doğru yerleştirilmesi ile meydana gelen yaylar, geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu yayların ön ve arka dingil ile şasi arasında kullanılmasıyla araç gövdesi dolaylı olarak dingillere oturtulmuş olur. Böylece yoldan gelen sarsıntılar kadar, aracın kalkma ve fren sırasındaki sarsılmaları da yumuşatılmış oluyordu. İlk defa 1928'de otomobil imalatındaki bir uygulamayla süspansiyon sistemi her bir tekerleğe bağımsız olarak uygulanmış, yani dingil kullanılmasından vaz geçilerek her tekerlek ayrı olarak yataklanmıştır. Böylece bir tekerlek tarafından alınan darbe diğerine iletilmediğinden seyahat rahatlığı artırılmıştır.

Bugün helezon yaylar, burulma çubukları, yaprak yaylar gibi kullanılan birçok yay tipi vardır. Genellikle ön tekerlekler için helezon yaylar kullanılırken, arka dingil yaprak yaylardan yapılan makaslar üzerine oturtulur.

Yaylar enerji depolama kabiliyetleri yüksek olan elastik elemanlardır. Bu özellikleri, dolayısıyla yol sathından alınan darbeleri, boyut değiştirerek ve enerji depolayarak şasiye iletmeden alırlar. Fakat yalnız başlarına kullanıldıklarında ilk anda depoladıkları enerjiyi sonra geri verirler ve bir salınım hareketine sebep olurlar. Bu salınımın sadece bir kısmı yayın rijitliği, yani iç moleküller sürtünmesi dolayısıyla

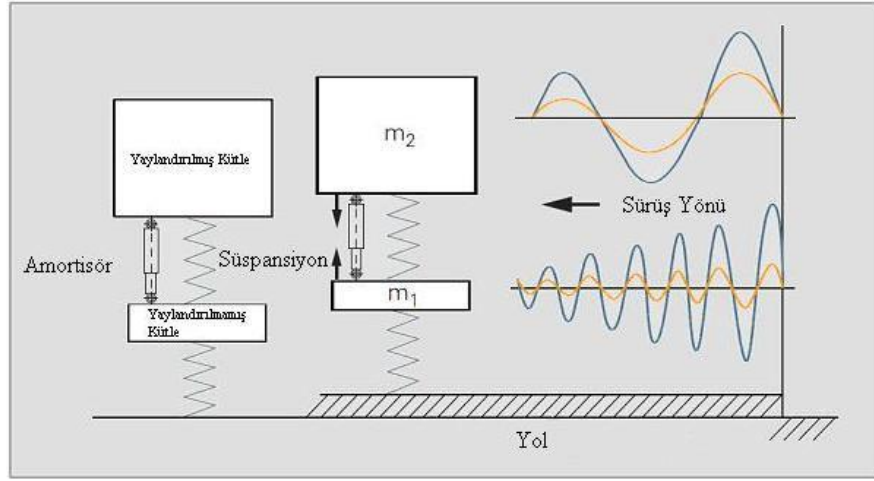
ısıya çevrilerek yutulur ve salınımın durması zaman alır. Eğer bu salınımların devam etmesine müsaade edilirse araçta da sallanmalar görülür.

Bilhassa, İkinci Dünya Savaşı sırasında metalurji sahasındaki son ilerlemeler yayların enerji depolama kabiliyetlerini, yani elastikiyetlerini arttırmış ve araç süspansiyon sistemlerinde yaylar yanında enerji yutma kabiliyetleri yüksek amortisörlerin kullanılması bir ihtiyaç halini almıştır. Bugün amortisörler, araç süspansiyon sistemlerinde geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışma, amortisörlerin ısı yönetimi açısından daha verimli tasarlanmasına katkı sağlamayı ve aşırı sıcaklık değişimlerinin olası olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik bilimsel bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

2.2. Amortisörün Rolü

Amortisörler, araç süspansiyon sistemlerinde yaylarla birlikte kullanılarak yoldan tekerleklerle gelen sarsıntı ve titreşimlerin araba şasisine iletilmeden emilmesini veya en aza indirilmesini sağlarlar. Burada amortisörlerin rolü yaylardan daha değişik bir karakter gösterir.

Bu sistemlerde yay tarafından depolanan enerji, salınımlar halinde şasiye iletilmeden amortisörler tarafından emilir. İşte bu prensibe dayanarak yolun düzensizliklerinden dolayı meydana gelen darbe ve salınımları, yaylar, araç gövdesine iletmeyerek depolarlar. Amortisörler ise hareket yönüne ters doğrultuda gösterdikleri direnç ile gerek ilk anda tekerlekten gelen enerjiyi ve gerekse yayda depolanan enerjiyi yutarak ısıya çevirirler. Böylece sarsıntıları azaltırlar. Amortisörler, sadece aracın konforu için gerekli elemanlar değildir. Aynı zamanda tekerleklerin yolu iyi kavramaları gibi önemli bir fonksiyonu da yerine getirirler. İyi bir amortisör virajda savrulmayı önler. Tekerleklerin yere iyi basmalarını ve zıplamamalarını sağlayarak hem çekişi artırır hem de fren yapıldığında duruş mesafesini kısaltır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi zemin ve araç gövdesi arasındaki amortisörün zeminden gelen titreşimleri sönümleme fonksiyonu şematize edilmiştir (Url-2, 2025).



Şekil 2.1. Amortisörün sönümleme etkisi.



3. BİNEK ARAÇLARDA AMORTİSÖR TASARIMI

3.1. Tek Borulu (Monotube) Amortisörler

3.1.1. Çalışma prensibi

Tek borulu amortisör, gaz basınçlı amortisör olarak da adlandırılır. Bu amortisör basma ve çekme basamağında iki borulu amortisör gibi çalışır. Pistonun çubuk hacminin denkleştirilmesi için özel bir odaya ihtiyaç olmadığından, tek borulu amortisör iki borulu amortisöre nazaran daha iyi bir soğuma imkanına sahiptir. Hacim dengelemesi sıvı ve gaz fazı bir piston ile ayrılmış bir gaz yastığı ile gerçekleşir. Pistonun aşağıya doğru hareketinde sıkışan sıvı ayırıcı pistonu iterek basıncı dengeler, tersi durumda genleşir. Bu sayede, çalışma sırasında hidroliğin köpürmesi sonucu sönümleme değerinin azalması da engellenir. Hidrolik piston hem açma doğrultusunda hem de kapama doğrultusunda çalışırken etki sahibidir (Demirsoy, 1997).

3.1.2. Avantajları

- Yağ ve gazın ayrı bölümlerde tutulması, amortisörün çok daha hızlı tepki vermesini sağlar.
- Viraj dönüşlerinde ve yüksek hızda daha iyi yol tutuşu sağlar.
- Tek tüp tasarımı sayesinde yağ ve gaz daha geniş bir alana yayılır. Isının dışarı atılması daha kolay olur. Bu sebeple yüksek sıcaklıklarda daha etkin çalışır.
- Yağ ve gazın ayrı bölmelerde olmasından kaynaklı yağda hava kabarcığı (kavitasyon) olmaz.
- Gürültü indirgenmiştir.
- Daha iyi bir yol tutuşu sağlar.
- Paketleme için belirli bir açı gereksiniminin olmaması

3.1.3. Dezavantajları

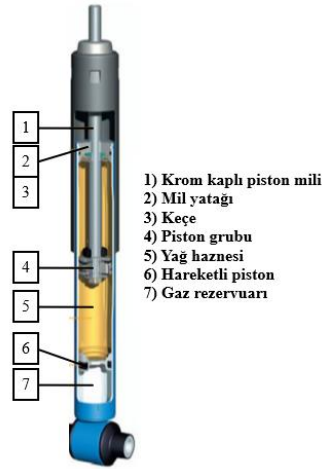
- Benzer kuvvet taleplerinde çift borulu amortisöre göre daha uzun ölçüler gerekmesinden dolayı paketleme alanında zorluk mevcuttur.

- Dış etkenlerden gelen darbeye karşı daha savunmasızdır. Gövdeye alınan bir darbeden amortisör çalışamaz hale gelebilir.
- Daha agresif tepkiler verdiği için sürüş konforu düşüktür.
- Daha karmaşık bir tasarıma sahip olmasından dolayı çift tüplü amortisöre göre daha pahalıdır.

3.1.3. Ebatları

Sönümleme kuvveti gereksinimlerine göre, amortisör ebatları başlangıç seçimi Tablo 3.1’de belirtildiği gibi yapılabilir. Direnç değerinin yüksek olması, amortisör çalışma basıncının da yüksek olmasını gerektirir. Yüksek çalışma basıncı ise amortisör malzeme dayanımı ile doğrudan ilintili bir kavramdır.

Dolayısıyla seçilen rezerve borusu, basınç borusu, piston mili ve piston gibi amortisöre ait ana bileşenler, amortisör direnç karakteristiğine göre önceden biçimlendirilmelidir. Şekil 3.1, tek borulu bir amortisörün kesit görüntüsünü ve ana bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 3.1. Tek borulu bir amortisörün kesiti ve ana bileşenleri (Cotur, 2010).

3.1.4. Uygulaması

Standard tek borulu amortisörler çoğunlukla binek araçlarda, hafif ticari araçlarda aks sönümleyici olarak veya yük kamyonları ve diğer ağır araçlarda kabin amortisörü olarak tasarlanmaktadır. Tek borulu amortisörler ayrıca iki tekerlekli araçlarda da kullanılmaktadır. Tablo 3.1’de tek borulu amortisörlere ait piston valfi çapı ve piston çubuğu seçimi için standart ve opsiyonel çap değerleri mevcuttur.

Tablo 3.1. Tek borulu amortisör boyutları (Cotur, 2010).

Piston Valfi Ø (mm)	Piston Çubuğu Ø (mm)		
	11	13	15
30	S	-	-
36	S	O	-
45	S	O	O
S: Standard O: Opsiyonel			

3.1.5. Açma kuvveti

Amortisör içerisindeki gaz basıncı sıcaklığa da bağlı olarak piston çubuğu üzerinde bir açma kuvveti oluşturur. Bu açma kuvvetinin büyüklüğü piston hareketinin tam orta noktasında ölçülür. Tüm amortisör ebatları için, piston çubuğu gaz açma kuvveti hedef değeri $250 \text{ N} \pm 30 \text{ N}$ dur.

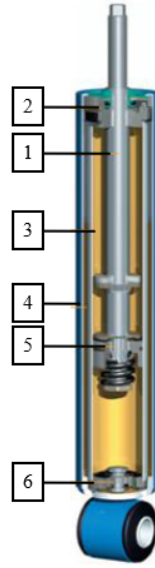
Tek borulu amortisörlerde, kapama durumunda oluşan sönümleme kuvveti yüzer piston (hareketli piston) parçası ile sağlanır. Oluşturulabilecek maksimum değer kapama kuvveti sönümlemesi ile piston mili gaz açma kuvveti arasında doğrudan bir bağlantı olduğu demektir. Tasarım çalışması tüm operasyonel durumlar için, arzu edilen kapama sönümleme kuvvetinin elde edilmesini kesinleştirmelidir.

3.2. Çift Borulu (Twintube) Amortisörler

3.2.1. Çalışma prensibi

Titreşimleri sönümlemek için titreşim hareketini frenleyecek şekilde ters yönde tesir eden bir kuvvet gereklidir. Bu söndürme kuvveti, yağın dar olan geçitlerdeki akım dirençlerinden oluşmaktadır. Bu esnada, titreşim enerjisinin bir kısmı ısıya dönüştüğünden amortisör ısınmaktadır. Karoseri ile tekerlek arasına yerleştirilmiş olan söndürücü çeki ve bası durumunda da tesirlidir. Hareket ne kadar hızlı ise söndürme kuvveti de o kadar büyüktür. Söndürmeyi valfler ayarlamaktadır. Şekil 3.2’de iki borulu amortisör, şematik olarak gösterilmiştir. Bu amortisör tipinde yağ ile doldurulmuş iki oda bulunmaktadır. Valfler, piston üzerinde ve silindir dibinde bulunan valf gövdesindeki çok sayıda yay pullarından meydana gelerek beraberce tesir etmektedirler. Zayıf bir helis yay valf gövdesini yaylı pullarla valf yuvasına basmaktadır. Valf parçaları bir valf sepeti içinde tutulmaktadır.

- 1) Krom kaplı piston mili
- 2) Keçe-yatak ünitesi
- 3) Basınç borusu
- 4) Rezerve borusu
- 5) Piston grubu
- 6) Alt sübap grubu



Şekil 3.2. İki borulu amortisör kesiti ve ana bileşenleri (Cotur, 2010).

Sızdırmazlık halkaları, yağın kaçmasına mâni oldukları gibi, tozun girmesini de engellerler. Amortisör iki lastik mafsal ile araca tespit edilir. Dış koruyucu borunun görevi, hassas olarak işlenmiş olan piston milini taş çarpmaları veya kirli su gibi etmenlerden korumaktır. Titreşimleri sönmölemek için, titreşim hareketini frenleyecek şekilde tesir olacak olan bir kuvvete gereksinim vardır. Bu söndürme kuvveti, yağın valfin dar kanallarındaki akım dirençlerinden meydana gelmektedir.

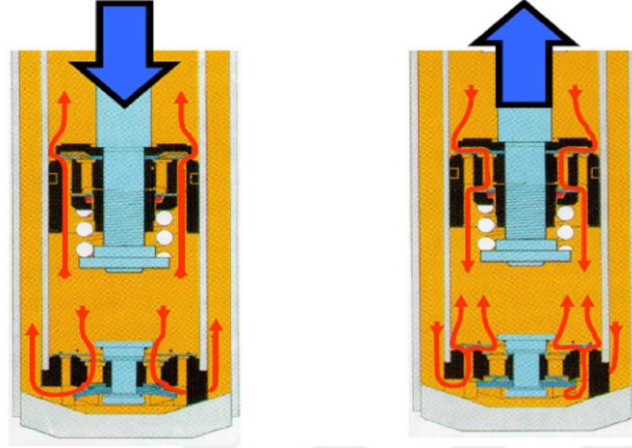
Titreşim enerjisinin bir kısmı ısı enerjisine dönüştüğü için, iyi çalışan bir amortisör işletme esnasında ısınır. Aracın gövdesi ile aksı arasına yerleştirilmiş olan amortisör çeki ve bası yönünde tesirlidir. Valfler ayrıca amortisörün açılması veya basılması esnasında hızın tesiri altında kalırlar. Artan hız ile sönmöleme kuvveti de artmaktadır. Sönmöleme kuvvetinin karakteristiği, aks konstrüksiyonu ile yayın yapım şekline uydurulmakta ve doğrusal ya da azalan bir karakteristik arz etmektedir (Demirsoy, 1997).

3.2.2. Basma ve çekme basamakları

Amortisör aracın titreşimi veya yol yüzeyinden kaynaklı etkilerden dolayı basılır. Taban valfinin karakteristiği sönmöleme kuvvetini belirler. Piston çubuğunun hareketiyle sıkıştırılan yağ rezerve odasına akarken, taban valfi bu yağ akımına karşı bir direnç göstererek hareketi söndürür. Bu durumda piston valfi açıktır.

Amortisörün aracın titreşimi veya yol yüzeyinden kaynaklı etkilerden dolayı açılır. Piston valfi oluşan kuvveti sönmöleme işlemini yerine getirir. Piston valfi, valf

üzerindeki kısımdan aşağı doğru akmak isteyen yağa karşı bir direnç göstermektedir. Pistonun yukarı yönlü hareketi frenlenir. Sönümlleme kuvvetinin değeri piston valfin karakteristikliğine göre değişmektedir.



Şekil 3.3. Çift borulu bir amortisörde basma ve çekme basamakları.

Gerekli olan yağ açık olan taban valfinden hiçbir engel olmaksızın rezerve alanından emilir. Şekil 3.3'te iki borulu amortisörün açma ve kapama durumundaki yağın akış geçişlerini göstermektedir. (Baalmann and Lichtlein, 2002)

3.2.3. Avantajları

- Düşük sürtünme
- İyi sürüş konforu
- Sönümlleme karakteristiğinde varyasyon çeşitliliğini sağlayan piston valfi ve taban valfi grubu
- Tek borulu amortisör ile benzer kuvvetleri elde edilmesi için gerekli amortisör ölçülerinin kısa olmasından dolayı araç içi paketlemesi daha iyidir.
- Dış tüp sayesinde dış etkenlerden gelecek darbelere karşı dayanıklıdır.

3.2.4. Dezavantajları

- Yoğun kullanımda veya sürekli darbeye maruz kalındığında hidrolik yağda hava kabarcıkları (kavitasyon) oluşturabilir.
- Araç içi uygulamalarda 45° den yüksek olması istenir. Aksi takdirde kavitasyon riski oluşturmaktadır.
- Çift boru yapısından kaynaklı gaz ile yağ arasındaki temas sınırlıdır, bu da ısı dağılımını zorlaştırarak ve ısının dışarı atılması zordur.
- Yüksek yağ sıcaklıklarında verim kaybı yaşanmaktadır.

- Amortisör tepki süresi tek borulu amortisöre göre daha yavaştır.

3.2.5. Ebatları

Sönümlleme kuvveti gereksinimine bağlı olarak, amortisör ebadı seçimi başlangıç olarak aşağıda verilen Tablo 3.2'ye göre seçilmektedir. Aşağıdaki Tablo 3.2'de iki borulu amortisörlerde piston çubuğu ve piston valfine bağlı olarak kullanılması gereken standart ve opsiyonlar listelenmiştir.

Tablo 3.2. Çift borulu amortisör boyutları (Cotur, 2010).

Piston Valfi Ø (mm)	Piston Çubuğu Ø (mm)			
	11	13	15	18
27	S	O	-	-
30	O	S	-	-
32	-	O	S	-
36	-	-	-	S

3.2.6. Uygulamaları

Standart iki borulu amortisörler binek otomobiller, hafif ticari araçlar ya da ağır ticari araçların çekici kısımları için tasarlanırlar. Müsaade edilen sıcaklık aralığı, sızdırmazlık sağlayan bileşenler düşünülerek hesaplanmaktadır. İkili borulu amortisörler düşey konumda yerleştirilmeli veya en fazla 45° eğim olacak şekilde yerleştirilmelidir. Taban valfinden hava girişini engellemek için, rezerve borusu içiresine yeterli miktarda gaz bulunması gerekmektedir.

3.2.7. Piston çubuğu üzerindeki açma kuvveti

Standart iki borulu amortisörlerde gaz basıncı 6 ile 8 bar aralığına sahiptir. Kullanılan piston valfi ve taban valfinin karakteristiğine göre değişken olmaya imkân veren amortisör karakteristik eğrisi ve azaltılmış akış gürültüsü iki borlu amortisörlerin avantajlarındandır. Amortisör içerisindeki gaz basıncı, sıcaklığa bağlı bir açma kuvveti oluşturur. Piston çubuğu üzerindeki açma kuvveti değeri ise piston hareketinin ortasından ölçülür. İki borulu amortisörler için gaz açma kuvvetinin standart değerleri Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

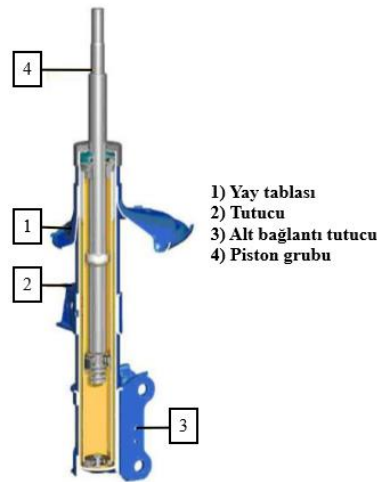
Tablo 3.3. Piston çubuğu değerine göre gaz açma kuvvetleri (Cotur, 2010).

Piston Çubuğu Ø [mm]	Açma Kuvveti [N]
11	70
13	100
15	130
18	200
20	250
22	250
25	250

3.3. Yaylı Ayaklar

3.3.1. Tasarım

Sürtünmeyi azaltabilmek ve dolaylı olarak daha iyi bir sürüş konforu elde edebilmek için, araç kinematiği, yanal yükleri minimize etmek üzere tasarlanmalıdır. Bu, şu biçimlerde sağlanabilir. (i) Amortisör ekseninden uzağa yerleştirilmiş olan yay tablası vesilesiyle, düşey tekerlek ağırlığının oluşturduğu aşırı moment etkisini ortadan kaldırmak için, yay kuvvet merkezi eksenini dengelemek. (ii) Sıkıştırıldığında, karşıt bir moment etkisi oluşturacak nitelikte olan S ya da L şekilli yay kullanmak (Causemann, 2001). Şekil 3.4'te yaylı ayak bir amortisörün kesit görünümü ve ana bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Yaylı amortisör kesit görünümü ve ana bileşenleri (Cotur, 2010).

