



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



AĞIR TİCARİ ARAÇLARIN FREN KÖRÜĞÜNDEKİ KOROZYON OLUŞUMUNUN AZALTILMASINDA DAHİLİ HAVALANDIRMA TEKNİĞİ UYGULAMASI

RECEP ÖZTEMUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı (Türkçe)

DANIŞMAN

Prof. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL, 2024



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**AĞIR TİCARİ ARAÇLARIN FREN
KÖRÜĞÜNDEKİ KOROZYON OLUŞUMUNUN
AZALTILMASINDA DAHİLİ
HAVALANDIRMA TEKNİĞİ UYGULAMASI**

RECEP ÖZTEMUR

(523220033)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı (Türkçe)

DANIŞMAN

Prof. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL, 2024

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

“Ağır Ticari Araçların Fren Körüğündeki Korozyon Oluşumunun Azaltılmasında Dahili Havalandırma Tekniği Uygulaması” isimli bu yüksek lisans tez çalışması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı’nda eğitim sürecinde hazırlanmıştır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca, tez aşamasının hazırlanması sürecinde her türlü desteğini, yardımlarını ve engin tecrübesini benden esirgemeyen, beni yönlendiren; teknik olarak zorlandığım zamanlarda teşvikleri, cesaretlendirmeleri, tavsiyeleri ve yorumları ile daima yanımda olan, bilgisini ve değerli zamanını benimle paylaşan birlikte çalışmaktan onur duyduğum danışmanım Prof. Dr. Cenk SAYIN’a ve çalışmamda kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren kıymetli Doç. Dr. Abdullah DEMİR’e teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve yüksek lisans eğitim süreci boyunca her zaman yanımda olan desteğini, sevgisini, sabrını, hoşgörüsünü ve inancını benden esirgemeyen değerli eşim Gamze ÖZTEMUR’a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarım sebebiyle kendilerine yeteri kadar vakit ayıramadığım ancak her zaman beni anlayışla karşılayan kızlarım Zeynep ve Aybüke ÖZTEMUR’a manevi desteklerinden ve sabırlarından dolayı sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

FYL-2022-10879 numaralı BAPKO projesi “Ağır Ticari Araçların Fren Körüğündeki Korozyon Oluşumunun Azaltılmasında Dahili Havalandırma Tekniği Uygulaması” desteğinden dolayı Marmara Üniversitesi’ne teşekkür ederim.

Ocak 2024

Recep ÖZTEMUR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER	viii
KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. FREN SİSTEMLERİNİN GENEL KISIMLARI, KOROZYON KARAKTERİSTİĞİ VE DAHİLİ HAVALANDIRMA SİSTEMİ	12
3.1. Havalı Fren Sistemleri.....	12
3.2. Ağır Ticari Araç Fren Sistemi	13
3.2.1. Ağır ticari araç fren sistemi komponentleri.....	14
3.2.1.1. Kompresörler.....	14
3.2.1.2. Hava kurutucu	14
3.2.1.3. Dört yollu emniyet valfi	15
3.2.1.4. Basınçlı hava tankı ve boşaltma supabı.....	15
3.2.1.5. Ayak fren pedalı ve valfi.....	16
3.2.1.6. El fren valfi.....	17
3.2.1.7. Yüke duyarlı otomatik fren sistemi valfi.....	17
3.2.1.8. Röle valfi	17
3.2.1.9. Römork kontrol valfi.....	18
3.2.1.10. Sürtünmeli frenler	18
3.2.1.10.1. Disk fren.....	18

3.2.1.10.2. Kampanalı fren.....	20
3.2.1.11. Fren silindiri (fren körüğü).....	22
3.2.1.12. Fren silindiri (körüğü) komponentleri.....	25
3.3. Korozyon Karakteristiğinin İncelenmesi.....	26
3.3.1. Elektrokimyasal faktörler	27
3.3.2. Fiziksel faktörler.....	27
3.3.3. Çevresel faktörler	27
3.3.4. Oyuk (çukur) korozyonu	29
3.4. Korozyonun Helisel (Sarmal) İmdat Yayına Etkisi.....	33
3.5. Dahili Havalandırma Sisteminin Çalışma Prensibi	35
3.5.1. Dahili (içten) havalandırma sistemi uygulaması	35
4. MATERYAL VE METOT	41
4.1. Sarmal İmdat Yayısı Üzerinde Korozyon Oluşum Sebepleri	41
4.2. İmdat Yayısı (İş Parçası) Malzemesinin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri	44
4.3. Sarmal İmdat Yayısına Uygulanan Korozyon Test Süreci ve Cihazları.....	51
4.4. Dahili Havalandırma Uygulaması Sonucu Performans Bulgularının Elde Edilme Yöntemi	56
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	61
5.1. Dahili (İçten) Havalandırma Sisteminde Bulunan Sarmal İmdat Yayısı Performans Bulguları	61
5.1.1. On altı tip imdat yayısının performans bulguları	61
5.1.2. Yirmi dört tip (normal) imdat yayısı performans bulguları	64
5.1.3. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayısı performans bulguları.....	67
5.1.4. Otuz tip imdat yayısı performans bulguları	70
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR.....	76
EKLER	79
ÖZGEÇMİŞ	92

ÖZET

AĞIR TİCARİ ARAÇLARIN FREN KÖRÜĞÜNDEKİ KOROZYON OLUŞUMUNUN AZALTILMASINDA DAHİLİ HAVALANDIRMA TEKNİĞİ UYGULAMASI

Antik çağlardan itibaren taşımacılık faaliyetleri; insan gücüyle, hayvanlarla ve akarsular ile gerçekleştirilmekteydi. Zaman içerisinde bilim insanlarının buluşlarıyla mekanik sistemler güç kaynağı olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Mekanik sistemler teknolojinin de entegrasyonu ile birlikte binek ve ticari araçların oluşmasını sağlamıştır.

Ağır ticari araçlar bir yerden başka bir yere yük taşımak için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. İhtiyaç haline gelen lojistik ve taşımacılık faaliyetleri ticari araç sektörünün gelişmesine olanak sağlamıştır. Karayolunda kullanılan ağır vasıta ticari araçların; günümüzde lojistik, hafriyat taşıma, ulaşım gibi birçok farklı sektör ve hizmet süreçlerinde kullanımının artması sonucu bu tip araçların güvenli kullanım ve sürüşlerinin sağlanması gerekmektedir.

Ağır ticari araçların tonaj olarak 15 ton ağırlığın üzerinde olması sebebiyle karayolunda seyir halinde iken yavaşlatılması ya da durdurulması istendiğinde sürücü tarafından bu işlemin en az kuvvetle gerçekleştirilmesi gerekir. Ağır ticari araçlarda fren sistemi olarak havalı fren sistemi kullanılmaktadır.

Frenleme performansını, fren sistemi elemanları ve tekerlek-yol şartları gibi faktörler doğrudan etkilemektedir. Ticari araçlarda fren performansını ve sürekliliğini etkileyen önemli faktörlerden biri kuvvet-strok eğrileridir. Ağır ticari araçların fren performansları, kuvvet-strok eğrilerine göre değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, ağır ticari araçların havalı fren sistemindeki fren körüğünün alt bileşeni olan imdat yayı üzerine etki eden korozyonun önlenmesine yönelik dahili havalandırma tekniğinin tasarlanması ve kullanımının incelenmesi amaçlanmaktadır.

Körüğün alt bileşenlerinin korozyona maruz kalmaması için; fren körüğüne atmosferden her türlü koroziv maddenin girişini engellemek amacıyla, körüğün imdat kısmında bulunan düşük basınçlı havanın servis kısmına transferinin sağlanması ya da besleme basıncına karşılık basıncın imdat yayının bulunduğu bölgeye alınması (dahili havalandırma tekniğinin uygulanması) hedeflenmektedir. Bu sayede, korozyona maruz kalan özellikle imdat yayının,

dahili havalandırma tekniğinin uygulanması sonucu ömür fonksiyonun uzaması öngörülmüştür. Korozyon oluşumu önlenmiş olan imdat yaylarının, sürüş süreçlerinde teorik olarak hesaplanmış kuvvet-strok eğri verilerini sağlaması amaçlanmaktadır.

Trafik kazaları sebebiyle hayatlarını yitiren insanların sayısı oldukça fazladır. Bu kazaların sebeplerinden öncüleri sürücülerden kaynaklı hatalar ya da aşırı hız olarak kayıtlara geçmiş olsa da diğer neden sürücülerin araç kontrolünü sağlayamayıp istenilen sürede araçları durduramamalarıdır. Bu bağlamda fren sisteminin öneminin hayati derecede olduğunu göstermektedir. Fren kuvvet-strok eğri verileri, ağır ticari aracın duruş mesafesini etkileyen etkenlerden biridir.



ABSTRACT

APPLICATION OF INTERNAL VENTILATION TECHNIQUE IN REDUCING CORROSION IN THE BRAKE CHAMBER OF HEAVY COMMERCIAL VEHICLES

Transportation services since ancient times; It was carried out with human power, animals and rivers. Over time with the inventions of scientists, mechanical systems was begun to be used as power sources. Mechanical systems together with integration of technology have enabled the formation of passenger and commercial vehicles

Heavy commercial vehicles are effectively used to transport goods from one place to another. Logistics and transportation activities which have become a necessity, have enabled the commercial vehicle industry to develop. Heavy commercial vehicles used on the highway; today, as a result of the increase in its use in many different sectors and service processes such as logistics, excavation transportation, transportation, it is necessary to ensure the safe using and driving of these types of vehicles.

Since heavy commercial vehicles weigh more than 15 tons in tonnage, when it is requested to slow down or stop while driving on the highway, this operation should be carried out by the driver with the least amount of force. Air brake system is used as brake system in heavy commercial vehicles.

Factors such as braking system components and wheel-road conditions directly affect braking performance. One of the important factors affecting the brake performance and continuity in commercial vehicles is the force-stroke curves. Brake performances of heavy commercial vehicles are evaluated according to force-stroke curves. In this study, it is aimed to design and examine the use of the internal ventilation technique to prevent corrosion acting on the power spring, which is the sub-component of the brake chamber in the air brake system of heavy commercial vehicles.

In order not to expose the components of the air brake chamber to corrosion; in order to prevent the entry of all kinds of corrosive substances from the atmosphere into the brake bellows, it is aimed to transfer the low pressure air located in the power spring part of the chamber to the service part or to take the pressure in response to the vacuum pressure to the area where the power spring is located (application of internal ventilation technique). In this way, it is foreseen

that the life function will be extended as a result of the application of the internal ventilation technique, especially the power spring which is exposed to corrosion. It is aimed to provide the theoretically calculated force-stroke curve data in the driving processes of the power springs which corrosion formation is prevented.

The number of people who lost their lives due to traffic accidents is quite high. Although the main causes of these accidents are recorded as driver-related errors or excessive speed, the other reason is that the drivers cannot control the vehicle and stop the vehicles in the desired time. This shows that the importance of the braking system is vital. Brake force-stroke curve data is one of the factors affecting the stopping distance of the heavy commercial vehicle.



SEMBOLLER

μm : Mikrometre

s : Saniye

bar : Bar

N : Newton

cm² : Santimetrekare

°C : Santigrat derece

ph : Potansiyel hidrojen

° : Derece

mm : Milimetre

KISALTMALAR

ABS : Kilitlenmeyi Önleyici Frenleme Sistemi

ALB : Yük Algılama Valfi

CF : Korozyon Yoğunluğu

DSC : Yüzey Korozyonun Derecesi

EBS : Elektronik Fren Sistemi

FE : Sonlu Elemanlar

NSS : Nötr Tuz Spreyi

SCC : Gerilmeli Korozyon Çatlaması

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Helisel yayın sarım bölgelerinin korozyon başlama süreçlerinin gösterimi	3
Şekil 2.2. Korozyon formlarının şematik gösterimi	4
Şekil 2.3. SCC için temel gereksinimler	6
Şekil 3.1. Havalı fren sistemi	12
Şekil 3.2. Disk havalı fren sistemi.....	13
Şekil 3.3. Havalı fren sistemi kompresör çeşitleri	14
Şekil 3.4. Havalı fren sistemi hava kurutucu modülleri	15
Şekil 3.5. Hava tankları ve boşaltma supabı	16
Şekil 3.6. Ayak fren pedalı ve valfi.....	16
Şekil 3.7. El fren valfi	17
Şekil 3.8. Röle valf.....	18
Şekil 3.9. Havalı disk fren	19
Şekil 3.10. Disk fren tipleri	20
Şekil 3.11. Kampanalı fren tipleri, a) simpleks, b) dubleks, c) servo, d) duo-servo, e) duo-dubleks	21
Şekil 3.12. S-Kamlı simpleks kampanalı fren konstrüksiyonu	21
Şekil 3.13. Fren silindirindeki basınçlı havanın kuvvet iletimi.....	22
Şekil 3.14. Servis fren körüğü ve bileşenleri	23
Şekil 3.15. İmdatlı fren silindiri ve bileşenleri.....	24
Şekil 3.16. İmdatlı fren silindiri komponentleri.....	26
Şekil 3.17. Korozyon türleri	28
Şekil 3.18. Çukur korozyonun diyagramı	31
Şekil 3.19. Oyuk korozyon şekilleri.....	32
Şekil 3.20. Otuz tip sarmal imdat yayı teknik ölçüleri ve kuvvet-strok grafiği	34
Şekil 3.21. Fren körüğünün imdat odası havalandırma deliği gösterimi	36
Şekil 3.22. Fren körüğünün içten havalandırma komponentleri	38
Şekil 3.23. Fren körüğünün içten havalandırma borusu ve tapası	39
Şekil 3.24. Fren körüğünün içten havalandırma valfi	40
Şekil 4.1. Fren körüğünün kesitsel olarak gösterimi	42
Şekil 4.2. Açık ve kapalı uçlu helisel yay	43
Şekil 4.3. On altı tip imdat yayı görseli.....	44
Şekil 4.4. On altı tip imdat yayı teknik verileri.....	45