3.3.2. Ebatları

Sönümlleme kuvveti gereksinimine bağı olarak amortisör seçimi Tablo 3.4'te bilgi tablosuna ek olarak iki borulu amortisörün malzeme mukavemeti de ayrı bir seçim kriteridir. Bazı standart ve opsiyon değerleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

3.3.3. Uygulama

İki borulu yaylı tip amortisörler binek araçlarında ve hafif ticari araçlarda kullanılmaktadır. Genel olarak binek araçlarında ön kısımlarda iki borulu yaylı tip amortisör kullanılmaktadır. Bunun nedeni iki borulu amortisöre göre ekstra dış kısmında bulunan yay elemanından kaynaklı sönümlleme kuvveti daha fazladır. Binek araçlarında motor aksamı ön kısımda bulunduğundan dolayı aracın ön kısmı arka kısma göre daha fazla kuvvet oluşmaktadır. Bundan dolayı ön kısımlarda genellikle yaylı tip amortisörler tercih edilmektedir. İki borulu yaylı tip amortisörler için piston valfi çapına ve piston çubuğu çapına göre standart ve opsiyon değerleri Tablo 3.4'e verilmiştir.

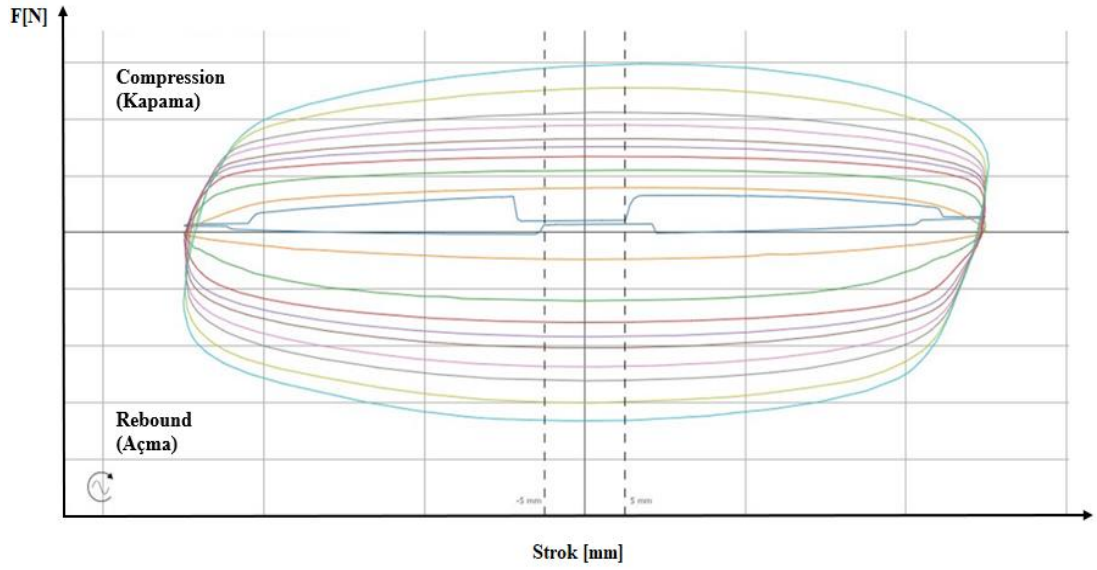
Tablo 3.4. Çift borulu yaylı tip amortisör boyutları (Cotur, 2010).

Piston Valfi Ø [mm]	Piston Çubuğu Ø [mm]			
	18	20	22	25
27	S	O	-	-
30	O	S	-	-
32	-	-	S	O
36	-	-	O	S

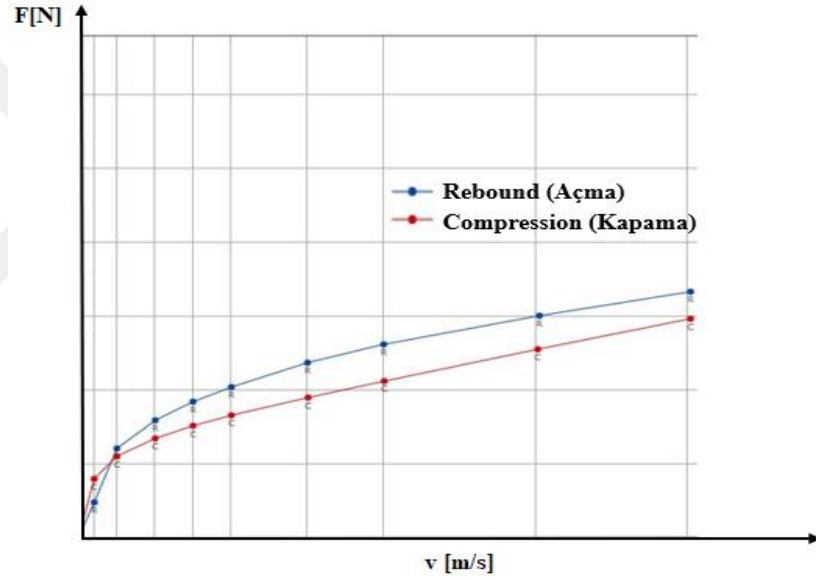
3.4. Amortisörde Kullanılan Eklentiler

3.4.1. RSS komponenti

Standart iki borulu amortisörlerde açma ve kapama durumlarında oluşan amortisör karakteristiği için F-s grafiği Şekil 3.5'te ve F-V grafiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Açma ve kapama yönündeki sönümlleme kuvvetleri iki borulu amortisörün ölçülerine ve kullanılan valflerin karakteristiğine göre farklılık göstermektedir.



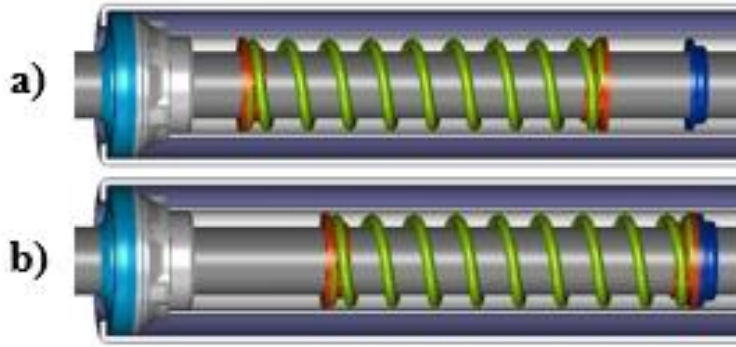
Şekil 3.5. Standart amortisörlerde F-s grafiği.



Şekil 3.6. Standart amortisörlerde F-V grafiği.

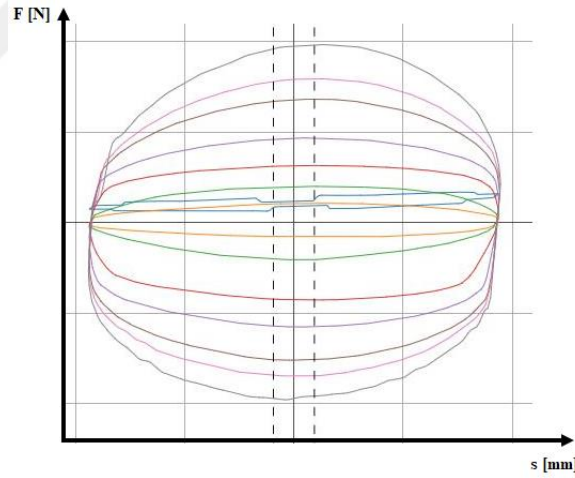
OEM firmalarının açma yönünde ekstra bir sönümlleme kuvveti istenmesi durumunda iki borulu veya tek borulu amortisörlerde ekstra bir komponent sisteme eklenmektedir. RSS komponenti amortisörde piston çubuğuna konumlandırılan bir eklentidir. Açma yönünde ekstra bir sönümlleme kuvvetini yayın sıkıştırılması ile yay sertliğine göre mekanik bir etki ile oluşturmaktadır. RSS elemanı amortisör içerisinde yaygın olarak iki tipte kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla; gevşek geçme ve sıkı geçmedir (Şekil 3.7'de). İki sistemde temel olarak açma yönünde ekstra bir sönümlleme kuvveti oluşturmaktadır. İstenilen ilave kuvvet değerine ulaşmak için kullanılan yayın yay

sabiti ile yapılmaktadır. Yay tasarımı temel kıstas amortisörün çalışma aralığı ve iç tüp çapıdır.



Şekil 3.7. a) Gevşek geçme b) Sıkı geçme.

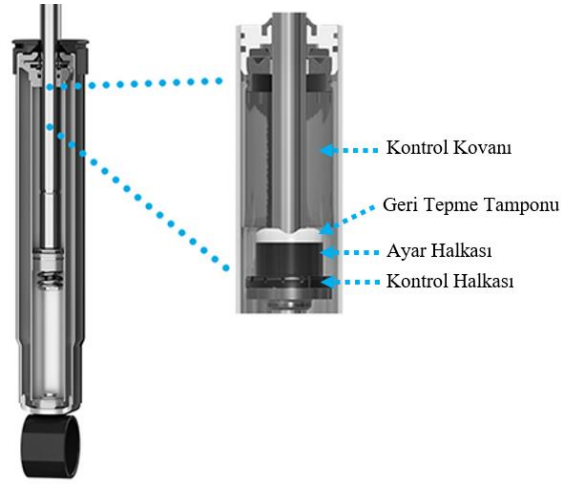
RSS kullanılması durumunda açma yönünde oluşan ek kuvvet için F-s grafiği Şekil 3.8’de verildi. Amortisör açma yönünde OEM firmasının taleplerine göre ek bir kuvvet oluşturarak açma yönünde tekerleğin yol üzerinde bir çukurdan geçtikten sonra tekerin araca doğru hareketinde oluşan ani kuvvet artışında sönümlmeyi sağlamaktadır. Bu şekilde aracın yol tutuşu sağlanarak, sürüş güvenliği sağlanmaktadır.



Şekil 3.8. RSS kullanılan bir amortisör için F-s grafiği.

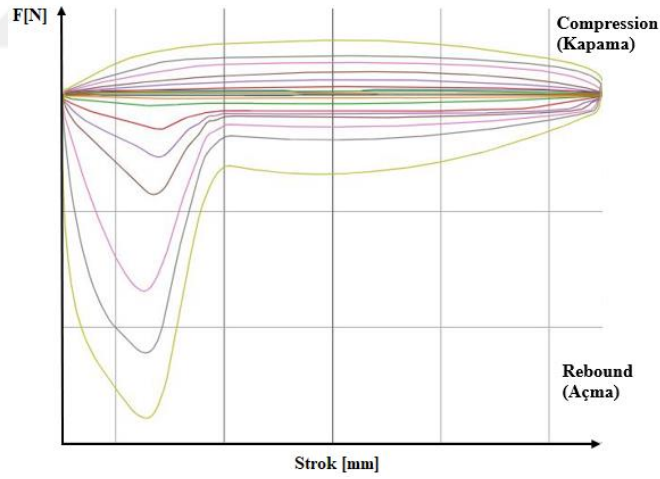
3.4.2. HRS sistemi

RSS ile aynı amaç için kullanılan fakat mekanik yerine hidrolik olarak bir sönümleme kuvveti oluşturan bir eklentidir. Şekil 3.9’da HRS sisteminin kesit görünümü ve temel bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 3.9. HRS sisteminin kesit görünümü ve temel bileşenleri.

Sistemin çalışma mantığı piston valfin açma yönünde hareketi sırasında ilk olarak piston valf sadece yağın valften geçerken oluşan direnç ile bir kuvvet oluşmaktadır. Pistonun yukarı yönlü hareketinin devam etmesi ile piston çubuğunda bulunan kontrol halkasının kontrol kovanının içerisinden geçerken bir çap daralmasından dolayı ekstra sönümleme kuvveti oluşmaktadır. HRS sisteminin kullanılması durumunda amortisörün karakteristik eğrisi Şekil 3.10’da gösterilmiştir

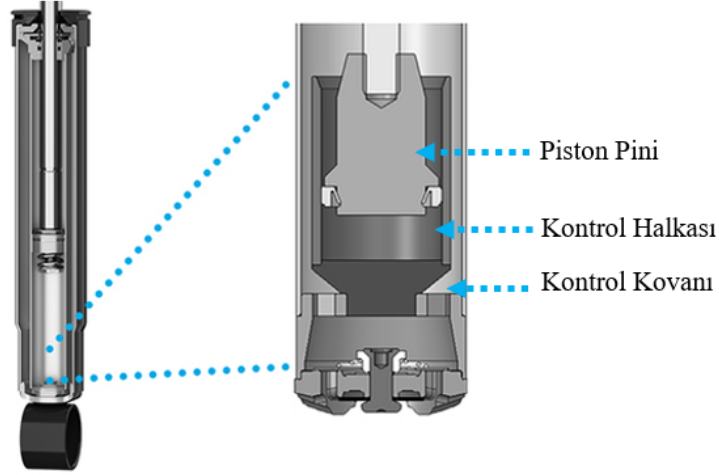


Şekil 3.10. HRS sistemi kullanılan bir amortisörün F-s grafiği.

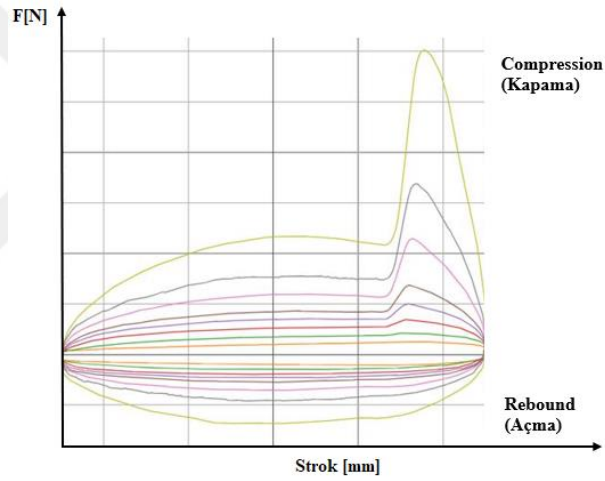
3.4.3. HCS Sistemi

OEM firmasının kapama yönünde ekstra bir kuvvet talebi olması durumunda kullanılan bir eklentidir. HCS sisteminin kesit görünümü ve temel bileşenleri Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Çalışma prensibi HRS ile benzer şekilde amortisörün kapama kısmında piston çubuğunun uç kısmına eklenen bir parçanın daraltılmış bir çaptan

geçmesi ile ek bir sönümlleme kuvveti oluşmaktadır. Şekil 3.12’de HCS sistemi kullanılan bir amortisörün F-s grafiği verilmiştir.



Şekil 3.11. HCS komponentinin kesit görünümü ve temel bileşenleri.

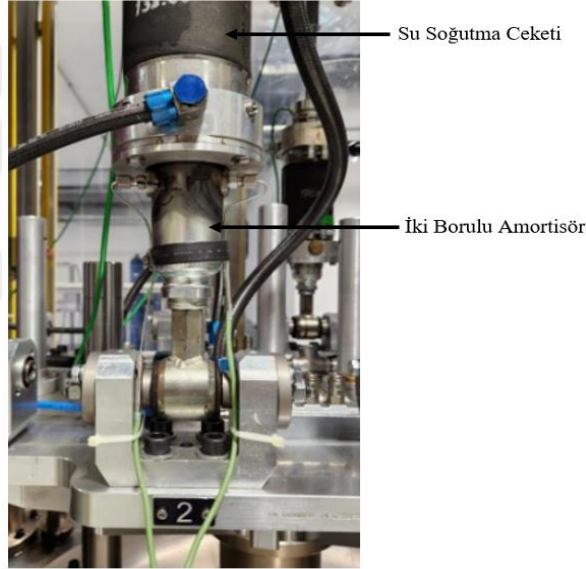


Şekil 3.12. HCS komponenti kullanılan bir amortisörün F-s grafiği.

4. DENEY, ANALİZ VE MATEMATİK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

4.1. Deneysel Modelin Tasarımı

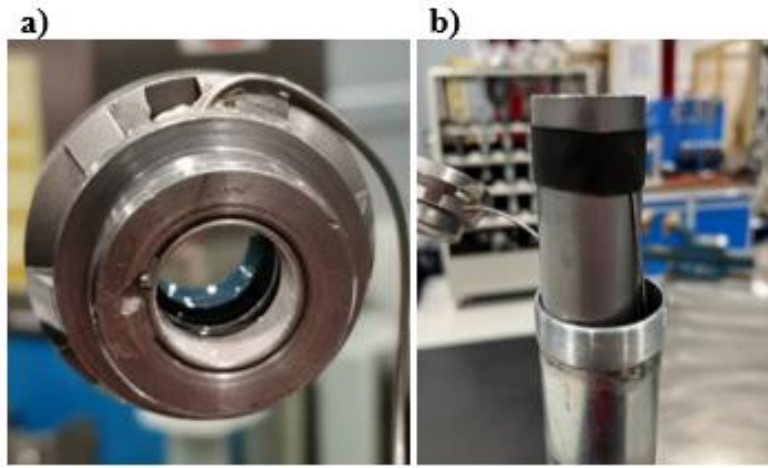
Deneysel çalışmalar için iki borulu ve HRS sistemi içeren 36/18 ve 32/15 ölçülerindeki amortisörler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda amortisörün içinde oluşan sıcaklık ile dış tüpün sıcaklıkları arasındaki farkın HRS kullanımından kaynaklı oluşan yüksek kuvvetlerdeki etkisinin soğutma sistemi olarak su soğutma kullanılarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan test sisteminin görseli Şekil 4.1’de gösterildi.



Şekil 4.1. Su soğutmalı test düzeneği.

Amortisör ömür testinde damperin çalışma sırasında sıcaklık artışının belirli bir değerin üzerinde olması durumunda amortisör patlamakta ve yağ kaçırmaktadır. Test için gereken kontrol değeri standart bir iki borulu amortisörde 80°C olarak belirlenmiştir. Amortisörün dış tüpünde sıcaklık ölçümünün yapılması amacı ile bir sensör kullanılmaktadır. Amortisör çalışma sırasında dış tüp 80°C’nin üzerinde olması durumunda amortisörün patlamasını engellemek için test sistemi durmakta ve soğutma ceketinin içinde yaklaşık 10°C sabit sıcaklıkta su ile amortisör soğutulur ve test için belirlenen sıcaklığa ulaşınca tekrardan çalışmaya devam eder. HRS kullanılması durumunda amortisör iç sıcaklığı standart bir amortisöre göre daha fazla olmaktadır.

Dış tüp sıcaklığında kullanılan test değerinin standart ile aynı olması durumunda iç sıcaklık daha yüksek değerlere çıkmakta ve iç sistemde kullanılan plastik parçalar ve diğer komponentlerde malzemenin yüksek sıcaklıktan dolayı hasara uğramakta ve test başarısız olarak tamamlanmaktadır. Bu ekstra bir ömür testi yapılmasının ve test için gereken ayar sıcaklığının deneme yanılma ile her bir amortisöre göre ayarlanması gerekmektedir. Yapılan deneysel çalışma ile HRS'nin iç sıcaklık ve dış sıcaklık arasındaki etkileşimini incelenmiştir. Dış sıcaklık test düzeneğinde bulunan sensör ile yapılmaktadır. Deneysel çalışmada ekstradan HRS kovanının içinde bulunan yağın sıcaklığını piston çubuğu yatağından ve rezerve borusunun sıcaklığı deneysel çalışmalarda kullanılmak için özel olarak üretilen parçalarda termokupl ile ölçülmüştür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. a) Piston çubuğu yatağı b) Rezerve boru termokupl yerleşimi.

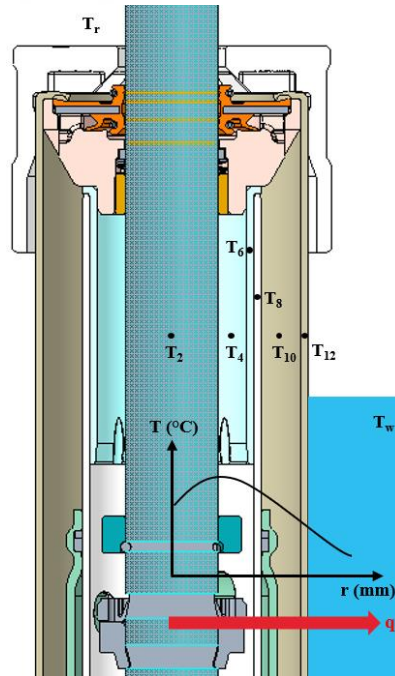
Şekil 4.2’de gösterilen görseldeki piston çubuğu yatak parçasının uç kısmında bulunan termokupl HRS’nin iç kısmındaki yağ ile temas halindedir ve bir yalıtım malzemesi ile kapatılmıştır. Rezerve borusundaki termokupl ise bir ısıya dayanıklı bant ile sabitlenmiş ve sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Deney çalışmaları için iki farklı amortisör ölçüsü seçilmiştir. Her iki amortisör içinde Şekil 4.2’de gösterildiği gibi numuneler üretilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda farklı karakteristikliye sahip valfler ve HRS sisteminde kullanılan kontrol halkasının iç ve dış sıcaklıklara etkisinin incelenmesi için bir test matriksi oluşturulmuştur (Tablo 4.1’de). Bu hazırlanan matriks ile HRS kontrol halkası, valflerin ve amortisör ölçüsünün iç ve dış sıcaklık üzerindeki etkisi incelenerek hangi parçanın sıcaklık değişimine etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmesi planlandı.