Şekil 4.5. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı görseli.....	46
Şekil 4.6. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı teknik verileri	46
Şekil 4.7. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı görseli	47
Şekil 4.8. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı teknik verileri	48
Şekil 4.9. Otuz tip imdat yayı görseli.....	49
Şekil 4.10. Otuz tip imdat yayı teknik verileri	49
Şekil 4.11. Helisel yayın korozyon cihazına yerleştirilmeden görünümü.....	52
Şekil 4.12. Helisel yay yüzeyinde korozyonun başlangıç görünümü.....	53
Şekil 4.13. Sarmal imdat yayı performans test cihazı	54
Şekil 4.14. Helisel yay yüzeyinde görülen korozyon.....	55
Şekil 4.15. Helisel yay yüzeyinde görülen korozyon.....	55
Şekil 4.16. Korozyon oluşumu sonucu deformasyon görüntüleri.....	56
Şekil 4.17. Kuvvet ve strok ölçüm test sistemi	57
Şekil 4.18. Performans grafiği.....	58
Şekil 4.19. Loadcell cihazı	59
Şekil 5.1. On altı tip imdat yayı performans grafiği.....	62
Şekil 5.2. On altı tip imdat yayı performans grafiği.....	63
Şekil 5.3. On altı tip imdat yayı sarım teknik datasının strok kuvvetleri.....	64
Şekil 5.4. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı performans grafiği.....	65
Şekil 5.5. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı performans grafiği.....	66
Şekil 5.6. Yirmi dört tip imdat (normal) yayı sarım teknik datasının strok kuvvetleri.....	67
Şekil 5.7. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı performans grafiği	68
Şekil 5.8. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı performans grafiği	69
Şekil 5.9. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı sarım teknik datasının strok kuvvetleri.....	70
Şekil 5.10. Otuz tip imdat yayı performans grafiği.....	71
Şekil 5.11. Otuz tip imdat yayı performans grafiği.....	72
Şekil 5.12. Otuz tip imdat yayı sarım teknik datasının strok kuvvetleri	73

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Fren silindir tipleri için baskı kuvveti formülasyonu.....	25
Tablo 4.1. Patent tavlı, soğuk çekilmiş, alaşımsız çelik yaylık tellerin çekme dayanımları....	51
Tablo 4.2. Kimyasal analiz limitleri.....	51
Tablo 4.3. NSS deney metodu öğeleri.....	52
Tablo 4.4. Lineer cetvel teknik özellikleri	59
Tablo 4.5. Loadcell teknik özellikleri	60
EK 1-Tablo 1. On altı tip imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri	79
EK 1-Tablo 2. On altı tip imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri	80
EK 1-Tablo 3. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri ..	82
EK 1-Tablo 4. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri ..	83
EK 1-Tablo 5. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri.....	85
EK 1-Tablo 6. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri.....	86
EK 1-Tablo 7. Otuz tip imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri	88
EK 1-Tablo 8. Otuz tip imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri	90

1. GİRİŞ

Antik çağlardan itibaren taşımacılık faaliyetleri; insan gücüyle, hayvanlarla ve akarsular ile gerçekleştirilmektedir. Zaman içerisinde bilim insanların buluşlarıyla mekanik sistemler güç kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Mekanik sistemler teknolojinin de entegrasyonu ile birlikte binek ve ticari araçların oluşmasını sağlamıştır.

Ağır ticari araçlar bir yerden başka bir yere yük taşımak için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. İhtiyaç haline gelen lojistik ve taşımacılık faaliyetleri ticari araç sektörünün gelişmesine olanak sağlamıştır. Karayolunda kullanılan ağır vasıta ticari araçların; günümüzde lojistik, hafriyat taşıma, ulaşım gibi birçok farklı sektör ve hizmet süreçlerinde kullanımının artması sonucu bu tip araçların güvenli kullanım ve sürüşlerinin sağlanması gerekmektedir. Ağır ticari araçların tonaj olarak 15 ton ağırlığın üzerinde olması sebebiyle karayolunda seyir halinde iken yavaşlatılması ya da durdurulması istendiğinde sürücü tarafından bu işlemin en az kuvvetle gerçekleştirilmesi gerekir. Ağır ticari araçlarda fren sistemi olarak havalı fren sistemi kullanılmaktadır.

Trafik kazaları sebebiyle hayatlarını yitiren insanların sayısı oldukça fazladır. Bu kazaların sebeplerinden başlıcaları sürücülerden kaynaklı hatalar ya da aşırı hız olarak kayıtlara geçmiş olsa da diğer neden sürücülerin araç kontrolünü sağlayamayıp istenilen sürede araçları durduramamalarıdır. Bu da fren sisteminin önemini hayati derecede olduğunu göstermektedir. Frenleme performansını, fren sistem elemanları ve tekerlek-yol şartları gibi faktörler doğrudan etkilemektedir. Ticari araçlarda fren performansını ve sürekliliğini etkileyen önemli faktörlerden biri kuvvet-strok eğrileridir. Ağır ticari araçların fren performansları, kuvvet-strok eğrilerine göre değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, ağır ticari araçların havalı fren sistemindeki fren körüğünün alt bileşeni olan imdat yayı üzerine etki eden korozyonun kuvvet-strok eğrilerine üzerine etkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda, korozyonu önlemek için dahili havalandırma tekniğinin uygulaması üretilmiş ve kullanımı sonucundaki performans özellikleri incelenmesi amaçlanmıştır.