Tablo 4.1. Deneysel çalışmalar için 36/18 test matriksi.

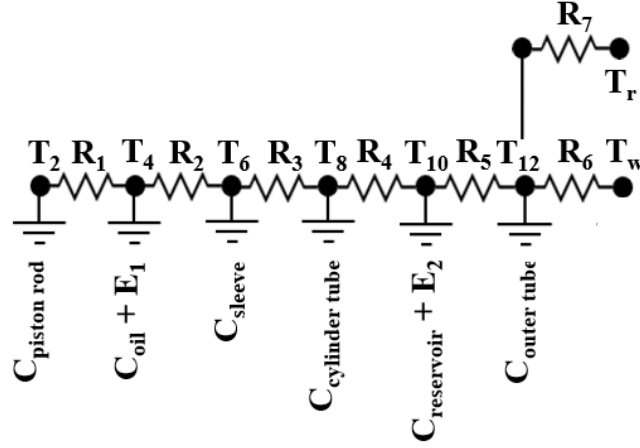
	Valf Karakteristiği	Kontrol Halkası Çentik Sayısı	Strok [mm]
Matriks 1	Max	1	%0
Matriks 2			%100
Matriks 3			%68
Matriks 4			%28
Matriks 5	Min	1	%0
Matriks 6			%100
Matriks 7			%68
Matriks 8			%28
Matriks 9	Max	2	%100
Matriks 10			%68
Matriks 11	Min	2	%100
Matriks 12			%68

4.2. Matematik Modelinin Geliştirilmesi

Matematik modelinin oluşturulmasında ısııl direnç metodu kullanılmıştır. Bu modelin oluşturulmasında yatay doğrultuda ısı geçişi olan her bir parçanın orta noktasında bir nokta oluşturuldu (Şekil 4.3'te). Bu noktanın orta noktasında bir ısı kapasitesi olduğu ve ayrıca sisteme hem HRS çalışma alanı hem de rezerve borusu ile dış tüp arasındaki bölüm için enerji girişi olduğu varsayılmıştır.

**Şekil 4.3.** Matematik modeli için sistem tasarımı.

Isı transferinde kullanılacak matematiksel model için ısııl direnç metodu tercih edildi. Oluşturulan ısııl direnç diyagramı Şekil 4.4'te verildi.



Şekil 4.4. Isıl direnç diyagramı.

Amortisör dış tüpün bir kısmına su ceket montajlanmaktadır. Dış tüpte su ceketinin üstünde kalan kısımdan dış tüpün sıcaklığı ölçülmektedir. Su soğutma sisteminin şematik gösterimi Şekil 4.5'te verildi. Test cihazında sıcaklık sensörü su ceketinin üst kısmında dış tüpten ölçülmektedir. Dış tüp su ceketinin içerisinden geçen su ve test laboratuvarının sıcaklığı ile temas halindedir. Matematik modelinin oluşturulmasında zaman adımlarının az olmasından dolayı hesaplamada oluşacak yakınsamanın engellenmesi için açık yöntem (explicit) metottu tercih edilmiştir. Testler sırasında kullanılan zaman aralıkları yaklaşık 0,0002 saniyedir ve sistemin çalışmasından dolayı oluşacak enerjinin girişleri HRS çalışma alanındaki yağ ve rezervuar alanındaki hava yağ karışımının olduğu yerden verildi.

Matematik modelinin oluşturulmasında Şekil 4.4'te veril ısıl direnç diyagramına göre her bir nokta için termal model oluşturdu. Denklemdе gösterilen “i” o an için amortisörde ilgili komponentin sıcaklığını vermektedir ve i+1 ifadesi ise bir sonraki zaman için amortisörün sıcaklığını göstermektedir (4.1). Matematik modelinin oluşturulmasında kullanılacak temel denklem aşağıda verilmiştir.

$$T_n^{i+1} = T_n^i + \frac{\Delta t}{C} \sum_{n \rightarrow \infty}^i \left(\frac{T_{n+1}^i - T_n^i}{R} + \dot{Q} \right) \quad (4.1)$$

Yukarıda verilen denkleme göre amortisör iç yapısında yatay olarak ısı transferinin gerçekleştiği her bir komponente uygulandı. Denklemlerde sadece yağ ve yağ hava karışımının olduğu rezerve kısmında enerji girişi olduğu varsayıldı. Her bir komponent için oluşturulan denklemler sırasıyla;

$$T_2^{i+1} = T_2^i + \frac{\Delta t}{C_{pr}} \left(\frac{T_4^i - T_2^i}{R_1} \right) \quad (4.2)$$

$$T_4^{i+1} = T_4^i + \frac{\Delta t}{C_o} \left(\frac{T_2^i - T_4^i}{R_1} + \frac{T_6^i - T_4^i}{R_2} + Q_1 \right) \quad (4.3)$$

$$T_6^{i+1} = T_6^i + \frac{\Delta t}{C_s} \left(\frac{T_4^i - T_6^i}{R_2} + \frac{T_8^i - T_6^i}{R_3} \right) \quad (4.4)$$

$$T_8^{i+1} = T_8^i + \frac{\Delta t}{C_{pt}} \left(\frac{T_6^i - T_8^i}{R_3} + \frac{T_{10}^i - T_8^i}{R_4} \right) \quad (4.5)$$

$$T_{10}^{i+1} = T_{10}^i + \frac{\Delta t}{C_r} \left(\frac{T_8^i - T_{10}^i}{R_4} + \frac{T_{12}^i - T_{10}^i}{R_5} + \dot{Q}_2 \right) \quad (4.6)$$

$$T_{12}^{i+1} = T_{12}^i + \frac{\Delta t}{C_{ot}} \left(\frac{T_{10}^i - T_{12}^i}{R_5} + \frac{T_s^i - T_{12}^i}{R_6} + \frac{T_a^i - T_{12}^i}{R_7} \right) \quad (4.7)$$

Amortisörün belirlenecek zamana göre sıcaklığını verecek denklemler yukarıda verildi. Sıcaklık hesabı için kullanılacak alt denklemler sırasıyla;

Her bir komponentin ısı kapasitelerinin hesabı için:

$$C_{pr} = c_{pr} \cdot m_{pr} = c_{pr} \cdot \rho_{pr} \cdot V_{pr} = c_{pr} \cdot \rho_{pr} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot L_1 \quad (4.8)$$

$$C_o = c_o \cdot m_o = c_o \cdot \rho_o \cdot V_o = c_o \cdot \rho_o \cdot 2 \cdot \pi \cdot (r_1^2 - r^2) \cdot L_1 \quad (4.9)$$

$$C_s = c_s \cdot m_s = c_s \cdot \rho_s \cdot V_s = c_s \cdot \rho_s \cdot 2 \cdot \pi \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot L_1 \quad (4.10)$$

$$C_{pt} = c_{pt} \cdot m_{pt} = c_{pt} \cdot \rho_{pt} \cdot V_{pt} = c_{pt} \cdot \rho_{pt} \cdot 2 \cdot \pi \cdot (r_3^2 - r_2^2) \cdot L_1 \quad (4.11)$$

$$C_r = c_r \cdot m_r = c_r \cdot \rho_r \cdot V_r = c_r \cdot \rho_r \cdot 2 \cdot \pi \cdot (r_4^2 - r_3^2) \cdot L_1 \quad (4.12)$$

$$C_{ot} = c_{ot} \cdot m_{ot} = c_{ot} \cdot \rho_{ot} \cdot V_{ot} = c_{ot} \cdot \rho_{ot} \cdot 2 \cdot \pi \cdot (r_5^2 - r_4^2) \cdot L_1 \quad (4.13)$$

Yukarıdaki denklemler ile piston çubuğu “C_{pr}”, hidrolik yağ “C_o”, HRS sisteminde kullanılan kontrol kovani “C_s”, iç (basınç) tüp “C_{pt}”, reserve alanındaki hava yağ karışımı “C_r” ve dış tüp “C_{ot}” olarak ifade edilmiştir. Yukarıdaki denklem kullanılarak her bir komponentin sıcaklık denklemlerindeki değerleri bulunmuştur. Isı kapasitesinde kullanılan sabit değerler ise aşağıdaki gibi kabul edilmiştir:

$$c_{pr} = c_{pt} = c_{ot} = 470 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C} \quad (4.14)$$

$$c_s = 1350 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C} \quad (4.15)$$

$$c_r = 1450 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C} \quad (4.16)$$

$$c_o = 1920 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C} \quad (4.17)$$

Hesaplama c_o için başlangıç değeri yukarıda belirtilen değer kabul edildi fakat yağ sıcaklığına göre bu değer değişkenlik göstermektedir. Aşağıda verilen Tablo 4.2’de yağın sıcaklıklara göre termal özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.2. Titan SAF 1579 EU 175 ürün veri sayfası.

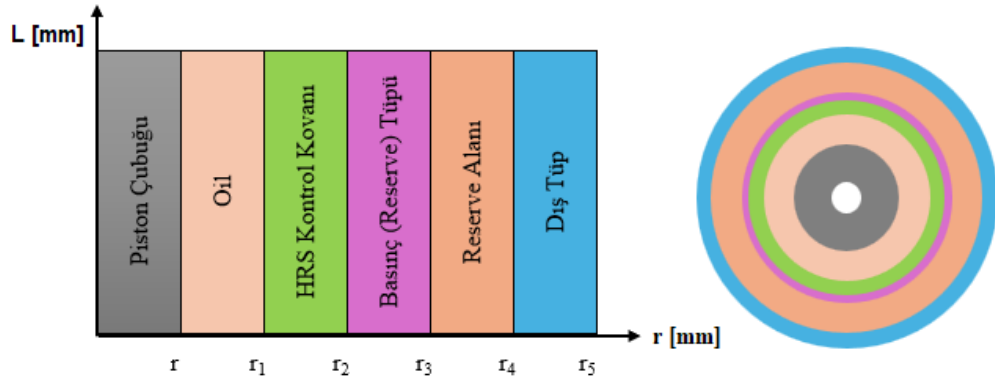
T T [°C]	Kin. Visc. v(T) [mm ² /s]	Density p(T) [kg/m ³]	Dyn. Visc. μ(T) [mPas]	Spec. Heat Cap. cp [kJ/(kgK)]	Therm. Conduct. λ [W/(Km)]
-30	485,0	863,9	419,0	1,73	0,14
-20	215,0	857,1	184,3	1,77	0,14
-10	107,5	850,3	91,4	1,81	0,14
0	59,4	843,4	50,1	1,85	0,14
10	35,7	836,5	29,9	1,88	0,14
20	23,1	829,5	19,1	1,92	0,14
30	15,8	822,5	13,0	1,96	0,14
40	11,4	815,5	9,3	1,99	0,14
50	8,6	808,5	6,9	2,03	0,14
60	6,7	801,4	5,4	2,07	0,14
70	5,4	794,3	4,3	2,11	0,14
80	4,5	787,2	3,5	2,14	0,14
90	3,8	780,0	3,0	2,18	0,13
100	3,3	772,9	2,6	2,22	0,13
110	2,9	765,7	2,2	2,25	0,13
120	2,6	758,5	2,0	2,29	0,13
130	2,4	751,3	1,8	2,33	0,13
140	2,2	744,0	1,6	2,37	0,13
150	2,0	736,8	1,5	2,40	0,13
Thermal expansion		α [1/K]		0,000834	

Denklemden diğer komponentler için yoğunluk değerleri aşağıdaki gibi kabul edilmiştir.

$$\rho_{pr} = \rho_{pt} = \rho_{ot} = 7800 \text{ kg/m}^3 \quad (4.18)$$

$$\rho_s = 1300 \text{ kg/m}^3 \quad (4.19)$$

Amortisörün çap ölçülerinin gösterildiği görsel Şekil 4.5’te ki gibidir.



Şekil 4.5. HRS'li bir amortisörün şematik ölçü gösterimi.

Amortisör ebadına göre ölçüler değişmektedir. Deneysel testler için iki farklı amortisör ebadı test edildi.

36/18 amortisör için ölçüler sırayla:

- Piston çubuğu yarı çapı (r) = 9,00 mm
- HRS kontrol kovanı iç çapı (r_1) = 16,25 mm
- Basınç (rezerve) tüpü iç çapı (r_2) = 18,00 mm
- Basınç (rezerve) tüpü dış çapı (r_3) = 19,00 mm
- Dış tüpün iç çapı (r_4) = 24,50 mm
- Dış tüpün dış çapı (r_5) = 26,00 mm

• 32/15 amortisöre için ölçüler:

- Piston çubuğu yarı çapı (r) = 7,50 mm
- HRS kontrol kovanı iç çapı (r_1) = 14,25 mm
- Basınç (rezerve) tüpü iç çapı (r_2) = 16,00 mm
- Basınç (rezerve) tüpü dış çapı (r_3) = 19,00 mm
- Dış tüpün iç çapı (r_4) = 24,50 mm
- Dış tüpün dış çapı (r_5) = 26,00 mm

Denklemden kullanılan ısı dirençleri için denklemler aşağıda verilmiştir. Isıl direnç oluşturulurken yağdan piston çubuğuna ısı geçişinin taşıma ile olduğu, HRS kontrol kovanına yağdan ısı taşınım yolu ve basınç (rezerve) borusundan ise iletim ile ısı transferi olmaktadır. HRS kontrol kovanından basınç (rezerve) borusuna iletim yolu ve rezerve alanından taşınım ile bir ısı geçişi vardır. Dış tüpte ise rezerve alanından taşınım ile ısı geçişinin dışında dış tüpün dış yüzeyinde L_2 mesafesine kadar su soğutma mevcuttur. Burada dış yüzey sabit 10°C su ile dış yüzey soğutulmaktadır ve

soğutma dış yüzeyde taşınım ile bir ısı transferi oluşturmaktadır. Bunun dışında piston yatak üst noktası ile su ceketinin üst noktasındaki mesafe “L₁-L₂” ortam ile temas haline ve taşınım ile bir ısı transferi olmaktadır. Isıl transferinde kullanılan direnç denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$R_1 = 1/h_o.2.\pi.r.L_1 \quad (4.20)$$

$$R_2 = 1/h_o.2.\pi.r_1.L_1 \quad (4.21)$$

$$R_3 = \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)/k_s.2.\pi.L_1 \quad (4.22)$$

$$R_4 = 1/h_r.2.\pi.r_3.L_1 \quad (4.23)$$

$$R_5 = 1/h_r.2.\pi.r_4.L_1 \quad (4.24)$$

$$R_6 = 1/h_w.2.\pi.r_5.L_2 \quad (4.25)$$

$$R_7 = 1/h_a.2.\pi.r_5.(L_1 - L_2) \quad (4.26)$$

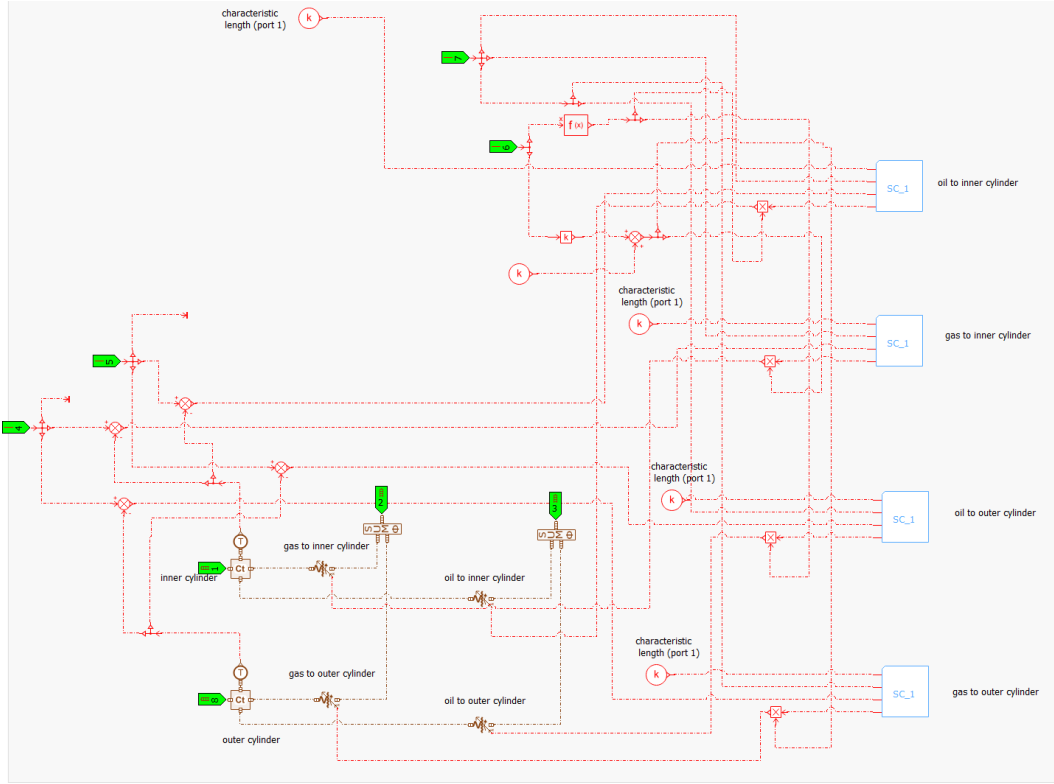
Denklemlerde kullanılan ısı transfer sabitlerinde; çevrenin ısı transfer sabiti olarak 15 W/m².°C varsayılmıştır. HRS kontrol kovanının ısı iletkenlik değeri ise 0,39 W/m.°C olarak varsayılmıştır. Yağ, rezerve alanındaki yağ ve hava karışımının ve soğutma suyunun ısı transfer sabitleri HRS kovanındaki yağ sıcaklık değerine göre değişmektedir. Kullanılan değerler Tablo 4.3’te verilmiştir. Bu değerlerin belirlenmesi için bir korelasyon çalışması yapılmıştır. Test sonuçlarındaki çalışma bölgesindeki hidrolik yağ (T₄) ve dış tüp (T₁₂) sıcaklıkları ile matematik modelinden elde edilen sonuçların karelerinin farkına bakılarak en düşük sapma değerinin alındığı değerler matematik modelinde kullanıldı.

Tablo 4.3. Bilinmeyen ısı transfer değerleri için korelasyon çalışması.

#	Bilinmeyen değerler				Matriks 3		Matriks 7		Matriks 9	
	h_{ambient}	h_w	h_o	h_r	S_{T4}	S_{T12}	S_{T4}	S_{T12}	S_{T4}	S_{T12}
1	10	350	550	1750	0,78	2,6238	0,7620	1,2530	1,1360	0,3605
2	10	350	500	1800	0,71	2,3560	0,7256	1,2430	1,1070	0,3209
3	10	400	550	1750	0,69	1,9562	0,6605	1,2320	1,0612	0,2412
4	10	400	500	1800	0,62	1,7951	0,5186	0,9362	1,0081	0,1036
5	15	400	550	1750	0,32	1,4862	0,2308	0,6120	0,7620	0,0203
6	15	400	500	1800	0,16	1,0201	0,1089	0,3025	0,3844	0,0064
7	20	350	550	1750	0,27	1,3582	0,2460	0,5912	0,6941	0,0175
8	20	450	550	1750	0,43	1,6235	0,4625	0,7361	0,8706	0,0762
9	25	350	500	1800	0,36	1,9651	0,5320	0,8320	0,9535	0,1238
10	25	400	550	1750	0,56	2,1062	0,6812	0,9830	1,0209	0,2069

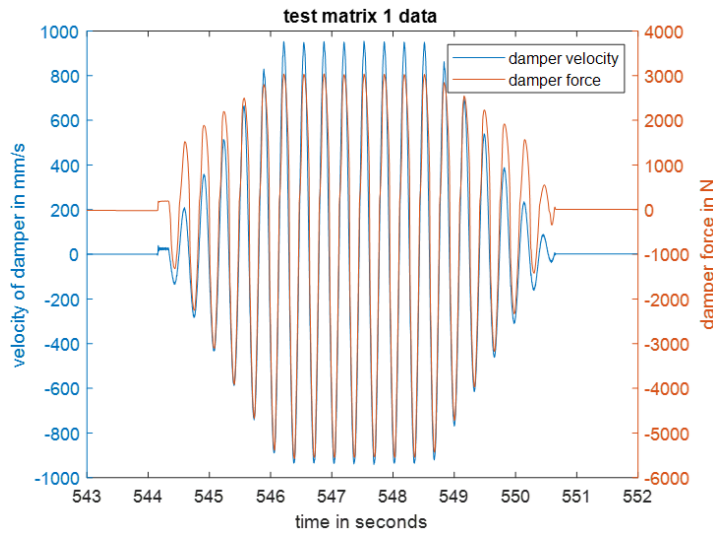
4.3. 36/18 Amortisörün 1D Analizi

Bu çalışmada amortisörün zamana bağlı termal davranışının analiz edilmesi amacıyla, çok alanlı fiziksel sistemlerin dinamik etkileşimlerini bütüncül bir yaklaşımla modelleyebilen *Simcenter Amesim* yazılımı kullanılmıştır. *Simcenter Amesim*, hidrolik, mekanik, termal, elektrik ve kontrol sistemlerinin aynı platform üzerinde birleştirilmesine olanak tanıyan, bileşen tabanlı (component-based) bir simülasyon aracıdır. Yazılım, kullanıcıya kütüphanesinde yer alan önceden tanımlı fiziksel bileşenler aracılığıyla sistemin gerçek davranışını yüksek doğrulukla temsil edebilme imkânı sunmaktadır. Bu çalışmada, amortisörün iç yapısında yer alan yağ, metal ve plastik parçalar arasındaki ısı iletim ve taşınım mekanizmaları modellenmiş; *Simcenter Amesim* ortamında gerçekleştirilen sayısal simülasyonlar ile sistemin termal dengeye ulaşma süreci ve dış soğutma koşullarının sıcaklık dağılımına etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Böylece, amortisörün ısı performansının deneysel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve maliyet etkin bir şekilde tahmin edilmesi sağlanmıştır. *Simcenter Amesim* ile oluşturulan modelin görseli Şekil 4.6’da verilmiştir. Sistem HRS mekanizmalı ve amortisörün dış yüzeyinin su ile temas ettiği varsayılmıştır. Dış yüzeyden alınan sıcaklık ölçümleri su ceketinin iç kısmından alındı.