Körüğün alt bileşenlerinin korozyona maruz kalmaması için; fren körüğüne atmosfenden her türlü korozyif maddenin girişini engellemek amacıyla, körüğün imdat kısmında bulunan düşük basınçlı havanın servis kısmına transferinin sağlanması (dahili havalandırma tekniğinin uygulanması) hedeflenmektedir. Bu sayede, korozyona maruz kalan imdat yayının, dahili havalandırma tekniğinin uygulanması sonucu ömür fonksiyonunun uzatılması öngörülmüştür.

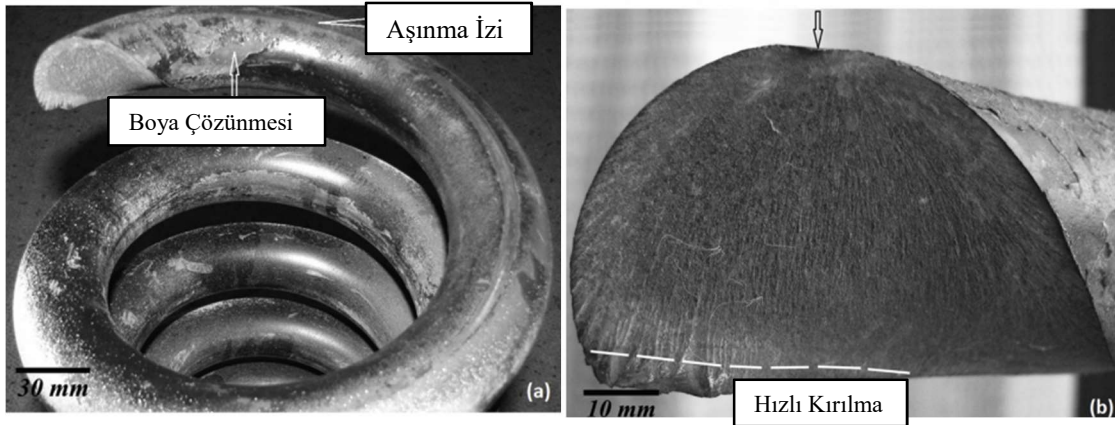
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Araç üzerinde birbirleriyle temas halinde olan malzemeler yada parçalar, üretim, nakliye ve depolama sırasında hava, yağ, nem ve diğer çevresel tehlikelerle etkileşime girebileceği gibi, araca monte edildikten ve araç hizmete girdikten sonra da birbirleriyle etkileşime girebilir. Bu nedenlerle malzemeler; zayıflayabilir, sertleşebilir, paslanabilir ve hatta kırılabilirler, malzemelerin özelliklerdeki bu fiziksel ve kimyasal değişikliklere yaşlanma süreci denir.

Literatür incelendiğinde, pnömatik fren silindirleriyle ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Wang ve ark. (2018) [1] tarafından yapılan bir çalışmada; otomotiv endüstrisi tarafından etkin olarak kullanılan helisel yaylara etki eden korozyonun yaşlanma süreçleri üzerine etkilerinin bilimsel olarak yeterli ve doğru olarak tariflenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, bu çalışma aşınmış süspansiyon yaylarının sertlik değişimlerini (rijitlik değişimleri), yay telinin kesit kaybı ve yüzey korozyonunun derecesi (DSC), korozyonun uzaysal dağılımlarını ilişkilendiren sayısal ve deneysel bir nitelik içermektedir. Diğer taraftan, helisel bir sıkıştırma yayının yük-sapma davranışı üzerindeki korozyonun hasar özelliklerinin ve etkilerinin anlaşılması amaçlanmıştır. Yayın mekanik tepkisini simüle etmek ve yaşlanma davranışını belirlemek için kullanılan bir 3D doğrusal olmayan sonlu eleman (FE) modeli geliştirilmiştir. İlgili çalışmada, otomotiv endüstrisi tarafından, yorulma hasarı üzerine önemli çalışmalar gerçekleştirildiği ve bu sebeple helisel süspansiyon yaylarına etki eden korozyon sebebiyle uzun vadeli yaşlanma ve bunun sistemler üzerindeki etkisi ele alınmıştır. Korozyon nedeniyle; telin enine kesitinin kaybı, yapısal performansta dayanım, rijitlik ve süneklik açısından ve özellikle aşınmış bölgelerde yorulma mukavemetinde önemli bir azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Korozyon geometrisi ile ilgili rijitlik kaybı (sertlikteki kayıp yüzdesi) araştırılmıştır. Korozyon derinliği veya yüzey korozyon derecesi DSC arttıkça aşınmış yayların sertlik kaybı arttığı saptanmıştır. Yüzey korozyonunun derecesi (DSC), aşınmış bir yayın sertlik değişikliğini korozyon yüzey alanı ile ilişkilendirmek için kullanılmıştır. Simüle edilmiş sonuçları ve analizde yapılan varsayımları doğrulamak için bir yay test makinesi kullanılarak yarı statik sıkıştırma testleri uygulanmıştır.

Zhu ve ark. (2014) [2] tarafından yapılan bir çalışmada; ağır ticari araçların süspansiyon sistemindeki helisel baskı yaylarının işletme esnasındaki kırılma sebepleri incelemiştir. Helisel yay üzerinde yapılan gözlemlerde aşınma izi tespiti yapılmış ve kırılmanın sebebinin aşınma izi olduğu belirlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu incelemesi sonucu hilal şeklinde yorulma işaretleri tespiti yapılmıştır. Helisel yay sarımlarının kapalı uç kısımlarının işletme sürecinde birbirine teması sonucu çinko fosfat tabakası ve boyanın aşınmasıyla birlikte

korozyon çukurlarının oluşmaya başladığı saptanmıştır. Hammadde hatası, yüzey kusurları, uygun olmayan ısıtım işlemi, korozyon ve dekarburizasyon genellikle süspansiyon yayının yorulma hatalarının bilinen nedenleri olarak sınıflandırılmıştır. Kırılma yüzeyinin fraktografik analizine, yay malzemesinin mikro yapısına ve kimyasal analizine ek olarak temas gerilimi analizi de yapılmıştır. Bobinlerin kapalı uç kısımlarının birbirine temasıyla, koruyucu boyanın ayrışması ve çinko fosfat tabakasının yırtılması sonucu korozyon oluştuğu belirlenmiştir. Temas geriliminin yorulma kırılmasında hangi rolleri oynadığını anlamak için kapalı uçların temas davranışını simüle etmek için bir sonlu eleman modeli inşa edilmiştir. Süspansiyonun aşınmasını ve korozyonunu önlemek için kapalı olmayan bir uç tasarımının benimsenmesi tavsiye edilmiştir. Gerekirse uç bobinlerin aşınma direncini arttırmak için yerel sert kaplama yada sürtünmeyi ve korozyonu büyük ölçüde azaltmak için mümkünse kapalı uçlarda katı yağlama filmi kullanımı önerilmiştir. Şekil 2.1’de helisel yay sarım bölgelerinin korozyon başlama süreçleri görülmektedir.