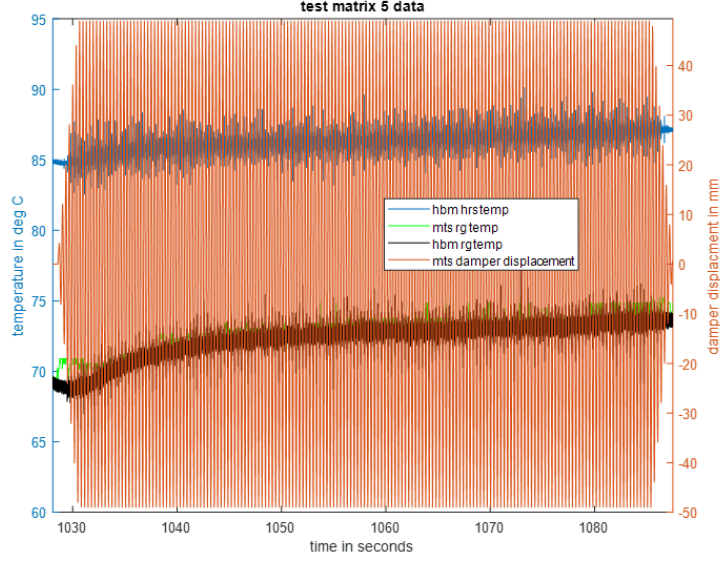


Şekil 4.6. 36/18 Simcenter Amasim amortisör modeli.

Matriks 1’de Simcenter Amasim ile amortisörün sönümlleme kuvvetlerinin zamana göre değişimini gösteren grafiği Şekil 4.7’de verildi. Şekil 4.8’de ise Matriks 5 için sönümlleme kuvvetleri gösterilmiştir.

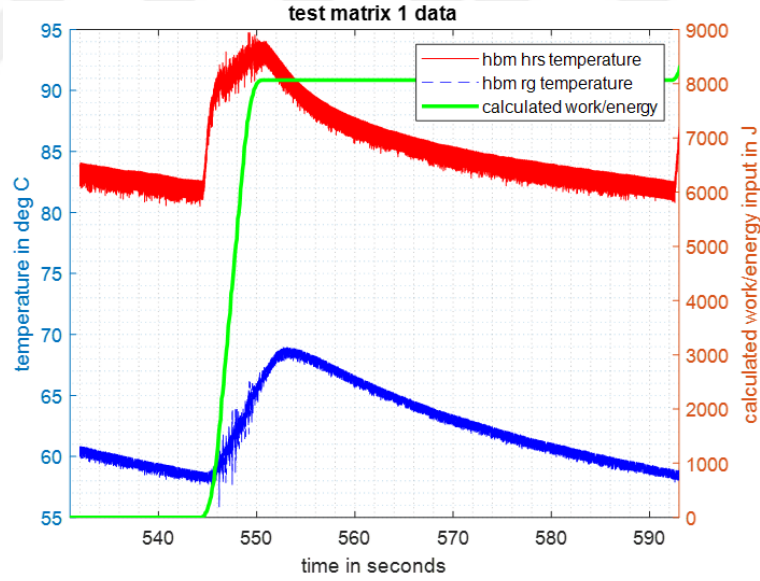


Şekil 4.7. Matriks 1 Simcenter Amasim zamana göre kuvvet dağılım grafiği.



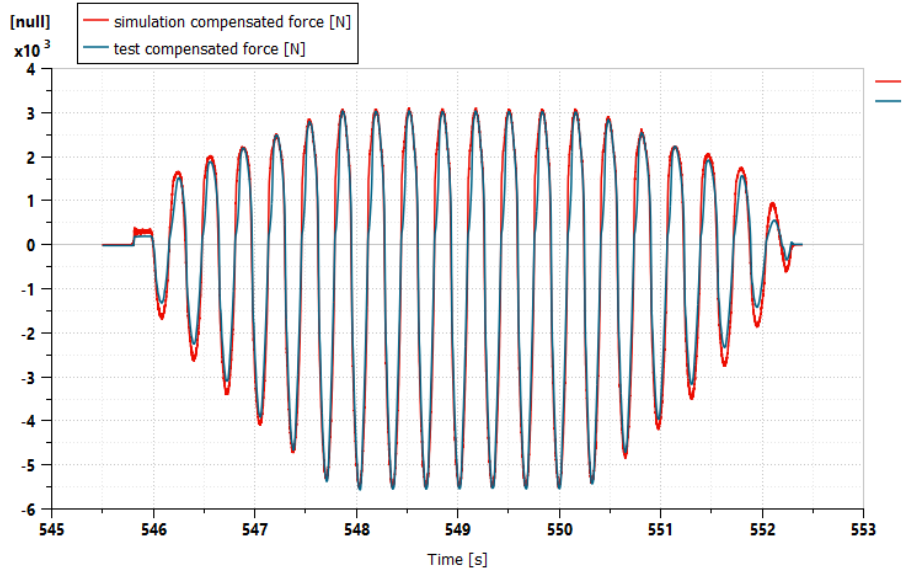
Şekil 4.8. Matriks 5 Simcenter Amasim zamana göre kuvvet dağılım grafiği.

Matriks 1 için çalışma bölgesinde hidrolik yağın sıcaklığını ve amortisörün oluşturacağı enerji miktarını $\int Force * velocity dt$ formülüne göre hesaplayarak Şekil 4.9’da gösterildi.



Şekil 4.9. Matriks 1 Simcenter Amasim ile hesaplanan enerji miktarı.

Simcenter Amasim ile oluşturulan kuvvet değerleri ile deneysel çalışmadan alınan sonuçların karşılaştırması matriks 1 için Şekil 4.10’da gösterildi.

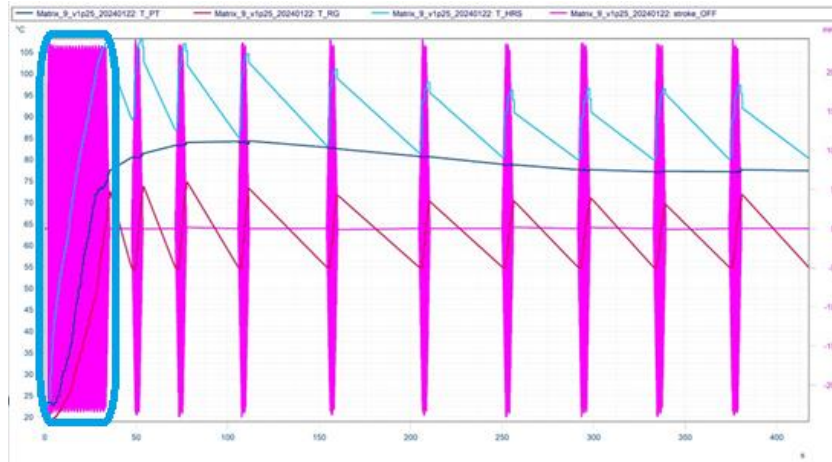


Şekil 4.10. Matriks 1 Simcenter Amasim ve deneysel çalışmada kuvvet karşılaştırması.

Şekil 4.10 detaylı bir şekilde incelendiğinde Simcenter Amasim ile deneysel çalışmaların sonuçlarının yakın değerler de olduğu gözlemlendi.

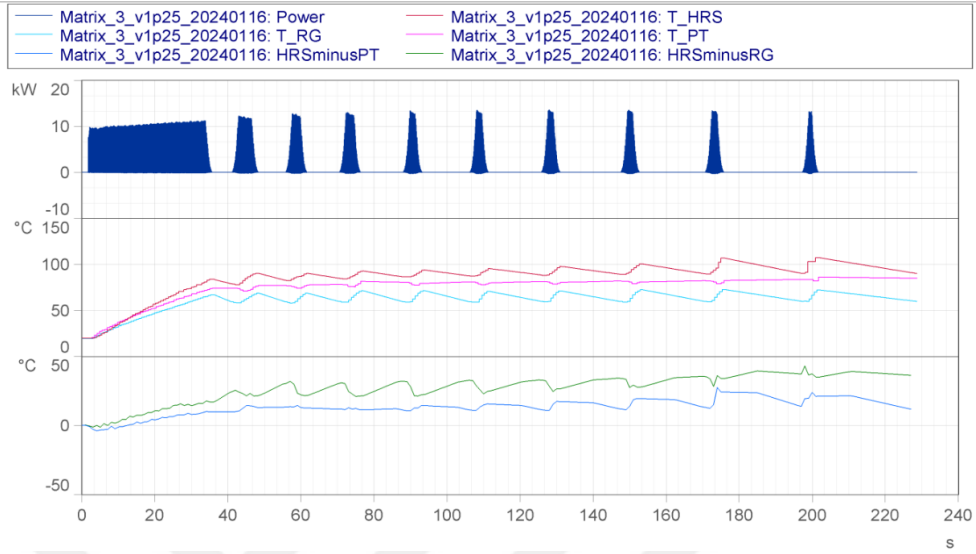
4.4. Deneysel Çalışmaların Sonuçları

36/18 amortisör için Matriks 3, Matriks 7 ve Matriks 9 için detaylı inceleme yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda Şekil 4.11’de gösterildiği gibi HRS kontrol kovanının iç sıcaklığı belirli bir zamandan sonra kararlı hale (steady state) gelmektedir. Yapılan deneysel incelemelerde hedef aralık olarak kararlı hale gelene kadarki kısım değerlendirildi.



Şekil 4.11. Referans aralığının gösterilmesi.

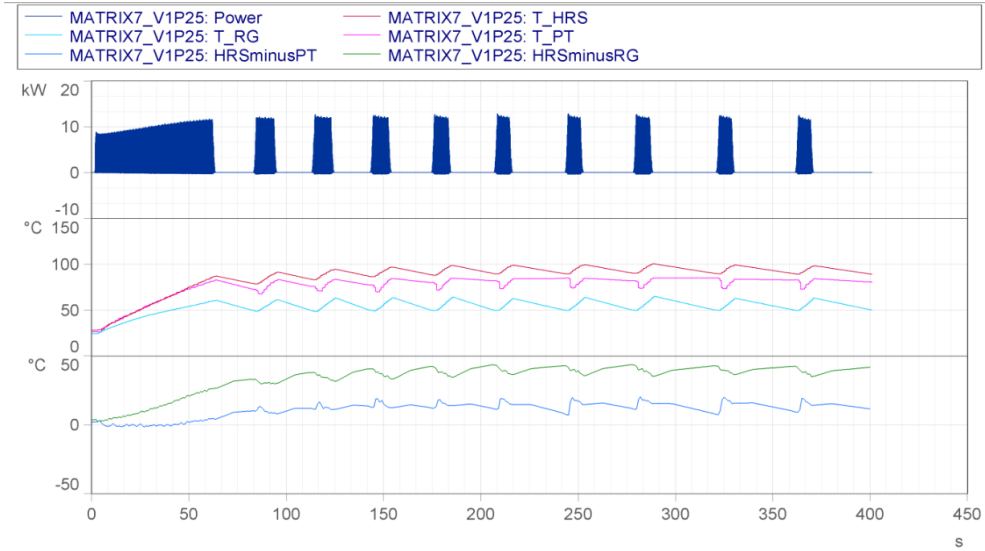
Matriks 3 için; HRS kontrol kovanındaki yağın sıcaklığı (T_4), basın (rezerve) tüpünün dış yüzey sıcaklığı (T_{10}), dış tüpün çevre ile temas halinde olan dış yüzeyinin sıcaklığı (T_{12}) Şekil 4.12’de gösterildi.



Şekil 4.12. Matriks 3 için T_4 , T_{10} ve T_{12} sıcaklıkları.

Grafikte görüldüğü gibi T_4 , T_{10} ve T_{12} değerlerinin yaklaşık olarak 38 saniyeye kadar olan kısımda sıcaklığın arttığı ve sonrasında kararlı hale geldiği ve sıcaklık değişiminin az olduğu görülmektedir. Grafikte HRS kovanın içindeki yağ T_{HRS} olarak isimlendirildi. Basınç (rezerve) tüpünün dış sıcaklığı T_{PT} ve dış tüpün hava ile temas eden kısmının sıcaklığı T_{RG} olarak isimlendirilmiştir. Yaklaşık olarak 40. saniyeden sonra HRS kovanın iç kısmındaki yağ ile dış tüpün hava ile temas eden kısmının sıcaklıkları arasındaki farkın sistemin kararlı halde olmasıyla yakın değerler olduğu görüldü. Sistem yaklaşık olarak 15kW’lık bir enerji üretmektedir. Kararlı hale geldiğinde T_4 sıcaklığı yaklaşık olarak 85°C ve T_{12} sıcaklığının yaklaşık olarak 70°C’ye geldiği görüldü.

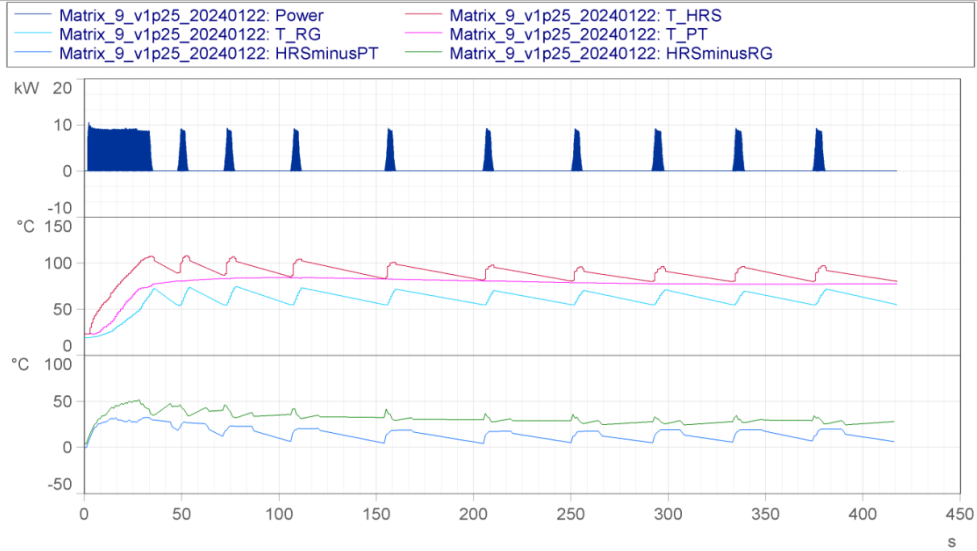
Matriks 7 için; HRS kontrol kovanındaki yağın sıcaklığı (T_4), basın (rezerve) tüpünün dış yüzey sıcaklığı (T_{10}), dış tüpün çevre ile temas halinde olan dış yüzeyinin sıcaklığı (T_{12}) Şekil 4.13’te gösterildi.



Şekil 4.13. Matriks 7 için T4, T10 ve T12 sıcaklıkları.

Grafikte görüldüğü gibi T₄, T₁₀ ve T₁₂ değerlerinin yaklaşık olarak 38 saniyeye kadar olan kısımda sıcaklığın arttığı ve sonrasında kararlı hale geldiği ve sıcaklık değişiminin az olduğu görülmektedir. Grafikte HRS kovanın içindeki yağ T_HRS olarak isimlendirildi. Basınç (rezerve) tüpünün dış sıcaklığı T_PT ve dış tüpün hava ile temas eden kısmının sıcaklığı T_RG olarak isimlendirilmiştir. Yaklaşık olarak 40. saniyeden sonra HRS kovanın iç kısmındaki yağ ile dış tüpün hava ile temas eden kısmının sıcaklıkları arasındaki farkın sistemin kararlı halde olmasıyla yakın değerler olduğu görüldü. Sistem yaklaşık olarak 15kW'lık bir enerji üretmektedir. Kararlı hale geldiğinde T₄ sıcaklığı yaklaşık olarak 60°C ve T₁₂ sıcaklığının yaklaşık olarak 47°C'ye geldiği görüldü.

Matriks 9 için; HRS kontrol kovanındaki yağın sıcaklığı (T₄), basın (rezerve) tüpünün dış yüzey sıcaklığı (T₁₀), dış tüpün çevre ile temas halinde olan dış yüzeyinin sıcaklığı (T₁₂) Şekil 4.14'te gösterildi.



Şekil 4.14. Matriks 9 için T₄, T₁₀ ve T₁₂ sıcaklıkları.

Grafikte görüldüğü gibi T₄, T₁₀ ve T₁₂ değerlerinin yaklaşık olarak 38 saniyeye kadar olan kısımda sıcaklığın arttığı ve sonrasında kararlı hale geldiği ve sıcaklık değişiminin az olduğu görülmektedir. Grafikte HRS kovanın içindeki yağ T_HRS olarak isimlendirildi. Basınç (rezerve) tüpünün dış sıcaklığı T_PT ve dış tüpün hava ile temas eden kısmının sıcaklığı T_RG olarak isimlendirilmiştir. Yaklaşık olarak 40. saniyeden sonra HRS kovanın iç kısmındaki yağ ile dış tüpün hava ile temas eden kısmının sıcaklıkları arasındaki farkın sistemin kararlı halde olmasıyla yakın değerler olduğu görüldü. Sistem yaklaşık olarak 10kW'lık bir enerji üretmektedir. Kararlı hale geldiğinde T₄ sıcaklığı yaklaşık olarak 105°C ve T₁₂ sıcaklığının yaklaşık olarak 58°C ye geldiği görüldü.

Enerji üretme kapasitesinin benzer olduğu amortisörlerde enerjinin kapasitesinin yüksek olması sıcaklıkların daha geç kararlı hale geçmesini sağladığı görüldü. Yakın enerji kapasite girişlerinin dış ve iç sıcaklık farklarında yakın değerler gösterdiği görüldü.

4.5. Matematiksel Model Sonuçları

Matematik modelinde hesaplama için her bir komponentin başlangıç sıcaklıkları 23°C olarak belirlendi. Ortam (çevre) sıcaklığı sabit ve 23°C olduğu kabul edildi. Soğutma suyu sıcaklığı da sabit ve 10°C olduğu kabul edildi. Sistemde HRS kontrol kovanın iç sıcaklığını hesaplamada kullanılan 3 numaralı denklemde ve rezerve alanındaki yağ

hava karışımının sıcaklığının hesaplanmasında kullanılan 6 numaralı denklemde enerji girişleri için Tablo 4.4'te ki şablon kullanılmaktadır.

Tablo 4.4. Amortisör enerji kapasitesi şablonu.

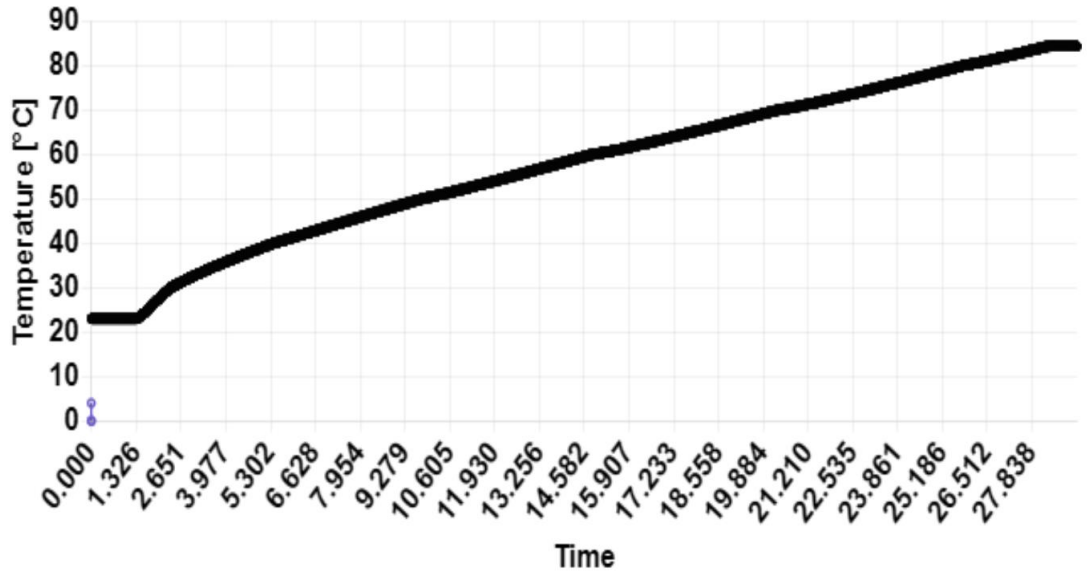
Time [s]	Total Power [W]
0.0000	0
0.0002	0
0.0004	0
...	...
0.0012	0
0.0014	0.032468229
...	...
9.1180	370.478669
9.1182	423.1498355
...	...
24.5598	3401.363295
24.5600	3368.572784
...	...

Enerjinin 4.3 numaralı ve 4.6 numaralı denklemlerde uygulanması için toplam enerjinin ($\dot{Q}_{total}$) “a” ile ifade edilen bir katsayı ile çarpılarak denklemlerde kullanılmıştır. “a” katsayısı için %60 olarak kabul edildi.

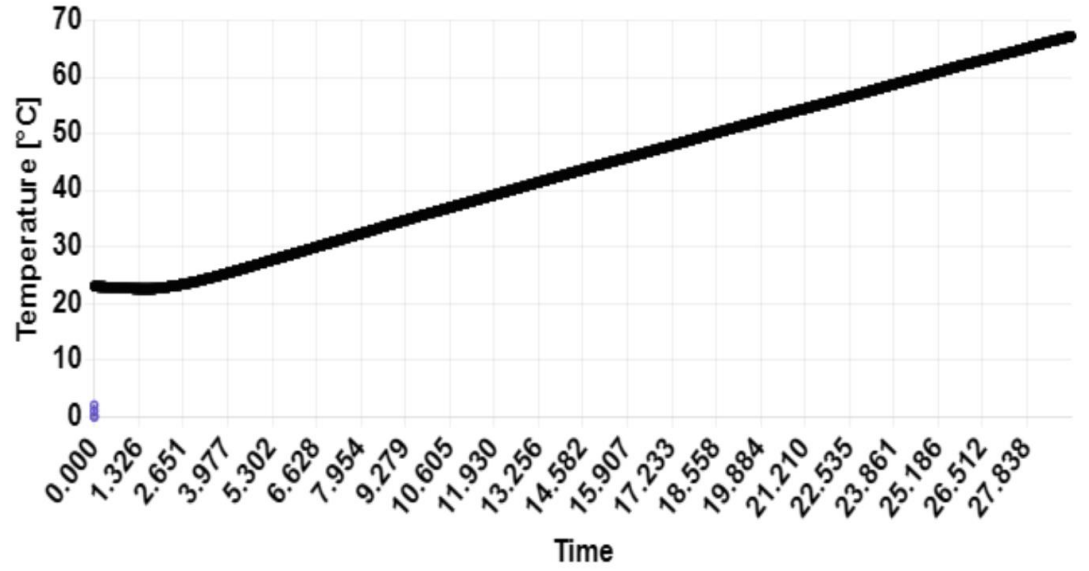
$$\dot{Q}_1 = a \cdot \dot{Q}_{total} \quad (4.27)$$

$$\dot{Q}_2 = (1 - a) \cdot \dot{Q}_{total} \quad (4.28)$$

Başlangıç şartları ve enerji girişlerinin denklemlere eklenmesi ile yapılan hesaplamalarla Matriks 3 için T_4 sıcaklığının zamana göre grafiği Şekil 4.15 ve dış tüpün çevre ile temas eden yüzeyden ölçülen sıcaklık T_{12} sıcaklığının zamana göre grafiği Şekil 4.16’de verildi.

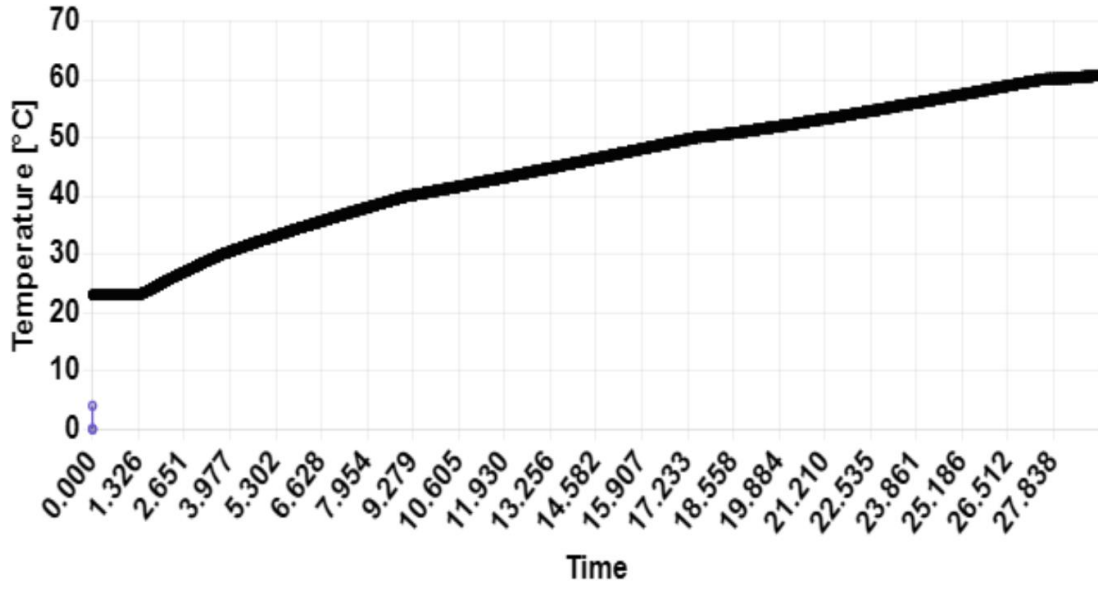


Şekil 4.15. Matriks 3'in matematiksel sıcaklık hesabı (T4 için).

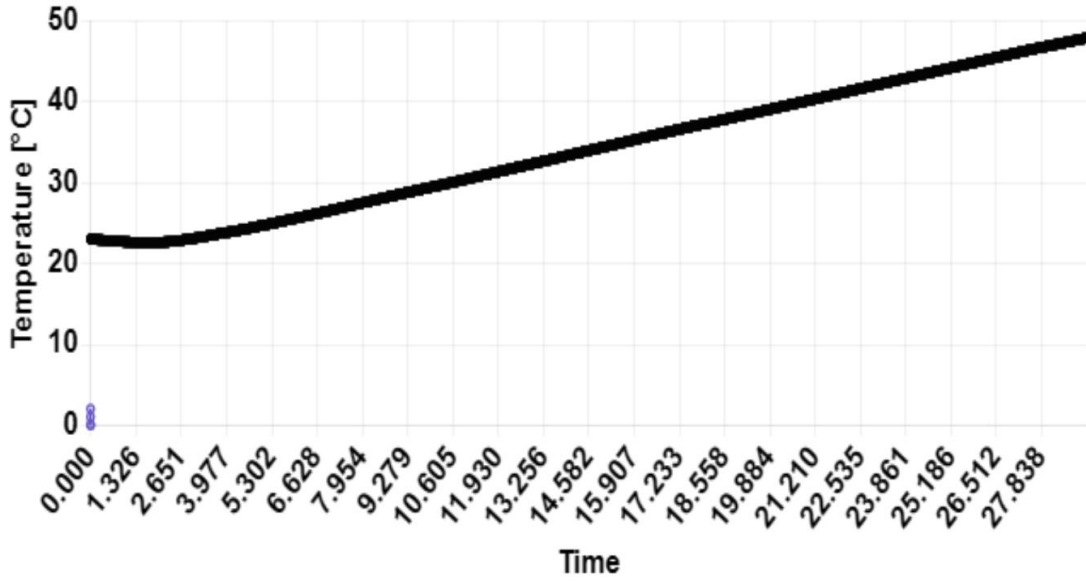


Şekil 4.16. Matriks 3'in matematiksel sıcaklık hesabı (T12 için).

Matriks 7 için T₄ sıcaklığının zamana göre grafiği Şekil 4.17 ve dış tüpün çevre ile temas eden yüzeyden ölçülen sıcaklık T₁₂ sıcaklığının zamana göre grafiği Şekil 4.18'de verildi.

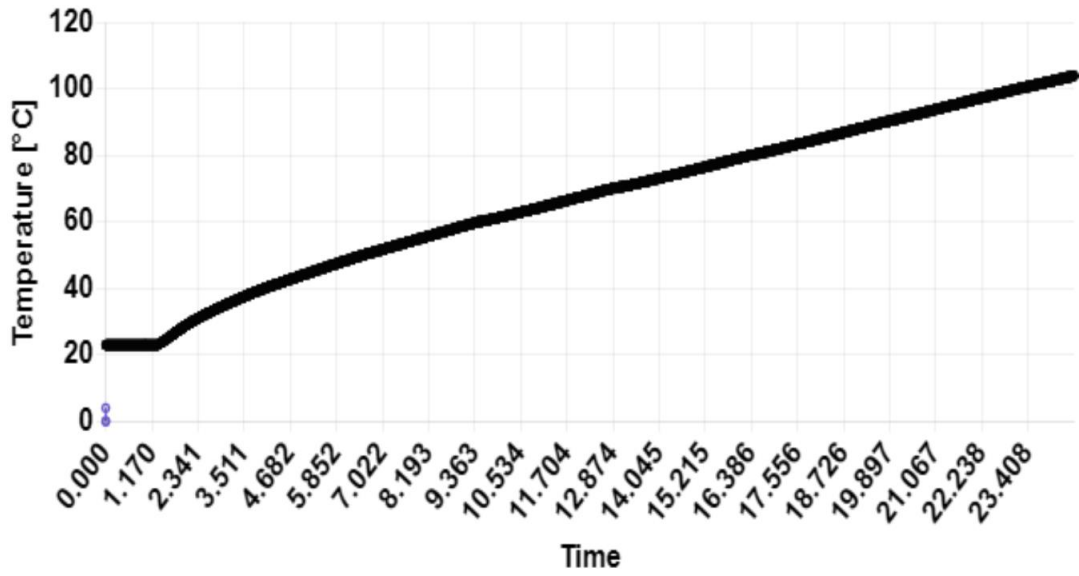


Şekil 4.17. Matriks 7'in matematiksel sıcaklık hesabı (T4 için).

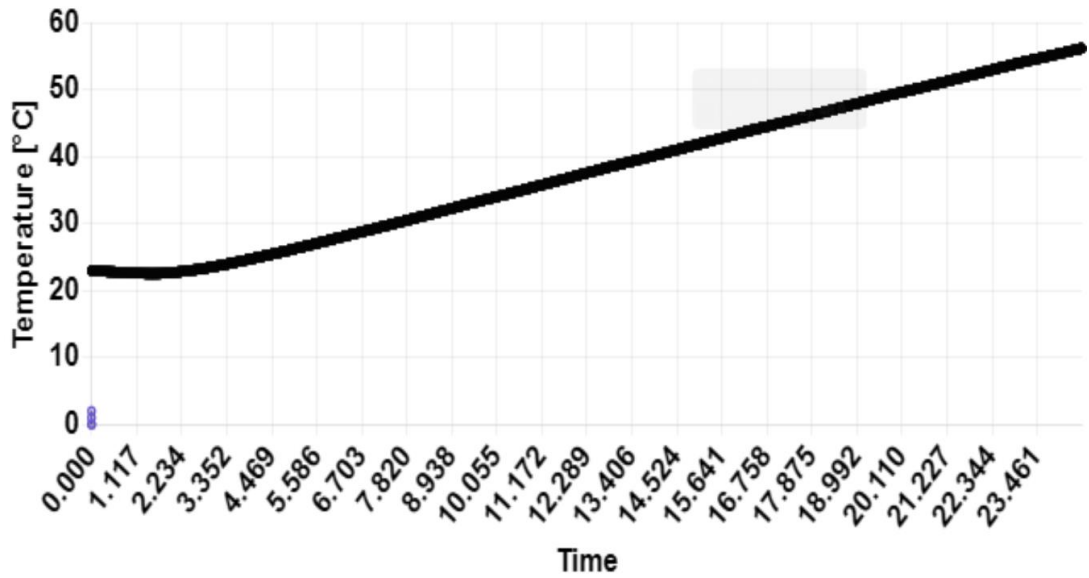


Şekil 4.18. Matriks 7'in matematiksel sıcaklık hesabı (T12 için).

Matriks 9 için T₄ sıcaklığının zamana göre grafiği Şekil 4.19 ve dış tüpün çevre ile temas eden yüzeyden ölçülen sıcaklık T₁₂ sıcaklığının zamana göre grafiği Şekil 4.20'de verildi.



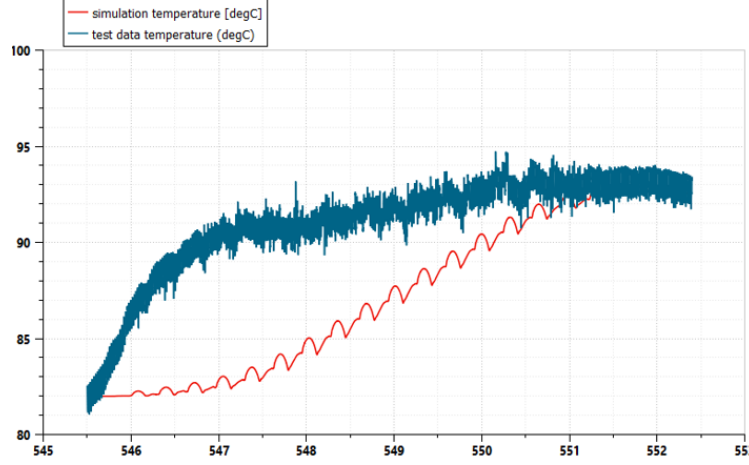
Şekil 4.19. Matriks 9'un matematiksel sıcaklık hesabı (T4 için).



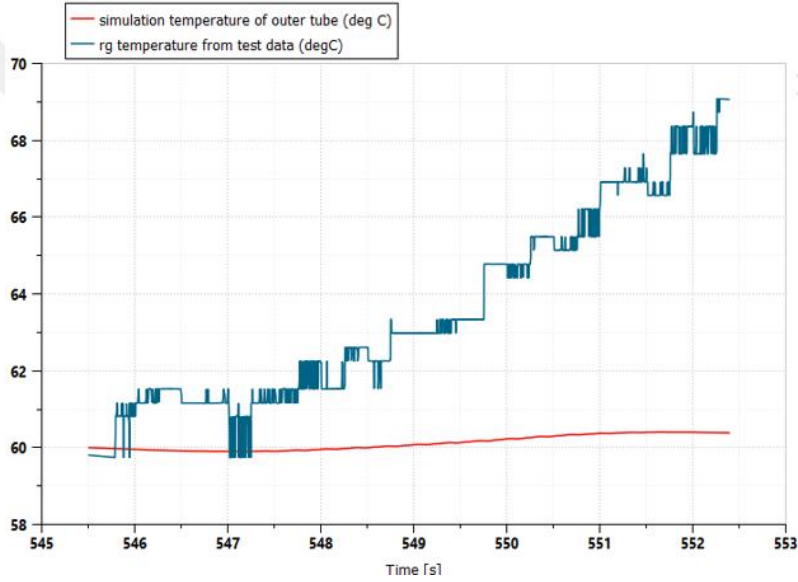
Şekil 4.20. Matriks 9'un matematiksel sıcaklık hesabı (T12 için).

4.6. 1D Termal Analiz Sonuçları

Matriks 1'de çalışma bölgesindeki (T₄) hidrolik yağın sıcaklığının zamana göre değişimini gösteren grafik Şekil 4.21'de gösterildi. Dış tüp sıcaklığının (T₁₂) zamana göre değişimini gösteren grafik ise Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Simcenter Amasim ve deneysel sonuçlarda T4 sıcaklığının karşılaştırması

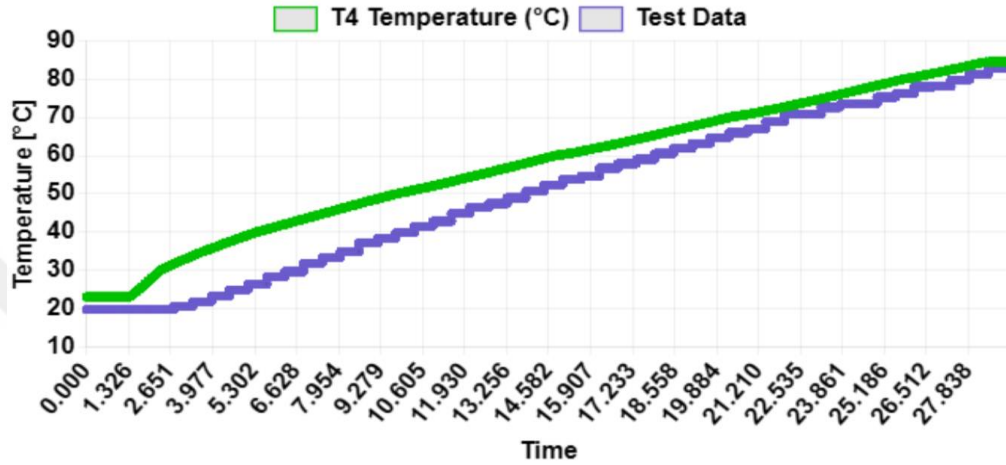


Şekil 4.22. Simcenter Amasim ve deneysel sonuçlarda T12 sıcaklığının karşılaştırması

Dış tüp sıcaklığında Simcenter Amasim ile deneysel sonuçlar arasındaki fark yaklaşık olarak 10°C 'den az olduğu görülmektedir. Bu farkın nedeni deneysel çalışmada dış tüpten ölçümün yapıldı probun konumundan kaynaklıdır. Ölçüm probunun su ceketine en yakın durumu ile su ceketinden en uzak konumu arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık olarak 10°C ile 15°C arasında değişmektedir. Bu fark ayrıca ölçüm noktasında veri aktarımı sırasındaki gecikmelerden dolayı fark artmaktadır. Dış tüpteki konum farklılığından kaynaklı sıcaklık farklarını minimize etmek için deneysel çalışmalarda sıcaklık her bir matriksteki dış sıcaklık probunun konumunu benzer değerlerde olacak şekilde konumlandırma yapıldı ve buna göre ölçüm sonuçları alındı.

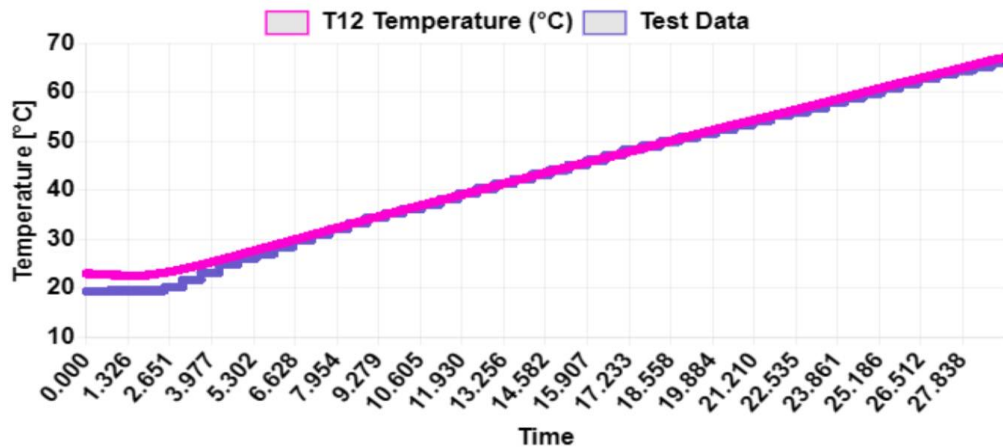
4.7. Deneysel ve Matematiksel Modelin Sonuçların Değerlendirilmesi

Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuç ve matematiksel modelden elde edilen sonuçların her bir matriks için HRS kontrol kovanının iç kısmındaki sıcaklık (T_4) ve dış tüpün çevre ile temas eden kısmının sıcaklığı (T_{12}) arasındaki fark gösterildi. Matriks 3'te T_4 için karşılaştırma Şekil 4.23 ve T_{12} için karşılaştırma Şekil 4.24'te gösterildi.



Şekil 4.23. Matriks 3 T_4 için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.

2. saniye ve 15. saniye arasında test ile matematik modelinde hesaplanan sonuçların arasındaki farkın en fazla olduğu aralıktır. Bu aralığın yüksek olmasının nedeni test ölçümünde kullanılan termokupl'da yalıtım, ölçüm sırasındaki hassasiyetten dolayı fazla çıkmaktadır. Detaylı olarak incelendiğinde bu farkın 10°C 'nin altında olmasından dolayı kabul seviyesindedir.