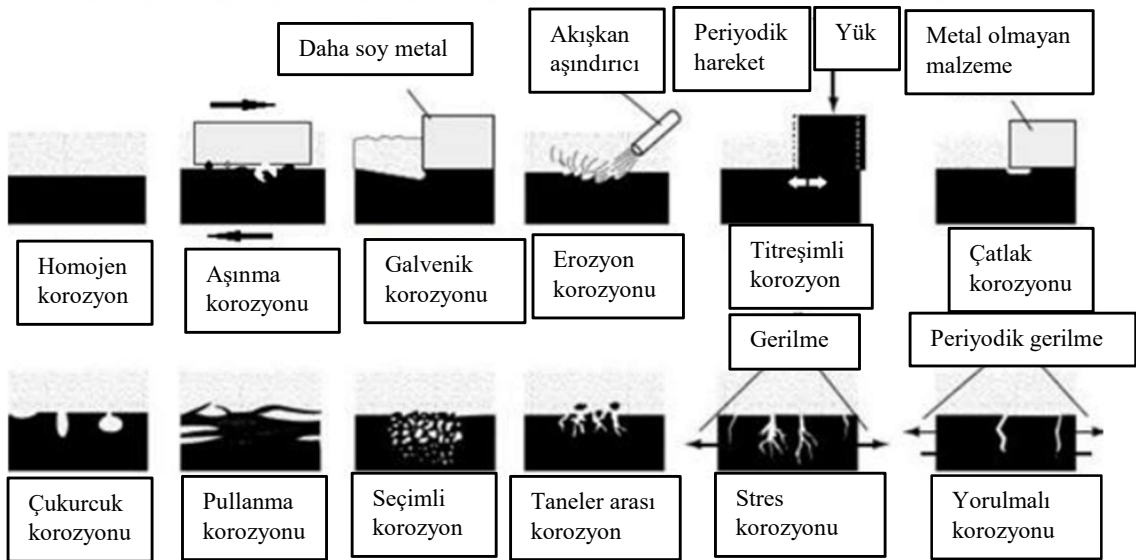
Şekil 2.1. Helisel yay sarım bölgelerinin korozyon başlama süreçlerinin gösterimi

Hernandez (2016) [3] tarafından yapılan bir araştırmada, yalnızca otomobil süspansiyon yaylarının, yay davranışı ve performansının simülasyonuna odaklanılmıştır. Bu araştırmanın amacı, bir otomobil süspansiyon yayının performansını simüle etmektir. Korozyon öncesi ve korozyon sonrası simülasyonlar karşılaştırılmıştır. Kusurları veya safsızlıkları araştırmak için yay malzemesinin mikro yapı bileşimini analiz ve şu konularda incelemelerde bulunulmuştur;

- Yaydaki korozyon mekanizmasının, neyin tetikleyebileceğini veya sebep olabileceğinin araştırılması,
- Tasarım özellikleri ile yay performansı konusunda güvenilir bir simülasyon modeli oluşturulması,

- Statik mekanik yük altındayken yay performansındaki değişimi ve korozyona bağlı malzeme gerilimi artışını belirlenmesi,
- Yayın performansındaki değişimi ölçmek için simülasyonları karşılaştırılması.

Korozyon, bir malzemenin çevreye verdiği tepkiyle ilişkilendirilmiş ve malzemenin tahribatı veya bozulması olarak tanımlanmıştır. Tüm ortamlarda belirli bir düzeyde aşındırıcı bulunmaktadır. Metalik bir bileşenin aşındırıcı bir ortamda bulunması durumunda üç olası reaksiyon temsil edilmiştir. İlk reaksiyon bağışık; malzemenin çevreden etkilenmediği ve malzeme kaybının olmadığı yerler olarak ifade edilmiştir. İkincisi olasılık, küçük ve ince bir malzeme tabakasının korozyona uğradığı ve malzeme üzerinde daha fazla aşınmayı önleyen koruyucu bir film oluşturduğu pasif olarak adlandırılan yerlerdir. Bu durumda, film kırılırsa veya çizilirse, daha fazla korozyon mevcut olabilir ve daha agresif veya hızlı korozyon meydana gelebilir. Üçüncü reaksiyon da aktif olarak adlandırılır, bu da metalin çevrede korozyona uğradığı ve çözündüğü malzeme kaybına yol açmaktadır. Bu son reaksiyonda, aşınmış alan herhangi bir koruyucu tabaka oluşturmaz ve malzeme, altındaki yeni malzemeyi ortaya çıkarmak için parçalanır olduğu ifade edilmiştir. Atmosferik korozyon esas olarak iki temel değişkene, neme ve ortam atmosferinin içeriğine bağlı olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.2’de korozyon formlarının şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 2.2. Korozyon formlarının şematik gösterimi

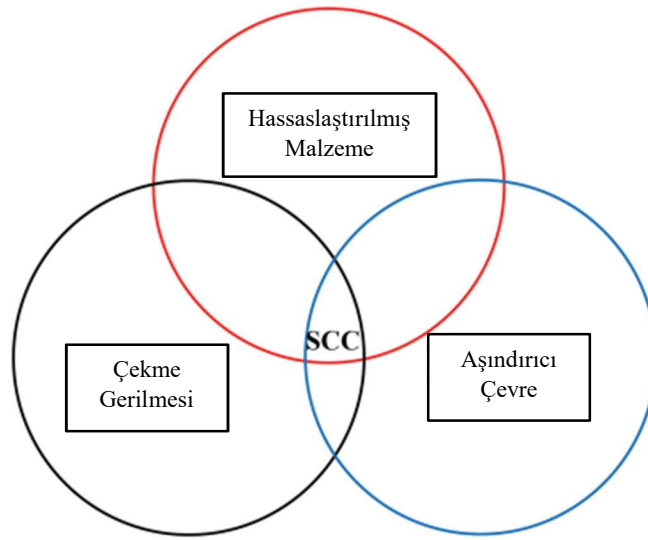
Bu çalışmada, metalik yayların korozyonu ile ilgili en yaygın arızalar, gerilmeli korozyon çatlaması (SCC) ve korozyon yorgunluğu (CF) olduğu ifade edilmiştir. Korozyon, metalik ve çelik alaşımlı malzemelerin performansı üzerinde, yalnızca malzeme elementinin kimyasal özelliklerini değil, aynı zamanda fiziksel boyutlarını da değiştirdiği için çok büyük bir etkiye