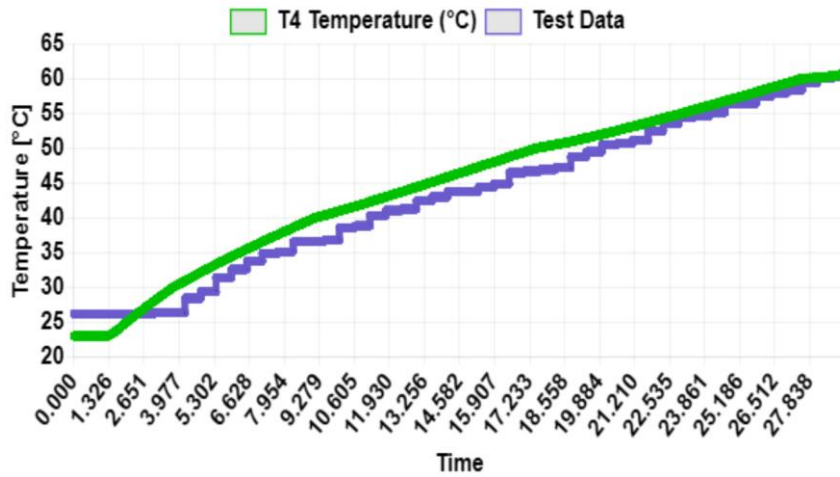
Şekil 4.24. Matriks 3 T_{12} için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.

Dış sıcaklıklarda ölçüm kaynaklı sapma iç sıcaklığa göre daha azdır. Şekil 4.24'te hesaplanan değer ile test değeri arasında farkın kabul kriterinin altında olduğu görüldü. İç sıcaklık ve dış sıcaklıkların Matriks 1 için özeti Tablo 4.5'te ki gibidir. Yağ sıcaklığı (T4), Dış tüp sıcaklığı (T12) ve ikisi arasındaki farkın 10°C'nin altında olduğu görüldü.

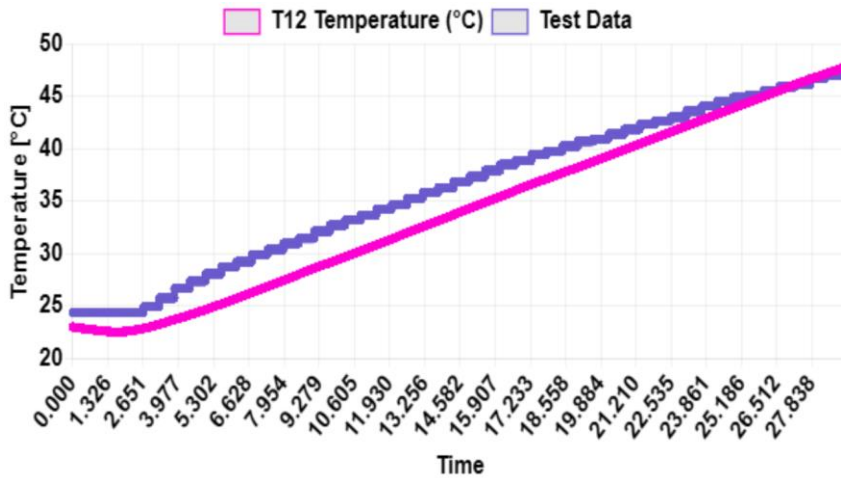
Tablo 4.5. Matriks 3 sıcaklık karşılaştırılması.

	Yağ Sıcaklığı	Dış Tüp Sıcaklığı	Dış Tüp ve Yağ Sıcaklığı Farkı
Matematik modeli	84,36 °C	67,12 °C	17,24 °C
Test sonuçları	83,96 °C	66,11 °C	17,85 °C
Fark	0,40 °C	1,01 °C	-0,61 °C

Matriks 7'de T₄ için deneysel sonuçlar ile matematik modelinin karşılaştırma sonuçları Şekil 4.25 ve T₁₂ için Şekil 4.26'da gösterildi.



Şekil 4.25. Matriks 7 T₄ için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.



Şekil 4.26. Matriks 7 T₁₂ için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.

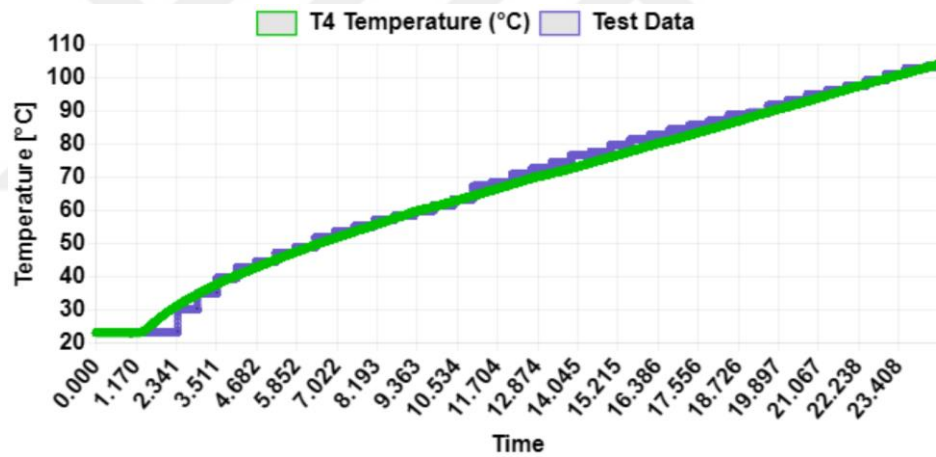
Dış sıcaklıklarda hesaplanan değerde başlangıç sıcaklığı programda 23°C olarak verilmiştir. Başlangıç anlarında grafiklerde farklılıklar mevcuttur fakat 10°C'nin altında olduğu görüldü. Belirli bir süreden sonra grafiklerde trendlerin benzer olduğu görüldü.

Tablo 4.6. Matriks 7 sıcaklık karşılaştırılması.

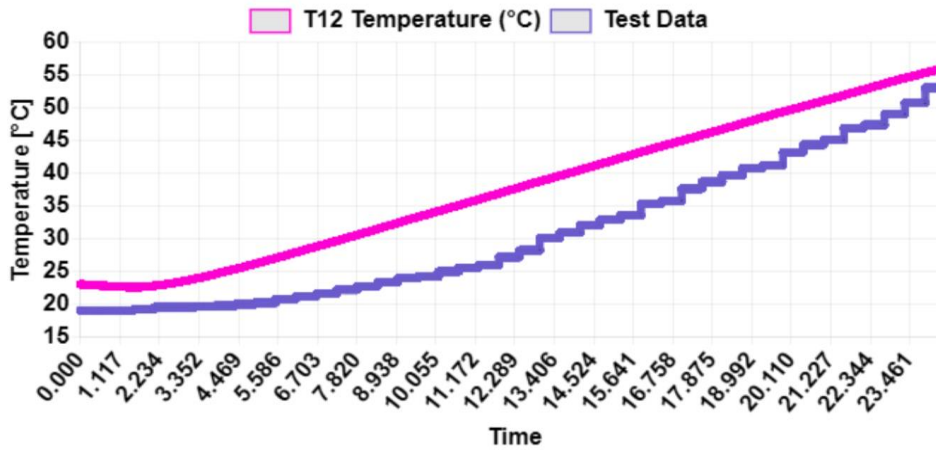
	Yağ Sıcaklığı	Dış Tüp Sıcaklığı	Dış Tüp ve Yağ Sıcaklığı Farkı
Matematik modeli	60,59 °C	47,88 °C	12,71 °C
Test sonuçları	60,26 °C	47,33 °C	12,93 °C
Fark	0,33 °C	0,55 °C	-0,22 °C

Tablo 4.6'da görüldüğü gibi hesaplama sonuçlarında sistemin kararlı hale geldiği zaman aralığında sıcaklıkların farkın 1°C'nin altında olduğu görüldü.

Matriks 9'da T₄ için deneysel sonuçlar ile matematik modelinin karşılaştırma sonuçları Şekil 4.27 ve T₁₂ için Şekil 4.28'de gösterildi.



Şekil 4.27. Matriks 9 T₄ için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.



Şekil 4.28. Matriks 9 T₁₂ için deneysel ve matematik modelinin karşılaştırma grafiği.

Tablo 4.7. Matriks 9 sıcaklık karşılaştırılması.

	Yağ Sıcaklığı	Dış Sıcaklığı	Tüp Dış Tüp ve Yağ Sıcaklığı Farkı
Matematik modeli	104,19 °C	55,41 °C	48,78 °C
Test sonuçları	103,35 °C	56,14 °C	47,21 °C
Fark	0,84 °C	-0,73 °C	1,57 °C

Tablo 4.7’de görüldüğü gibi hesaplama sonuçlarında sistemin kararlı hale geldiği zaman aralığında sıcaklıkların farkın 1°C’nin altında olduğu görüldü.

Her bir grafikte zaman aralıklarına göre sıcaklık farkları incelendiğinde 10°C’nin altında olduğu görüldü. 10°C ölçüm için kullanılan termokuplların montaj konumları ve verilerin toplanması sırasında oluşan sapmalardan kaynaklı belirlenen bir toleranstır.

Matriks 3, 7 ve 9 için deneysel ve matematiksel modelin sonuçları incelendiğinde, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

- Şekil 4.23 ve Şekil 4.25’te detaylı olarak incelendiğinde; Matriks 3’te sert valf ve Matriks 7’de ise yumuşak valf kullanıldı. Bu iki matrikste kontrol halkasındaki çentik sayısı 2’dir. Bu iki matriks incelendiğinde sert valfin hidrolik yağın daha fazla ısınmasına sebep olduğu tespit edildi.
- Matriks 3 (Şekil 4.23’te) ve Matriks 9 (Şekil 4.27’de) incelendiğinde valfin sert karakteristikiğe sahip olduğu fakat Matriks 9’da kontrol halkasındaki çentik sayısının 10 iken Matriks 3’te ise çentik sayısı 2’dir. Her iki damperin test ve matematik modeli incelendiğinde kontrol halkasındaki çentik sayısının hidrolik yağın ısınmasında bir parametre olduğu tespit edildi.
- Amortisörün hidrolik yağın sıcaklığının artmasının amortisörün sönümle kuvvetinin değeri ile orantılı olduğu görüldü. Sönümleme kuvveti ne kadar yüksek olursa hidrolik yağın sıcaklığının da artacağı görüldü. (Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’te)
- Ayrıca matematik modelinin detaylı incelenmesinde seçilen hidrolik yağın termal özelliklerinin de yağın sıcaklık artışında bir parametre olduğu tespit edildi. (Tablo 4.2’de)

KAYNAKLAR

- Andrighetto, R. (2019). *Dynamic and thermal model for hydraulic shock absorbers* [Doktora tezi]. Politecnico di Torino.
- Baalmann, H., & Lichtlein, O. (2002). *World design twin-tube dampers and struts*. ZF Sachs AG.
- Bilstein Manufacturer. (2014). *Motorsport damper systems*. <http://motorsport.bilstein.de/en/home/racingproducts/mds-formula/mds-system-formula-student/> URL adresinden 11 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Bockh, V. P., & Wetzel, H. (2011). *Heat transfer*. Springer.
- Causemann, P. (2001). *Automotive shock absorbers: Features, designs, applications*. Verlag Moderne Industrie.
- Chernukhin, R. V. (2023). Modeling of thermal preparation of shock absorbers of trucks. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 51(1), 89–95. <https://doi.org/10.3311/PPtr.20092>
- Cotur, A. E. (2010). *Araçlarda kullanılan amortisörlerin bilgisayar destekli valf tasarımı, uygulaması ve performans testleri* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Demirsoy, M. (1997). *Motorlu araçlar* (Cilt 3). İstanbul.
- Dixon, J. (2007). *The shock absorber handbook* (2nd ed.). Professional Engineering Publishing & John Wiley & Sons.
- Fangwei, X., Jinxin, C., Erming, D., Kuaidi, W., Xinshi, Y., Jun, K., & Kuidong, G. (2020). Temperature rise characteristics of the valve-controlled adjustable damping shock absorber. *Mechanics & Industry*, 21(111), 11. <https://doi.org/10.1051/meca/2020011>
- Gallardo, J. M., Soria, L., & Herrera, E. J. (2006). Investigation of service failures in automobile shock absorbers. *Engineering Failure Analysis*, 14, 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2005.06.005>
- Guo, Y., Liu, C., & Luo, B. (2013). Thermal-hydraulic modelling and analysis of hydraulic damper for impact cylinder with large flow. *Journal of Vibroengineering*, 15(3), 1208–1220.
- Haney, P. (1996). A comparison of modern racing shock absorbers. *SAE Technical Paper 962545*, 221–225. <https://doi.org/10.4271/962545>
- Hryciów, Z., Rybak, P., & Gieleta, R. (2021). The influence of temperature on the damping characteristic of hydraulic shock absorbers. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 23(2), 346–351. <https://doi.org/10.17531/ein.2021.2.14>

- LaJoie, J. C. (1996). Shock absorber performance development. *SAE Technical Paper 962551*, 255–261.
- Lienhard, J. H. (2008). *A heat transfer textbook* (3rd ed.). Massachusetts Institute of Technology.
- Motorex Manufacturer. (2005). *Lubricant technical data sheets*. http://www.owersport.pl/sklep/media/strona/img/biblioteka/1224_karty%20c%20charakterystyk.pdf URL adresinden 11 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Öhlins Manufacturer. (2011). *Inside the TTX workshop*. http://www.motorsportspares.com/files/inside_the_ttx_work_section.pdf URL adresinden 11 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Ramos, J., Rivas, A., Biera, J., Sacramento, G., & Sala, J. (2005). Development of a thermal model for automotive twin-tube shock absorbers. *Applied Thermal Engineering*, 25(11–12), 1836–1853. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.12.002>
- Reimpell, J., Stoll, H., & Betzler, J. (2001). *The automotive chassis*. Reed Elsevier & Professional Publishing.
- Simms, A., & Crolla, D. (2002). The influence of shock absorber properties on vehicle dynamic behaviour. *SAE Technical Paper 2002-01-0319*. <https://doi.org/10.4271/2002-01-0319>
- SolidWorks Corporation. (2010). *Thermal analysis user guide*. http://www.solidworks.com/sw/docs/thermal_2010_ENG_FINAL.pdf URL adresinden 11 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Talemi, H. R., Zahedi, A., & Baets, D. P. (2015). Fretting fatigue failure mechanism of automotive shock absorber valve. *International Journal of Fatigue*, 73, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2014.10.020>
- Tein Manufacturer. (2014). *Oil flow technology*. https://www.tein.co.jp/e/special/ni_toryu/ URL adresinden 11 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Warner, B., & Takheja, C. (1996). An analytical and experimental investigation of friction and gas spring characteristics of racing car suspension shock absorbers. *SAE Technical Paper 962548*, 241–254.
- Wikipedia. (2025). *Active suspension*. http://en.wikipedia.org/wiki/Active_suspension URL adresinden 11 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Wikipedia. (2025). *Amortisör*. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Amortis%C3%B6r> URL adresinden 11 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- ZF Sachs Group. (2024). *Automotive shock absorber products*. https://www.zf.com/products/en/cars/products_64249.html URL adresinden 11 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- https://www.zf.com/products/en/cars/products_64276.html URL adresinden 11 Mart 2025 tarihinde alınmıştır.
- Zhifei, W., Guangzhao, X., Hongwei, Y., & Mingjie, L. (2021). Analysis of damping characteristics of a hydraulic shock absorber. *Shock and Vibration*, 2021, Article 10. <https://doi.org/10.1155/2021/8895421>

EKLER

EK A. Javascript kodu

EK B. HTML kodu

EK C. CSS kodu



Ek A.

```
//Valve Setting
//var ValveSetting = "Soft";
var ValveSetting = "Hard";
//var GrooveSetting = "2";
var GrooveSetting = "10";
//var Tunning_Factor = 4.10; // For ValveSetting = Soft and GrooveSetting = 2
//var Tunning_Factor = 5.66; // For ValveSetting = Soft and GrooveSetting = 10
//var Tunning_Factor = 4.20; // For ValveSetting = Hard and GrooveSetting = 2
var Tunning_Factor = 5.66; // For ValveSetting = Hard and GrooveSetting = 10
// Lenght definitions for damper
var L_Sleeve = 50 * Tunning_Factor; // mm
var L_WaterJacket = 20 * Tunning_Factor; // mm
var L_Control = L_Sleeve - L_WaterJacket; // mm
// Heat transfer cooficident
var h_Ambient = 15; // W/m2.°C
var h_Oil = 500; // W/m2.°C
var h_Reservoir = 1800; // W/m2.°C
var h_Water = 400; // W/m2.°C
var k_Rod = 48; // W/m.°C
var k_Sleeve = 0.39; // W/m.°C
var k_Cylinder = 52; // W/m.°C
var k_Outer = 53; // W/m.°C
// Specific heat definitions
var c_Metal = 470; // J/kg.°C
var c_Oil = 1920; // J/kg.°C
var c_Sleeve = 1350; // J/kg.°C
var c_Reservoir = 1450; // J/kg.°C
// Weight definitions
var p_Metal = 7800; // kg/m3
var p_Oil = 829.5; // kg/m3
var p_Sleeve = 1300; // kg/m3
// Energy definitions
var eUrt1; // Joule
var eUrt2; // Joule
var a = 0.65;
var b = 1 - a;
// Components of damper definitions
var Dia_Rod_Ref = 1; // Hole piston
var Dia_Rod_Outer = 9; // Piston rod outer dia
var Dia_Sleeve_Inner = 16.25; // Sleeve inner dia
var Dia_CylinderTube_Inner = 18; // Cylinder tube inner dia
var Dia_CylinderTube_Outer = 19; // Cylinder tube outer dia
var Dia_OuterTube_Inner = 24.5; // Outer tube inner dia
var Dia_OuterTube_Outer = 26; // Outer tube outer dia
// Temperature definitions
var Delta_t;
var BoundryTemperature = 23;
var Tr = 23; // Room temperature
var Tw = 10; // Water jacket temperature
var T2 = BoundryTemperature; // Piston rod inside temperature
var T4 = BoundryTemperature; // Oil inside temperature
var T6 = BoundryTemperature; // HRS sleeve inside temperature
var T8 = BoundryTemperature; // Cylinder tube inside temperature
var T10 = BoundryTemperature; // Rezervaur inside temperature
var T12 = BoundryTemperature; // Outer tube - Water Jacket temperature
// Equation definitions
var T2_new; // for T2
var T4_new; // for T4
```

```

var T6_new; // for T6
var T8_new; // for T8
var T10_new; // for T10
var T12_new; // for T12
var t4Results = []; // for t4 result graphic
// Test result definitions
var T4_test;
var T10_test;
var T12_test;
var myChart;
var myChartT12;
// Arrays to store results
var timeResults = [];
var T4_testResults = [];
var T10_testResults = [];
var T12_testResults = [];
var T4_newResults = [];
var T10_newResults = [];
var T12_newResults = [];
document.addEventListener("DOMContentLoaded", function () {
    document.getElementById("customButton").addEventListener("click", function () {
        document.getElementById("fileInput").click();
    });
    // Dosya adını güncellemek için bir olay dinleyicisi ekleyin
    document.getElementById("fileInput").addEventListener("change", function () {
        var fileName = this.files[0] ? this.files[0].name : "";
        document.getElementById("fileName").textContent = fileName;
    });
});
function SubFunctionCalculate() {
    // Take count from inputs
    if (ValveSetting == "Hard") {
        if (GrooveSetting == "2") {
            if (20 <= T4_new && T4_new < 30) {
                p_Oil = 829.5;
                c_Oil = 1920;
                h_Oil = 500;
                h_Reservoir = 1800;
                h_Water = 400;
                a = 0.42;
            }
            else if (30 <= T4_new && T4_new < 40) {
                p_Oil = 822.5;
                c_Oil = 1960;
                h_Oil = 2800;
                h_Reservoir = 1600;
                h_Water = 440;
                a = 0.40;
            }
            else if (40 <= T4_new && T4_new < 50) {
                p_Oil = 815.5;
                c_Oil = 1990;
                h_Oil = 3100;
                h_Reservoir = 1500;
                h_Water = 420;
                a = 0.38;
            }
            else if (50 <= T4_new && T4_new < 60) {
                p_Oil = 808.5;
                c_Oil = 2030;
            }
        }
    }
}

```

```

    h_Oil = 3400;
    h_Reservoir = 1400;
    h_Water = 400;
    a = 0.36;
}
else if (60 <= T4_new && T4_new < 70) {
    p_Oil = 801.4;
    c_Oil = 2070;
    h_Oil = 4200;
    h_Reservoir = 1300;
    h_Water = 380;
    a = 0.34;
}
else if (70 <= T4_new && T4_new < 80) {
    p_Oil = 794.3;
    c_Oil = 2110;
    h_Oil = 5200;
    h_Reservoir = 1200;
    h_Water = 360;
    a = 0.32;
}
else if (80 <= T4_new && T4_new < 90) {
    p_Oil = 787.2;
    c_Oil = 2140;
    h_Oil = 6000;
    h_Reservoir = 1100;
    h_Water = 340;
    a = 0.30;
}
else if (90 <= T4_new && T4_new < 100) {
    p_Oil = 780.0;
    c_Oil = 2180;
    h_Oil = 6500;
    h_Reservoir = 1000;
    h_Water = 320;
    a = 0.28;
}
else if (100 <= T4_new && T4_new < 110) {
    p_Oil = 772.9;
    c_Oil = 2220;
    h_Oil = 7000;
    h_Reservoir = 900;
    h_Water = 300;
    a = 0.26;
}
else if (110 <= T4_new && T4_new < 120) {
    p_Oil = 765.7;
    c_Oil = 2250;
    h_Oil = 7500;
    h_Reservoir = 800;
    h_Water = 280;
    a = 0.24;
}
else if (120 <= T4_new) {
    p_Oil = 758.5;
    c_Oil = 2290;
    h_Oil = 8000;
    h_Reservoir = 700;
    h_Water = 260;
    a = 0.22;
}

```

```

    }
}
else if (GrooveSetting == "10") {
    if (20 <= T4_new && T4_new < 30) {
        p_Oil = 829.5;
        c_Oil = 1920;
        h_Oil = 2500;
        h_Reservoir = 1800;
        h_Water = 400;
    }
    else if (30 <= T4_new && T4_new < 40) {
        p_Oil = 822.5;
        c_Oil = 1960;
        h_Oil = 2800;
        h_Reservoir = 1600;
        h_Water = 440;
    }
    else if (40 <= T4_new && T4_new < 50) {
        p_Oil = 815.5;
        c_Oil = 1990;
        h_Oil = 3100;
        h_Reservoir = 1500;
        h_Water = 420;
    }
    else if (50 <= T4_new && T4_new < 60) {
        p_Oil = 808.5;
        c_Oil = 2030;
        h_Oil = 3400;
        h_Reservoir = 1400;
        h_Water = 400;
    }
    else if (60 <= T4_new && T4_new < 70) {
        p_Oil = 801.4;
        c_Oil = 2070;
        h_Oil = 4200;
        h_Reservoir = 1300;
        h_Water = 380;
    }
    else if (70 <= T4_new && T4_new < 80) {
        p_Oil = 794.3;
        c_Oil = 2110;
        h_Oil = 5200;
        h_Reservoir = 1200;
        h_Water = 360;
    }
    else if (80 <= T4_new && T4_new < 90) {
        p_Oil = 787.2;
        c_Oil = 2140;
        h_Oil = 6000;
        h_Reservoir = 1100;
        h_Water = 340;
    }
    else if (90 <= T4_new && T4_new < 100) {
        p_Oil = 780.0;
        c_Oil = 2180;
        h_Oil = 6500;
        h_Reservoir = 1000;
        h_Water = 320;
    }
    else if (100 <= T4_new && T4_new < 110) {

```

```

    p_Oil = 772.9;
    c_Oil = 2220;
    h_Oil = 7000;
    h_Reservoir = 900;
    h_Water = 300;
}
else if (110 <= T4_new && T4_new < 120) {
    p_Oil = 765.7;
    c_Oil = 2250;
    h_Oil = 7500;
    h_Reservoir = 800;
    h_Water = 280;
}
else if (120 <= T4_new) {
    p_Oil = 758.5;
    c_Oil = 2290;
    h_Oil = 8000;
    h_Reservoir = 700;
    h_Water = 260;
}
}
}
else if (ValveSetting == "Soft") {
    if (GrooveSetting == "2") {
        if (20 <= T4_new && T4_new < 30) {
            p_Oil = 829.5;
            c_Oil = 1920;
            h_Oil = 500;
            h_Reservoir = 1800;
            h_Water = 400;
            a = 0.36;
        }
        else if (30 <= T4_new && T4_new < 40) {
            p_Oil = 822.5;
            c_Oil = 1960;
            h_Oil = 800;
            h_Reservoir = 1600;
            h_Water = 390;
            a = 0.34;
        }
        else if (40 <= T4_new && T4_new < 50) {
            p_Oil = 815.5;
            c_Oil = 1990;
            h_Oil = 1100;
            h_Reservoir = 1500;
            h_Water = 380;
            a = 0.32;
        }
        else if (50 <= T4_new && T4_new < 60) {
            p_Oil = 808.5;
            c_Oil = 2030;
            h_Oil = 1400;
            h_Reservoir = 1400;
            h_Water = 370;
            a = 0.30;
        }
        else if (60 <= T4_new && T4_new < 70) {
            p_Oil = 801.4;
            c_Oil = 2070;
            h_Oil = 2200;

```



```

        h_Reservoir = 1300;
        h_Water = 360;
        a = 0.28;
    }
    else if (70 <= T4_new && T4_new < 80) {
        p_Oil = 794.3;
        c_Oil = 2110;
        h_Oil = 3200;
        h_Reservoir = 1200;
        h_Water = 350;
        a = 0.26;
    }
    else if (80 <= T4_new && T4_new < 90) {
        p_Oil = 787.2;
        c_Oil = 2140;
        h_Oil = 4000;
        h_Reservoir = 1100;
        h_Water = 340;
        a = 0.24;
    }
    else if (90 <= T4_new && T4_new < 100) {
        p_Oil = 780.0;
        c_Oil = 2180;
        h_Oil = 5500;
        h_Reservoir = 1000;
        h_Water = 330;
        a = 0.22;
    }
    else if (100 <= T4_new && T4_new < 110) {
        p_Oil = 772.9;
        c_Oil = 2220;
        h_Oil = 6000;
        h_Reservoir = 900;
        h_Water = 320;
        a = 0.20;
    }
    else if (110 <= T4_new && T4_new < 120) {
        p_Oil = 765.7;
        c_Oil = 2250;
        h_Oil = 7500;
        h_Reservoir = 800;
        h_Water = 310;
        a = 0.18;
    }
    else if (120 <= T4_new) {
        p_Oil = 758.5;
        c_Oil = 2290;
        h_Oil = 8000;
        h_Reservoir = 700;
        h_Water = 300;
        a = 0.16;
    }
}
else if (GrooveSetting == "10") {
    if (20 <= T4_new && T4_new < 30) {
        p_Oil = 829.5;
        c_Oil = 1920;
        h_Oil = 500;
        h_Reservoir = 1800;
        h_Water = 400;
    }
}

```

```

        a = 0.48;
    }
    else if (30 <= T4_new && T4_new < 40) {
        p_Oil = 822.5;
        c_Oil = 1960;
        h_Oil = 800;
        h_Reservoir = 1600;
        h_Water = 440;
        a = 0.46;
    }
    else if (40 <= T4_new && T4_new < 50) {
        p_Oil = 815.5;
        c_Oil = 1990;
        h_Oil = 1100;
        h_Reservoir = 1500;
        h_Water = 420;
        a = 0.44;
    }
    else if (50 <= T4_new && T4_new < 60) {
        p_Oil = 808.5;
        c_Oil = 2030;
        h_Oil = 1400;
        h_Reservoir = 1400;
        h_Water = 400;
        a = 0.42;
    }
    else if (60 <= T4_new && T4_new < 70) {
        p_Oil = 801.4;
        c_Oil = 2070;
        h_Oil = 2200;
        h_Reservoir = 1300;
        h_Water = 380;
        a = 0.40;
    }
    else if (70 <= T4_new && T4_new < 80) {
        p_Oil = 794.3;
        c_Oil = 2110;
        h_Oil = 3200;
        h_Reservoir = 1200;
        h_Water = 360;
        a = 0.38;
    }
    else if (80 <= T4_new && T4_new < 90) {
        p_Oil = 787.2;
        c_Oil = 2140;
        h_Oil = 4000;
        h_Reservoir = 1100;
        h_Water = 340;
        a = 0.36;
    }
    else if (90 <= T4_new && T4_new < 100) {
        p_Oil = 780.0;
        c_Oil = 2180;
        h_Oil = 5500;
        h_Reservoir = 1000;
        h_Water = 320;
        a = 0.34;
    }
    else if (100 <= T4_new && T4_new < 110) {
        p_Oil = 772.9;

```

```

        c_Oil = 2220;
        h_Oil = 6000;
        h_Reservoir = 900;
        h_Water = 300;
        a = 0.32;
    }
    else if (110 <= T4_new && T4_new < 120) {
        p_Oil = 765.7;
        c_Oil = 2250;
        h_Oil = 7500;
        h_Reservoir = 800;
        h_Water = 280;
        a = 0.30;
    }
    else if (120 <= T4_new) {
        p_Oil = 758.5;
        c_Oil = 2290;
        h_Oil = 8000;
        h_Reservoir = 700;
        h_Water = 260;
        a = 0.28;
    }
}
}
}
function MainFunctionCalculate(i) {

    Delta_t = (timeValues[i + 1] - timeValues[i]).toFixed(8);
    if (i >= timeValues.length - 1) {
        var xx = timeValues[timeValues.length - 1];
        xx = parseFloat(xx);
        Delta_t = xx.toFixed(8);
    }
    document.getElementById("Delta_t").value = Delta_t;
    document.getElementById("Test_T4").innerText = parseFloat(valueValues2[i]);
    document.getElementById("Test_T10").innerText = parseFloat(valueValues3[i]);
    document.getElementById("Test_T12").innerText = parseFloat(valueValues4[i]);
    SubFunctionCalculate();
    eUrt1 = parseFloat(document.getElementById("e1").value);
    eUrt2 = parseFloat(document.getElementById("e2").value);
    T4_test = parseFloat(document.getElementById("Test_T4").innerText);
    T10_test = parseFloat(document.getElementById("Test_T10").innerText);
    T12_test = parseFloat(document.getElementById("Test_T12").innerText);
    var V_Rod = Math.PI * Math.pow(Dia_Rod_Outer,2) * L_Sleeve * Math.pow(10, -9); // m3
    var V_Oil = Math.PI * (Math.pow(Dia_Sleeve_Inner,2) - Math.pow(Dia_Rod_Outer,2)) *
    L_Sleeve * Math.pow(10, -9); // m3
    var V_Sleeve = Math.PI * (Math.pow(Dia_CylinderTube_Inner,2) -
    Math.pow(Dia_Sleeve_Inner,2)) * L_Sleeve * Math.pow(10, -9); // m3
    var V_Cylinder = Math.PI * (Math.pow(Dia_CylinderTube_Outer,2) -
    Math.pow(Dia_CylinderTube_Inner,2)) * L_Sleeve * Math.pow(10, -9); // m3
    var V_Reservoir = Math.PI * (Math.pow(Dia_OuterTube_Inner,2) -
    Math.pow(Dia_CylinderTube_Outer,2)) * L_Sleeve * Math.pow(10, -9); // m3
    var V_Outer = Math.PI * (Math.pow(Dia_OuterTube_Outer,2) -
    Math.pow(Dia_OuterTube_Inner,2)) * L_Sleeve * Math.pow(10, -9); // m3
    var m_Rod = p_Metal * V_Rod; // kg
    var m_Oil = p_Oil * V_Oil; // kg
    var m_Sleeve = p_Sleeve * V_Sleeve; // kg
    var m_Cylinder = p_Metal * V_Cylinder; // kg
    var m_Reservoir = p_Oil * V_Reservoir; // kg
    var m_Outer = p_Metal * V_Outer; // kg

```

```

// Heat capacity calculation;
var C_Rod = c_Metal * m_Rod; // J/°C
var C_Oil = c_Oil * m_Oil; // J/°C
var C_Sleeve = c_Sleeve * m_Sleeve; // J/°C
var C_Cylinder = c_Metal * m_Cylinder; // J/°C
var C_Reservoir = c_Reservoir * m_Reservoir; // J/°C
var C_Outer = c_Metal * m_Outer; // J/°C
//Resistance calculation
var Resistance_1 = 1 / (h_Oil * 2 * Math.PI * Dia_Rod_Outer * L_Sleeve * Math.pow(10,-6));
var Resistance_2 = Resistance_1;
var Resistance_3 = 1 / (h_Oil * 2 * Math.PI * Dia_Sleeve_Inner * L_Sleeve * Math.pow(10,-6));
var Resistance_4 = Resistance_3;
var Resistance_5 = Math.log(Dia_CylinderTube_Inner / Dia_Sleeve_Inner) / (k_Sleeve * 2 *
Math.PI * L_Sleeve * Math.pow(10,-3));
var Resistance_6 = Resistance_5;
var Resistance_7 = 1 / (h_Reservoir * 2 * Math.PI * Dia_CylinderTube_Outer * L_Sleeve *
Math.pow(10,-6));
var Resistance_8 = Resistance_7;
var Resistance_9 = 1 / (h_Reservoir * 2 * Math.PI * Dia_OuterTube_Inner * L_Sleeve *
Math.pow(10,-6));
var Resistance_10 = Resistance_9;
var Resistance_11 = 1 / (h_Water * 2 * Math.PI * Dia_OuterTube_Outer * L_WaterJacket *
Math.pow(10,-6));
var Resistance_12 = 1 / (h_Ambient * 2 * Math.PI * Dia_OuterTube_Outer * L_Control *
Math.pow(10,-6));
//Temperature calculation
T2_new = T2 + (Delta_t / C_Rod) * ((T4 - T2) / Resistance_1); // T2 Piston Rod
T4_new = T4 + (Delta_t / C_Oil) * (((T2 - T4) / Resistance_2) + ((T6 - T4) / Resistance_3) +
eUrt1); // T4 Oil
T6_new = T6 + (Delta_t / C_Sleeve) * (((T4 - T6) / Resistance_4) + ((T8 - T6) / Resistance_5)); //
T6 Sleeve
T8_new = T8 + (Delta_t / C_Cylinder) * (((T6 - T8) / Resistance_6) + ((T10 - T8) / Resistance_7));
// T8 Cylinder
T10_new = T10 + (Delta_t / C_Reservoir) * (((T8 - T10) / Resistance_8) + ((T12 - T10) /
Resistance_9) + eUrt2); // T10 Reservoir
T12_new = T12 + (Delta_t / C_Outer) * (((T10 - T12) / Resistance_10) + ((Tw - T12) /
Resistance_11) + ((Tr - T12) / Resistance_12)); // T12 Outer Tube - Water Jacket
document.getElementById("T2").value = T2_new;
document.getElementById("T4").value = T4_new;
document.getElementById("T6").value = T6_new;
document.getElementById("T8").value = T8_new;
document.getElementById("T10").value = T10_new;
document.getElementById("T12").value = T12_new;
t4Results.push(T4_new);
// Deviation value for T4, T10 and T12
var Deviation_Test = (T12_test - T4_test);
var Deviation_Calculate = (T12 - T4);
var Deviation_Compare = (Deviation_Test - Deviation_Calculate) * (Deviation_Test -
Deviation_Calculate);
document.getElementById('Deviation_Test').innerText = Deviation_Test ? Deviation_Test : 0;
document.getElementById('Deviation_Calculate').innerText = Deviation_Calculate ?
Deviation_Calculate : 0;
document.getElementById('Deviation_Compare').innerText = Deviation_Compare ?
Deviation_Compare : 0;
var newText = parseFloat(T2_new);
document.getElementById('T2').value = newText ? newText : "Nan";
var newText = T4_new;
document.getElementById('T4').value = newText ? newText : "Nan";
var newText = T6_new;
document.getElementById('T6').value = newText ? newText : "Nan";

```

```

var newText = T8_new;
document.getElementById('T8').value = newText ? newText : "Nan";
var newText = T10_new;
document.getElementById('T10').value = newText ? newText : "Nan";
var newText = T12_new;
document.getElementById('T12').value = newText ? newText : "Nan";
timeResults.push(timeValues[i]);
T4_newResults.push(T4_new);
T10_newResults.push(T10_new);
T12_newResults.push(T12_new);
T4_testResults.push(T4_test);
T10_testResults.push(T10_test);
T12_testResults.push(T12_test);
}
function generateCharts() {
    createChart('chartT4new', timeResults, T4_newResults, "T4 Temperature (°C)", "rgb(0, 192, 0)");
    //T4_testResults,
    //createChart('chartT10new', timeResults, T10_newResults, T10_testResults, "T10 Temperature
    (°C)", "rgb(193, 158, 1)");
    createChart('chartT12new', timeResults, T12_newResults, "T12 Temperature (°C)", "rgb(255, 0,
    212)"); //T12_testResults,
}
var charts = {};
function updateChart(chartId, label, data, testData, name, color) {
    if (!charts[chartId]) {
        charts[chartId] = createChart(chartId, [label], [data], [testData], name, color);
    } else {
        charts[chartId].data.labels.push(label);
        charts[chartId].data.datasets[0].data.push(data);
        charts[chartId].data.datasets[1].data.push(testData);
        charts[chartId].update();
    }
}
function createChart(chartId, labels, data, testData, name, color) {
    var ctx = document.getElementById(chartId).getContext('2d');
    return new Chart(ctx, {
        type: 'line',
        data: {
            labels: labels,
            datasets: [
                {
                    label: name,
                    data: data,
                    borderColor: color,
                    borderWidth: 2,
                    fill: false
                },
                {
                    label: "Test Data",
                    data: testData,
                    borderColor: "rgb(106, 90, 205)",
                    borderWidth: 2,
                    fill: false
                }
            ]
        },
        options: {
            scales: {
                x: {
                    title: {

```

```

        display: true,
        text: 'Time',
            color: "rgba(0, 0, 0, 1)",
        font: {
            size: 24,
            weight: "bold"
        }
    },
    ticks: {
        color: "rgba(0, 0, 0, 1)",
        font: {
            size: 24,
            weight: "bold"
        },
        callback: function(value, index, ticks) {
            const label = this.getLabelForValue(value);
            const num = parseFloat(label);
            if (isNaN(num)) return label;
            return num.toFixed(3);
        }
    },
    y: {
        title: {
            display: true,
            text: 'Temperature [°C]',
                color: "rgba(0, 0, 0, 1)",
            font: {
                size: 24,
                weight: "bold"
            }
        },
        ticks: {
            color: "rgba(0, 0, 0, 1)",
            font: {
                size: 24,
                weight: "bold"
            }
        }
    },
    plugins: {
        legend: {
            labels: {
                color: "rgba(0, 0, 0, 1)",
                font: {
                    size: 24,
                    weight: "bold"
                }
            }
        }
    }
});
}

function startSimulation() {
    let index = 0;
    let interval;
    // Clear existing charts if they exist
    Object.keys(charts).forEach(key => {

```

```

        if (charts[key]) {
            charts[key].destroy();
        }
    });
    charts = {}; // Reset charts object
    interval = setInterval(() => {
        if (index < timeValues.length) {
            calculateAll(index);
            index++;
        } else {
            alert("Has been stopped")
            clearInterval(interval); // Stop the simulation
        }
    }, 1000); // Update every second
}
var closestTime = 0;
var timeValues = []; // A Column is times
var valueValues1 = []; // B Column is total energy
var valueValues2 = []; // C Column is HRS woking area temperature (oil)
var valueValues3 = []; // D Column is rezervuar temperature (oil+air)
var valueValues4 = []; // E Column is outer tube temperature
document.addEventListener('DOMContentLoaded', function () {
    document.getElementById('fileInput').addEventListener('change', function (e) {
        var loadingScreen = document.getElementById('loading');
        var content = document.getElementById('content');
        loadingScreen.style.display = 'flex';
        var file = e.target.files[0];
        var reader = new FileReader();
        reader.onload = function (e) {
            var data = new Uint8Array(e.target.result);
            var workbook = XLSX.read(data, { type: 'array' });
            var sheetName = workbook.SheetNames[0];
            var sheet = workbook.Sheets[sheetName];
            if (sheet['!ref']) {
                const range = XLSX.utils.decode_range(sheet['!ref']);
                const startRow = range.s.r;
                const endRow = range.e.r;
                const timesColumn = 'A'; // Time
                const valueColumn1 = 'B'; // Total energy input
                const valueColumn2 = 'C'; // HRS working area test temperature value (oil)
                const valueColumn3 = 'D'; // Rezervuar test temperature value
                const valueColumn4 = 'E'; // Outer tube test temperature value
                // Reset arrays
                timeValues = []; // Times input
                valueValues1 = []; // Total energy input
                valueValues2 = []; // Test value for T4
                valueValues3 = []; // Test value for T10
                valueValues4 = []; // Test value for T12
                for (let row = startRow + 1; row <= endRow + 1; row++) {
                    const timeCellAddress = timesColumn + row;
                    let timeCellValue = sheet[timeCellAddress] ? sheet[timeCellAddress].v : null;
                    if (typeof timeCellValue === 'number') {
                        timeCellValue = timeCellValue.toFixed(8); // Get 8 digits after comma
                    }
                    timeValues.push(timeCellValue);
                    const valueCellAddress1 = valueColumn1 + row;
                    const valueCellValue1 = sheet[valueCellAddress1] ? sheet[valueCellAddress1].v : null;
                    valueValues1.push(valueCellValue1);
                    const valueCellAddress2 = valueColumn2 + row;
                    const valueCellValue2 = sheet[valueCellAddress2] ? sheet[valueCellAddress2].v : null;