sahip olduğu bildirilmiştir. Malzemenin geometrisindeki herhangi bir değişiklik, malzeme üzerinde yeni bir mekanik gerilim etkisi yaratması beklenilir. SCC genellikle iki aşamaya ayrılır; başlama aşaması ve çatlak ilerleme aşaması. Çukur oluşumuna benzeyen çatlak oluşumu ve dağılımını analiz etmek ve belirlemek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yayın boyutlarını hesaplamak için mekanik prensipler ve teoremler hazırlanmıştır. Bir yayın simülasyon sonuçlarının; analitik gerilme değerleri, yer değiştirme ve yay hızı ile karşılaştırılmalı grafikler hazırlanmıştır. Burulma, akma mukavemeti ve nihai çekme mukavemeti gibi mekanik özelliklerin bir yay performansı için temel hesaplamalar olduğundan bahsedilmiştir. Yayın kusurları, düzensizlikleri ve çevrenin yaylar üzerindeki etkisi çoğu durumda korozyonun başlamasının nedeni olduğu ifade edilmiştir. Analiz edilen yaydaki korozyonu önlemek için koruma bariyeri olarak organik bir kaplama tabakası kullanılmış ve kalınlık değerlerinin 102-145 μm aralığında olduğu bulunmuştur. Buna rağmen, korozyon mekanizmalarının; yay yüzeyinde genel korozyon, çatlak korozyonu ve çukur korozyonu gibi oluşumların görüldüğü bildirilmiştir. Organik kaplamanın bozulmadan kaldığı ancak yayda korozyonun devam ettiği gözlemlenmiştir; korozyon kaplama tabakasının içinde ilerleyebilir olduğu belirlenmiştir. Korozyona sebebiyet verebilecek kirlilik seviyesinde önemli bir faktör olduğu vurgulanmıştır. Yapılan analizler sayesinde malzemede korozyon varlığına bağlı olarak yay performansındaki bozulmayı ortaya koymak mümkün olduğu saptanmıştır.

Yar ve ark. (2018) [4] yaptığı çalışmada, otomotiv endüstrisinde süspansiyon yayı üretimi için yaygın olarak kullanılan, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı bir çelik olan AISI 9254 (54SiCr6) analiz edilmiştir. Endüstriyel olarak üretilen çinko fosfat kaplı temperlenmiş sarmal yaylar, korozyon gelişiminin daha iyi anlaşılması için detaylı mikroyapı ve yüzey analizlerine tabi tutulmuştur. NaCl çözeltilerinde malzemenin serbest korozyon potansiyeli ve anodik/katodik davranışı araştırılmış ve korozyon yayılma mekanizmaları, kesitsel ve dış yüzeylerde potansiyostatik polarizasyon kullanılarak incelenmiştir. Hızlandırılmış testler sırasında korozyon yayılımı, belirli bir ortamdaki hasar büyümesinin mikro yapı ve inklüzyon morfolojisinden etkilendiğini belirlenmiştir. Enine kesit, çözeltiye daldırma prosesi sonrası, yönlü mikro yapı nedeniyle korozyon yayılır ve daha yüksek derinlik-genişlik oranına sahip çukurlar üretilir olduğu görülmüştür. Dış bilyalı dövme prosesi uygulanmış ve Zn-fosfatlı yüzeylerde hızlandırılmış testlerden sonra gözlemlenen korozyon çatlağı beklenen seviyede olduğu deneysel olarak ispatlanmıştır.

Khalifeh (2019)'in [5] çalışmasında, gerilme korozyon çatlaması SCC'nin ortaya çıkma koşulları araştırılmıştır. Farklı koşullarda çeşitli malzemeler için stres korozyonu çatlama

mekanizması ayrıntılı olarak incelenmiştir. Gerilme korozyon çatlaması (SCC), çekme gerilimine ve belirli bir aşındırıcı ortama maruz kalan malzemelerde çatlak oluşumu ve büyümesi olarak ifade edilmiştir. Gerilme korozyonu çatlaması, malzeme yüzeylerindeki korozyon bölgelerinden başlar ve gevrek bir şekilde ilerler. Ortamın aşındırıcılığı kırılma modunu güçlü bir şekilde etkilediğinden, çatlama süreci kesinlikle mekanik bir süreç olmadığı bildirilmiştir. Hassaslaştırılmış malzeme, belirli ortamlar ve stres, bu tür arızaların meydana gelmesi için gerekli olan üç faktördür. Her metal veya alaşım için çatlamaya eğilimli ortam özeldir çünkü tüm ortamlar SCC'yi desteklemez olduğu ifade edilmiştir. Gerekli çekme gerilmeleri; doğrudan uygulanan gerilmeler, termal veya artık gerilmeler şeklinde yada hepsinin bir kombinasyonu şeklinde uygulanabilir. Bu üç bileşenden biri olmazsa bu tip korozyon oluşmayacağı deneysel olarak ifade edilmiştir. Bu nedenle, çözüm yöntemleri bu üç faktörden birinin ortadan kaldırılmasına dayanması gerektiği bildirilmiştir. Korozif ortam modifikasyonu, sıkıştırma biçimindeki stres ve uygun malzeme kullanımı, önerilen yöntemler arasındadır. Şekil 2.3’de SCC için temel gereksinimler görülmektedir.



Şekil 2.3. SCC için temel gereksinimler

Ramarathnam ve ark. (2011) [6] tarafından yapılan çalışmada, havalı fren sistemindeki hava kaçakları için yapısal bir ilişki sunulmuştur ve kaçakların varlığında havalı fren sistemi için matematiksel bir model kullanılmıştır. Basıncılı hava sızıntılarının ve itme çubuğunun ayarsız olması gibi fren sistemindeki eksikliklerin, ağır ticari araçların karıştığı kazaların önemli bir nedeni olduğu bildirilmiştir. Havalı fren sistemlerindeki hava sızıntıları, elde edilebilecek maksimum fren basıncını azaltarak ve aynı zamanda buna ulaşmak için gereken süreyi artırarak fren performansını önemli ölçüde etkilediği ve böylece, daha uzun durma mesafelerinin elde

edileceği sonuçların doğacağı ifade edilmiştir. Ayrıca, itme çubuğunun ayarsız olması, havalı fren sisteminde hava sızıntısı olmasa bile fren torkunun kaybolmasına neden olacağı bildirilmiştir. Matematiksel modellere dayalı olarak havalı fren sistemi için tespit sistemi geliştirmeye yönelik bakış açısıyla, sızıntıların varlığında havalı fren sistemi için matematiksel bir model sunulmuştur. Havalı fren sisteminden atmosfere sızan havanın kütleel akış hızı cinsinden sızıntının miktarını tahmin eden bir şematik model sunulmuştur. Ayrıca, havalı fren sisteminde herhangi bir sızıntı olmadığında fren odası basınç ölçümlerine dayanan sabit durum itme çubuğu strok tahmin şema modeli de sunulmuştur.

Yi ve ark. (2014) [7] tarafından yayımlanan çalışmada, fren odası basıncının ölçülmesi sorununu çözmek için, bilgisayar kontrol teknolojisi kullanılarak fren odası için bütünleştirici performans test sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan test sistemiyle, dinamik karakteristik, statik karakteristik, sızdırmazlık performansı ve geri dönüş performansı verilerinin ölçümü gerçekeştirilmiştir. Sistem doğruluğunu kanıtlamak için, Amesim programına dayalı olarak fren odası için çok parametrelili bir dinamik simülasyon modeli tasarlanmıştır. Bu model, fren odasının dinamik özelliklerini simüle etmek ve farklı besleme basıncı altındaki tepki özelliklerini karşılaştırmak için kullanılmıştır ve fren sisteminin optimizasyonu için bir temel oluşturulmuştur. Daha sonra, her bir test projesinin gereksinimlerine göre sızdırmazlık performans testi, statik özellik testi, dinamik özellik testi ve geri dönüş performans testini içeren bir fren körüğu performans test sistemi tasarlanmıştır.

He ve ark. (2019) [8] araştırmasına göre, ticari araçların çekici-yarı treylerlerinde fren stabilitesi büyük önem taşıdığı bildirilmiştir. Havalı fren sisteminde frenlemenin gecikmesinin ciddi güvenlik riski oluşturduğu vurgulanmıştır. Bu gerekçeyle, fren stabilitesi optimize edilmiş yeni bir havalı fren sistemi tasarlanmıştır. Freninin gerçeke frenleme torku ile hedef fren torku arasındaki farkı kontrol etmek için bir strateji önerilmiş ve Amesim ve Simulink programına dayalı olarak simüle edilmiştir. Ayrıca, optimize edilmiş sistemin etkinliğini doğrulamak için bir deneysel bir çalışma da yapılmıştır. Simülasyon, geliştirilmiş şemanın, semi treyler fren sisteminin tepki süresini 0,19 s azalttığını ve aracın yokuş aşağı frenlemesinin yanal hareketini etkin bir şekilde kısıtladığını ve aracın fren yönünün dengesini iyileştirdiğini göstermektedir. Deney, dorsenin freninin traktörden daha erken tepki verdiğini göstermiş bu da fren gecikmesinin önemli ölçüde iyileştiği anlamına gelmiştir.

Subramanian ve ark. (2006) [9] tarafından yayımlanan makalede, fren odası basıncını pedal valfi (fren uygulama valfi) pistonunun yer değiştirmesi ve fren sistemine sağlanan havanın

basıncı ile ilişkilendirmişler. Fren odasındaki geçici basınç olaylarını tahmin etmek için de doğrusal olmayan bir model sunmuşlardır. İtme çubuklarının sızıntıları ve ayarlanmaması, havalı fren sisteminin performansını etkileyen iki belirgin kusurdur. Bu kusurlar için fren sistemini izleyecek tespit şemaları sunulmuş ve fren test çalışmalarından elde edilen deneysel verilerle desteklenmiştir. Geniş bir besleme basıncı aralığında deneysel test çalışmaları yapılmış olup, hem kaçak yokluğunda hem de kaçak varlığında tam fren uygulamaları yapılmıştır. Modelin tahminleri ile deneysel veriler her iki durumda da karşılaştırılmış ve sızıntının ortaya çıkması nedeniyle sonuçlardaki farklılıklar tespit edilmiştir. İtme çubuğu strokunun değişiminin fren odasındaki basınç geçişleri üzerindeki etkisi de uygun deneylerle incelenmiştir. İtme çubuğunun hareketini tahmin etmek için iki şema sunulmuş ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Toklucu ve ark. (2020) [10] yaptıkları deneysel çalışmada, fren sistemlerinde yetkili makamlarca onaylanan parçaların kullanılıp kullanılmadığının kontrol edilmesi yasal zorunluluktan olduğu vurgulanmıştır. Bu amaçla, genellikle sistemin etkin ve verimli çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için otomatik sızdırmazlık testi yazılımı, üretimi ve uygulamasını yapmışlardır. Test cihazı tarafından test aracı hava deposundan elde edilen basınç bilgisi test yazılımına aktarılmıştır. Yürürlükteki mevzuata göre program üzerinden test sonuçları değerlendirilerek fren sisteminde hava kaçağı olup olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, sonucunda sadece operatörün kontrolünde gerçekleşen manuel bir testin otomatik olarak yapılması sağlanmıştır. Cihazla yapılan otomatik test, operatör kaynaklı hataları ortadan kaldırmıştır. Ayrıca, testlerin güvenilirliği, iş gücü tasarrufu, ergonomi, çevre duyarlılığı artırıldığı bildirilmiştir.

Kaplan (2014)'ın [11] çalışmasında, havalı fren sistemlerinin sağlaması gerekli olan minimum koşullar yönetmelik bazında incelenmiş ve sistemde bulunan tüm elemanların çalışmaları analiz edilmiştir. Havalı fren sistemlerinin fabrika çıkışında mevcut olan güvenlik donanımları incelenmiş, bu donanımların güvenlik testlerinin yapılabilmesi için bir fren test panosu geliştirilmiştir. Havalı fren sisteminin ağır yükler altında verdiği tepkiler de incelenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlarda havalı fren sistemlerinin üretim esnasında yeterli güvenlik kriterleri ile donatıldığı, fakat kullanıcı hatası, bakım onarım aşamasında sistemin güvenliğini sağlayan parçalarının hatalı bakım ve onarımı, istiap haddinden fazla yük taşınması ya da yüksek hız gibi durumların, sistemin gerekli güvenlik reaksiyonlarını verememesine sebep olduğu tespit edilmiştir. Özellikle römork cinsi araçların karışmış olduğu kazalara yönelik yapılan incelemelerde kombi fren silindirisinin kritik önemde olduğu da tespit edilmiştir.