```

```

        valueValues2.push(valueCellValue2);
        const valueCellAddress3 = valueColumn3 + row;
        const valueCellValue3 = sheet[valueCellAddress3] ? sheet[valueCellAddress3].v : null;
        valueValues3.push(valueCellValue3);
        const valueCellAddress4 = valueColumn4 + row;
        const valueCellValue4 = sheet[valueCellAddress4] ? sheet[valueCellAddress4].v : null;
        valueValues4.push(valueCellValue4);
    }
    document.getElementById("Test_T4").innerText = parseFloat(valueValues2[1]);
    document.getElementById("Test_T12").innerText = parseFloat(valueValues4[1]);
    var minTime = timeValues[0];
    var maxTime = timeValues[-1];
    var slider = document.getElementById("slider");
    slider.min = minTime;
    slider.max = maxTime;
    // Set slider's minimum and maximum values and step
    slider.oninput = function () {
        closestTime = findClosestTime(this.value, timeValues);
        // console.log("Closest time value:", closestTime);
        document.getElementById("slider").value = closestTime;
    };
    // Set slider's minimum and maximum values and step
    slider.min = timeValues[0];
    slider.max = timeValues[timeValues.length - 1];
    slider.step = findStepSize(timeValues);
} else {
    console.error("The file does not have a specific range.");
}
setTimeout(function () {
    // A simulated waiting time
    loadingScreen.style.display = 'none'; // Hide waiting screen
    // content.style.display = 'block'; // Show content
}, 2000); // 2 second cooldown
});
reader.readAsArrayBuffer(file);
});
});
function findClosestTime(value, timeValues) {
    var closest = null;
    var minDiff = Infinity;
    for (var i = 0; i < timeValues.length; i++) {
        var diff = Math.abs(timeValues[i] - value);
        if (diff < minDiff) {
            closest = timeValues[i];
            minDiff = diff;
        }
    }
    return closest;
}
var ins = 0;
// Function to find slider step
function findStepSize(timeValues) {
    var minStep = Infinity;
    for (var i = 1; i < timeValues.length; i++) {
        var step = timeValues[i] - timeValues[i - 1];
        if (step < minStep) {
            minStep = step;
        }
    }
    return minStep;
}

```



```

}
function updateTime() {
    // console.log("updateTimeins>>>", ins)
    if (ins < timeValues.length - 2) {
        ins++;
        // console.log("ins", ins)
        MainFunctionCalculate(ins)
    }
}
function updateValues() {
    var index = timeValues.indexOf(closestTime);
    if (index == 1) {
        index = 1;
    }
    else {
        index = index - 1;
    }
    var eValue1 = valueValues1[ins + 1];
    var eValue2 = valueValues2[ins];
    var eValue3 = valueValues3[ins];
    var eValue4 = valueValues4[ins];
    document.getElementById("e1").value = eValue1 * a;
    document.getElementById("e2").value = eValue1 * b;
    document.getElementById("Test_T4").innerText = eValue2;
    document.getElementById("Test_T10").innerText = eValue3;
    document.getElementById("Test_T12").innerText = eValue4;
    T2 = T2_new;
    T4 = T4_new;
    T6 = T6_new;
    T8 = T8_new;
    T10 = T10_new;
    T12 = T12_new;
}
var currentIndex = 0;
function stepForward() {
    if (currentIndex == 0) {
        var eValue1 = valueValues1[1];
        var eValue2 = valueValues2[1];
        var eValue3 = valueValues3[1];
        var eValue4 = valueValues4[1];
        document.getElementById("e1").value = eValue1 * a;
        document.getElementById("e2").value = eValue1 * b;
        document.getElementById("Test_T4").innerText = eValue2;
        document.getElementById("Test_T10").innerText = eValue3;
        document.getElementById("Test_T12").innerText = eValue4;
    }
    if (currentIndex < timeValues.length - 1) {
        updateTime();
        updateValues();
        // Increase the index to point to the next time value
        currentIndex++;
    }
    else {
        // If reached the end of time values array, stop the interval
        clearInterval(intervalId);
        generateCharts()
    }
}
}
var intervalId; // Variable for storing intervals
var isRunning = false; // A flag to monitor whether the timer is running or not
// Function that controls the timer

```

```

function controlTimer() {
  if (document.getElementById("controlButton").innerText === "Start" ||
document.getElementById("controlButton").innerText === "Continue") {
    simulateLoading();
  }
  // Stop if the timer is running
  if (isRunning) {
    clearInterval(intervalId);
    stopLoading();
    document.getElementById("controlButton").innerText = "Continue";
    isRunning = false;
  } else { // If the timer is not running, start it
    intervalId = setInterval(stepForward, 0.1);
    document.getElementById("controlButton").innerText = "Stop";
    isRunning = true;
  }
}
var currentStep = 0; // Start step changed to 0
var loadingInterval;
function simulateLoading() {
  loadingInterval = setInterval(function () {
    if (currentIndex === timeValues.length - 1) { // Ensures currentStep does not exceed the last time
step
      clearInterval(loadingInterval);
      let progress = (currentIndex / (timeValues.length - 1)) * 100; // Calculating feed rate
      const progressText = document.getElementById('progressText');
      progressText.innerText = `Progress: %${Math.round(progress)}%`;
      // console.log("currentStep:", currentIndex); // Print currentStep value to console
      // Alert ("Upload completed!");
    } else {
      let progress = (currentIndex / (timeValues.length - 1)) * 100; // Calculating progress rate
      const progressText = document.getElementById('progressText');
      progressText.innerText = `Progress: %${Math.round(progress)}%`;
      // console.log("currentStep:", currentIndex); // Print currentStep value to console
      currentStep++;
    }
  }, 100); // Upload speed (in milliseconds)
}
function stopLoading() {
  clearInterval(loadingInterval);
}

```

Ek B.

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <link rel="stylesheet" href="style.css">
  <script src="script.js"></script>
  <!-- <link rel="stylesheet"
href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.1.3/dist/css/bootstrap.min.css"> -->
  <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/pathseg@1.2.1/pathseg.min.js"></script>
  <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/poly-decomp@0.3.0/build/decomp.min.js"></script>
  <script src="https://code.jquery.com/jquery-3.6.4.min.js"></script>
  <script src="https://unpkg.com/split-type"></script>
  <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.1.3/dist/js/bootstrap.bundle.min.js"></script>
  <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.5.1/jquery.min.js"></script>
  <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/xls/0.7.4-a/xls.js"></script>
  <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>
  <script src="https://cdn.sheetjs.com/xlsx-0.18.7/package/dist/xlsx.full.min.js"></script>
  <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/xlsx/0.16.9/xlsx.full.min.js"></script>
  <style>
    #loading {
      display: none;
      position: fixed;
      top: 0;
      left: 0;
      width: 100%;
      height: 100%;
      background-color: rgba(0, 0, 0, 0.5);
      z-index: 9999;
      justify-content: center;
      align-items: center;
    }
    #loading img {
      width: 100px;
      height: 100px;
    }
  </style>
</head>
<body>
  <div id="loading">
    
  </div>
  <header>
    <h2>Thermal Mathematical Model for Internal and External Temperature Determination in
Twin-Tube Shock Absorber
    </h2>
  </header>
  <div class="gridView">
    <div class="box left">
      <div>
        <div class="row">
          <label for="ValveSetting" class="rowLabel">Select the valve setting </label>
          <select id="ValveSetting" class="form-control" name="ValveSetting"
            style="width: 210px; height: 50px;">
            <option value="Soft">Soft</option>
            <option value="Hard">Hard</option>
          </select>
        </div>
      </div>
    </div>
  </div>
```

```

<div class="row">
  <label for="GrooveSetting" class="rowLabel">Select the groove number </label>
  <select id="GrooveSetting" class="form-control" name="GrooveSetting"
    style="width: 210px; height: 50px;">
    <option value="2">2</option>
    <option value="10">10</option>
  </select>
</div>
<div class="row">
  <label for="e1" class="rowLabel">Energy Input for Oil [ Joule ] </sub></label>
  <input id="e1" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;">
</div>
<div class="row">
  <label for="e2" class="rowLabel">Energy Input for Reservoir [ Joule ]
    </sub></label>
  <input id="e2" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;">
</div>
<div class="row">
  <div>
    <input type="file" id="fileInput" accept=".xlsx, .xls" style="display: none;" />
    <button id="customButton">Select the File</button>
    <span id="fileName" style="margin-left: 10px;"></span>
    <button id="controlButton" onclick="controlTimer()">Start</button>
    <label id="progressText" style="width: 50%; text-align: left; margin-left:
15px;">Progress: %0
    </label>
  </div>
</div>
<div class="row">
  <form oninput="updateValues()" hidden="true">
    <label> $\Delta t$  value</label>
    <br />
    <input type="range" id="slider" min="0" max="1" step="1" value="0" style="width:
100%;"
      onchange="updateTime()">
    <br />
    <output name="result" id="result" style="visibility: hidden;"></output>
  </form>
</div>
</div>
<div class="box middle">
  <div>
    <div class="row">
      <label class="rowLabel">Test result for Oil [ °C ] </label>
      <label id="Test_T4" class="resultLabel"> </label>
    </div>
    <div class="row">
      <label class="rowLabel">Test result for Cylinder Tube [ °C ] </label>
      <label id="Test_T10" class="resultLabel"> </label>
    </div>
    <div class="row">
      <label class="rowLabel">Test result for Test Point [ °C ] </label>
      <label id="Test_T12" class="resultLabel"> </label>
    </div>
    <div class="row">
      <label class="rowLabel">Deviation between Oil and Test Point for Test [ °C ]
      </label>
      <label id="Deviation_Test" class="resultLabel"> </label>
    </div>
  </div>

```

```

<div class="row">
  <label class="rowLabel">Deviation between Oil and Test Point for Calculate [
    °C ]
  </label>
  <label id="Deviation_Calculate" class="resultLabel">
  </label>
</div>
<div class="row">
  <label class="rowLabel">Compare between Test Result and Calculate Result [ °C
  ]
  </label>
  <label id="Deviation_Compare" class="resultLabel">
  </label>
</div>
</div>
</div>
<div class="box right">
  <div>
    <div class="row">
      <label for="Delta_t" class="rowLabel">Δt [ seconds ]</label>
      <input id="Delta_t" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height:
50px;" readonly>
    </div>
    <div class="row">
      <label for="T2" class="rowLabel">Piston Rod Temperature [ °C ] </label>
      <input id="T2" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
    </div>
    <div class="row">
      <label for="T4" class="rowLabel">Oil Temperature [ °C ] </label>
      <input id="T4" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
    </div>
    <div class="row">
      <label for="T6" class="rowLabel">Sleeve Temperature [ °C ] </label>
      <input id="T6" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
    </div>
    <div class="row">
      <label for="T8" class="rowLabel">Cylindert Tube Temperature [ °C ] </label>
      <input id="T8" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
    </div>
    <div class="row">
      <label for="T10" class="rowLabel">Reservoir Temperature [ °C ] </label>
      <input id="T10" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
    </div>
    <div class="row">
      <label for="T12" class="rowLabel">Outer Temperature [ °C ] </label>
      <input id="T12" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
    </div>
  </div>
</div>
<!-- <div class="chart-panel">
  <div class="gridView">
    <canvas id="chartT4new" class="chart-item"></canvas>
    <canvas id="chartT10new" class="chart-item"></canvas>
    <canvas id="chartT12new" class="chart-item"></canvas>
  </div>
</div>

```

```

    </div>
</div> -->
<div class="chart-panel">
    <canvas id="chartT4new" class="chart-item"></canvas>
    <canvas id="chartT10new" class="chart-item"></canvas>
    <canvas id="chartT12new" class="chart-item"></canvas>
</div>
</div>
<!-- <div class="content">
<div class="input-panel">
    <div class="row">
        <label for="ValveSetting" class="rowLabel">Select the valve setting </label>
        <select id="ValveSetting" name="ValveSetting" style="width: 200px; height: 50px;">
            <option value="Soft">Soft</option>
            <option value="Hard">Hard</option>
        </select>
    </div>
    <div class="row">
        <label for="GrooveSetting" class="rowLabel">Select the groove number </label>
        <select id="GrooveSetting" name="GrooveSetting" style="width: 200px; height: 50px;">
            <option value="2">2</option>
            <option value="10">10</option>
        </select>
    </div>
    <div class="row">
        <label for="e1" class="rowLabel">Energy Input for Oil [ Joule ] </sub></label>
        <input id="e1" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;">
    </div>
    <div class="row">
        <label for="e2" class="rowLabel">Energy Input for Reservoir [ Joule ] </sub></label>
        <input id="e2" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;">
    </div>
    <div class="row">
        <div>
            <input type="file" id="fileInput" accept=".xlsx, .xls" style="display: none;" />
            <button id="customButton">Select the File</button>
            <span id="fileName" style="margin-left: 10px;"></span>
            <button id="controlButton" onclick="controlTimer()">Start</button>
            <label id="progressText" style="width: 50%; text-align: left; margin-left:
15px;">Progress: %0
        </div>
    </div>
    <div>
        <div class="row">
            <form oninput="updateValues()" hidden="true">
                <label> $\Delta t$  value</label>
                <br />
                <input type="range" id="slider" min="0" max="1" step="1" value="0" style="width:
100%;"
                onchange="updateTime()">
                <br />
                <output name="result" id="result" style="visibility: hidden;"></output>
            </form>
        </div>
    </div>
</div>
<div class="row">
    <div class="row">
        <label class="rowLabel">Test result for Oil [ °C ] </label>
        <label id="Test_T4" class="resultLabel"> </label>
    </div>

```

```

<div class="row">
  <label class="rowLabel">Test result for Cylinder Tube [ °C ] </label>
  <label id="Test_T10" class="resultLabel"> </label>
</div>
<div class="row">
  <label class="rowLabel">Test result for Test Point [ °C ] </label>
  <label id="Test_T12" class="resultLabel"> </label>
</div>
</div>
<div class="row">
  <div class="row">
    <label class="rowLabel">Deviation between Oil and Test Point for Test [ °C ]
    </label>
    <label id="Deviation_Test" class="resultLabel"> </label>
  </div>
  <div class="row">
    <label class="rowLabel">Deviation between Oil and Test Point for Calculate [ °C ]
    </label>
    <label id="Deviation_Calculate" class="resultLabel"> </label>
  </div>
  <div class="row">
    <label class="rowLabel">Compare between Test Result and Calculate Result [ °C ]
    </label>
    <label id="Deviation_Compare" class="resultLabel"> </label>
  </div>
</div>
<div class="result-panel">
  <div class="row">
    <label for="Delta_t" class="rowLabel">Δt [ seconds ]</label>
    <input id="Delta_t" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
  </div>
  <div class="row">
    <label for="T2" class="rowLabel">Piston Rod Temperature [ °C ] </label>
    <input id="T2" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
  </div>
  <div class="row">
    <label for="T4" class="rowLabel">Oil Temperature [ °C ] </label>
    <input id="T4" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
  </div>
  <div class="row">
    <label for="T6" class="rowLabel">Sleeve Temperature [ °C ] </label>
    <input id="T6" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
  </div>
  <div class="row">
    <label for="T8" class="rowLabel">Cylindert Tube Temperature [ °C ] </label>
    <input id="T8" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
  </div>
  <div class="row">
    <label for="T10" class="rowLabel">Reservoir Temperature [ °C ] </label>
    <input id="T10" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
  </div>
  <div class="row">
    <label for="T12" class="rowLabel">Outer Temperature [ °C ] </label>

```

```

        <input id="T12" type="text" class="form-control" style="width: 200px; height: 50px;"
readonly>
    </div>
</div>
<div class="chart-panel">
    </script>
    <br>
    <div class="chart-container">
        <div class="chart-item">
            <canvas id="chartT4new" class="chart-item"></canvas>
        </div>
        <div class="chart-item">
            <canvas id="chartT10new" class="chart-item"></canvas>
        </div>
        <div class="chart-item">
            <canvas id="chartT12new" class="chart-item"></canvas>
        </div>
    </div>
    <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/xlsx/0.16.9/xlsx.full.min.js"></script>
    <script src="script.js"></script>
</div>
</div> -->
</body>
</html>

```


Ek C.

```
body {
    background-color: RGBA(255, 255, 255, 1) !important; //RGBA(17, 124, 191, 1)
    font-family: Arial, sans-serif;
    font-size: 1.2em !important;
    overflow-x: hidden;
    color: white !important;
}
header {
    background-color: RGBA(17, 124, 191, 1) !important;
    width: 100%;
    color: aliceblue !important;
    font-size: 1.2em !important;
    padding: 20px 0;
    text-align: center;
}
.col-lg-6,
.col-12 {
    padding: 1%;
}
.d-flex {
    display: flex;
    flex-direction: column;
}
.row {
    display: flex;
    margin-bottom: 20px;
}
p {
    font-weight: bold;
}
label {
    font-weight: bold;
}

.button_color {
    background-color: rgb(53, 138, 63);
    color: white;
    border: none;
    border-radius: 8px;
    font-size: 18px;
    padding: 10px 20px;
}
.button_color:hover {
    background-color: rgb(30, 164, 46);
}
.solutions {
    background-color: rgb(57, 57, 57);
    display: none;
    position: absolute;
}
#customButton,
#controlButton {
    width: 180px;
    height: 50px;
    margin-bottom: 5px;
    padding: 10px 20px;
    background-color: white;
    /* Beyaz arka plan rengi */
}
```

```

color: #333;
/* Metin rengi (daha koyu bir gri) */
border: 1px solid #afafaf;
/* Gri kenarlık */
border-radius: 25px;
/* Köşe yuvarlama */
cursor: pointer;
font-size: 18px;
font-weight: bold;
}
#customButton:hover,
#controlButton:hover {
background-color: #dbdbdb;
/* Hover durumunda açık gri renk */
border-color: rgb(0, 0, 0);
/* Hover durumunda kenarlık rengi */
}
#exportButton {
width: 170px;
height: 50px;
margin-bottom: 5px;
padding: 10px 20px;
background-color: white;
/* Beyaz arka plan rengi */
color: #333;
/* Metin rengi (daha koyu bir gri) */
border: 1px solid #ccc;
/* Gri kenarlık */
border-radius: 25px;
/* Köşe yuvarlama */
cursor: pointer;
}
#exportButton:hover {
background-color: #f0f0f0;
/* Hover durumunda açık gri renk */
border-color: rgb(0, 0, 0);
/* Hover durumunda kenarlık rengi */
}
.chart-container {
display: flex;
flex-direction: column;
/* Elemanları dikey (kolon) olarak hizalar */
align-items: center;
/* Elemanları yatayda ortalar */
margin: 20px auto;
width: 90%;
}
.chart-item {
min-width: 70vw;
height: 40vw !important;
}
#TextInput {
width: 50px;
height: 30px;
margin-bottom: 5px;
margin-left: 370px;
padding: 0px 0px;
background-color: white;
/* Beyaz arka plan rengi */
color: #333;

```

```
/* Metin rengi (daha koyu bir gri) */
border: 1px solid #ccc;
/* Gri kenarlık */
cursor: pointer;
}
/* sonradan eklediklerim */
.gridView {
  display: grid;
  grid-template-columns: 33.33% 33.33% 33.33%;
  width: 100vw;
}
.box {
  display: flex;
  flex-direction: column;
  color: black;
  padding-top: 20px;
  padding-left: 20px;
}
.rowLabel {
  width: 350px;
  height: 50px;
  margin-top: 14px;
}
.resultLabel {
  display: inline-block;
  width: 250px;
  height: 30px;
  padding-top: 20px;
  padding-left: 8px;
  border: 2px solid rgb(0, 0, 0);
  background-color: #f5f5f5;
  color:rgb(0, 0, 0);
  font-weight: 100;
}
.form-control{
  font-size: 18px;
  padding-left: 8px;}
```



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Fatih AYDEMİR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2012, Pamukkale, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 09.2013-06.2014 yılları arasında Dünder Makine San. Ve Tic. Ltd. Şti. firmasında Araştırma Geliştirme Mühendisi olarak çalıştım.
- 03.2015-11.2020 yılları arasında Ark Pres Emniyet Kemerleri A.Ş. firmasında Araştırma Geliştirme ve Homologasyon Uzmanı olarak çalıştım.
- 11.2020-12.2022 yılları arasında Tırsan Treyler San. Ve Tic. A.Ş. firmasında Kıdemli Ürün Geliştirme Uzmanı olarak çalıştım.
- 12.2022 yılından itibaren ZF Sachs Süspansiyon Sistemleri San. Ve Tic. A.Ş. firmasında Kıdemli Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktayım.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Aydemir, F., Karaoğlu, Ö. ve Pehlivan, H. 2025. Prediction Of Transient Internal and External Temperatures in Shock Absorbers Under Different Force Levels, *International Journal of Automotive Technology*, 12239_IJAT-25-0502.

DİĞER ESERLER:

- Aydemir, F. 2018. Investigation in Safety Belts Structure. Patent numarası: WO2018067099A2
- Aydemir, F. 2021. Yeni Bir Genişletme Etiket Montaj Sistemi. Patent numarası: 2021/011962
- Aydemir, F. 2022. Genişletme Braketi Kilit Mekanizması. Patent numarası: 2022/010773
- Aydemir, F. 2022. Modüler Genişletme Braketi. Patent numarası: 2022/010760
- Aydemir, F. 2022. Uzunamayan Araçlar için Konteyner Kilit Aparatı. Patent numarası: 2022/010779