Çataltepe (2008) [12] çalışmasında, ticari araçlarda frenleme performansını etkileyen önemli etkenlerden biri olan fren faktörünü teorik olarak hesaplamış ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Genel itibari ile uyumlu sonuçlara ulaşmışsa da deneysel sonuçlarda bazı farklılıklar tespit etmiş, bu farklılıkların muhtemel sebeplerini aşağıdaki maddelerde belirtmiştir:

- S-kam profili geometrisinin ve etkili yarıçapının belirlenmesi,
- Balata-kampana arasındaki sürtünme katsayısının balata sıcaklığına bağlı olarak değişmesi, balata sürtünme katsayılarının doğru tespit edilmesi,
- Fren geometrisinin doğru yerleştirilmesi,
- Seçilen fren sistemi komponentlerinin uyumsuzluğu,
- Ayar kolundan kaynaklanan ayarlamalar,
- Tekerlek ile yol arasındaki sürtünme kuvvetleri,
- Test verilerinin doğruluğu,
- Uygulanan pedal kuvvetine fren sisteminin cevap verme süresi,
- Aracın frenleme verimi (frenleme torku akstan aksa nasıl dengelenmektedir),
- Sürücünün aracın stabilitesini kaybettirmeden maksimum yavaşlama ivmesi, minimum durma mesafesini sağlayacak frenleme kuvvetini fren pedalına aktarması.

Moody (2009) [13] tarafından yayımlanan tezde, Scania'nın Elektronik Fren Sistemindeki disk frenler için uygulama basıncının daha iyi ve daha kesin bir şekilde tahmin edilmesinin mümkün olup olmadığını görmek ve çözüm yolu bulunması hedeflenmiştir. Bu çalışmada, uygulanan fren basıncının belirlenmesi için tekli sinyal işleme modeli ve ikili sinyal işleme modeli olmak üzere 2 farklı yol tanıtılmıştır. Model tabanlı uygulama üzerinde çalışma yapılırken hava soğutmalı diskli fren sistemlerinin lineer olmayan özellikleri tespit edilmiştir. Güvenilir bir fren basınç değerinin belirlenmesinin ivmelenme sinyaline bağlı olduğu ispatlanmıştır. İvmelenmenin sayısal bir metotla hesaplanması seçeneğinin revize edilmesi gerekeceği vurgulanmıştır. Her bir tekerleğin ivmelenmesinin birbirinden farklı olmasının da fren basıncı ile alakalı olduğu ve dikkate alınması gerektiği, aksi takdirde gönderilen fren basıncının yeterli etkiyi gösteremeyeceği belirtilmiştir.

Bowlin ve ark. (2006) [14] tarafından yayımlanan çalışmada, havalı fren sistemleri için basınç kontrol programı geliştirmiştir. Bu araştırmada, kamyon, römork ve otobüs gibi çoğunlukla ticari araçlarda bulunan havalı fren sisteminin fren odasındaki basıncı düzenleyen bir kontrol şeması geliştirmeyi amaçlamıştır. Böyle bir kontrol şemasının; ileri çarpışma kaçınma

sistemleri, gelişmiş ABS fren sistemleri ve diferansiyel fren sistemleri gibi gelecekteki sistemler için zemin sağlayacağını belirtmiştir. Bu program pedal valf modeline göre çalıştırılmış ve kısmi fren uygulamaları sırasında basınç izlemenin yararlı olduğu kanıtlanmıştır.

Günyeli (2019)'ın [15] çalışmasında, ağır vasıta ticari araçlarda havalı fren sistemleri ile çalışan el freni sistemi incelenmiş ve geliştirilmesi önerilerek frenlemenin elektrikli el freni sistemi ile gerçekleştirildiği ve havalı fren sisteminin ise buna destekleyici olarak yedek yardımcı fren sistemi olarak çalıştığı bir faydalı model oluşturulmuştur. Geliştirilen bu elektro-pnömatik el freni sisteminde; el freni işlevi elektrik hattı ile sağlandığı ve elektrik arızası durumları için havalı fren sisteminin yedekte bekletildiği bir deney düzeneği kurulup, sistem çalıştırılmış ve sistemdeki tüm parçalar analiz edilmiştir. Bu faydalı model ile havalı el freni sistemi ve elektrikli park freni sistemi birleştirilmiş elektrikli fren ve basınçlı frenin birlikte kullanılarak tek tuşlu el freni sistemi prototipi hedeflenmiştir

Avunç (2007)'ın [16] tez çalışmasında, ağır ticari araçlarda örnek bir fren sistemi tasarlanması projesini tanımlayıp, tasarım kriterlerinin fren sistemi elemanlarının kalitesi dışında seçilen parametrelerin araç emniyet, seyir dinamiği ve kullanıcıların isteğine karşı tepki şartlarını sağlayabilecek uyumda olması gerektiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, iki dingilli araca 3. dingilin bağlanarak EBS sisteminde değişen fren performanslarını değerlendirerek, fren sistemi tasarlanmasındaki mevzuatları belirtmiştir.

Aksu (2020) [17] deneysel çalışmasında, ALB testi bir operatörün ayarlı manometre ile ALB test giriş ucuna basınç vermesi ve diğer bir operatöründe fren pedalı kuvvet uygulayarak, ön ve arka basınç değerlerini kontrol edilmesi mümkün olmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda, test cihazı ile test edilen aracın gerekli bağlantıları operatör tarafından yapıldıktan sonra, operatör kendi başına aracın şoför bölümünden hiç kalkmadan testi yapabilmesine olanak sağlamıştır. Test esnasında iki operatörün harcadığı süre tek kişi ile testin yapılabilmesi ile yarıya düşmüş, zamandan ve işgücünden kazanım sağlanmıştır. Analog manometreler düşme, çarpma vb. dış etkenlere karşı hassas olması sebebi ile yaşanabilecek ölçüm hataları, basınç sensörlerinin kullanımı ile minimize edilmiş ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, ağır ticari araçların fren körüğündeki korozyon oluşumunu ve oluşan korozyonun deneysel ve teorik olarak inceleyen kapsamlı bir araştırmanın yapılmadığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında, ağır ticari araçların havalı fren sistemindeki fren körüğünün alt bileşeni olan imdat yayı üzerine etki eden korozyonun sebep olduğu kuvvet-strok

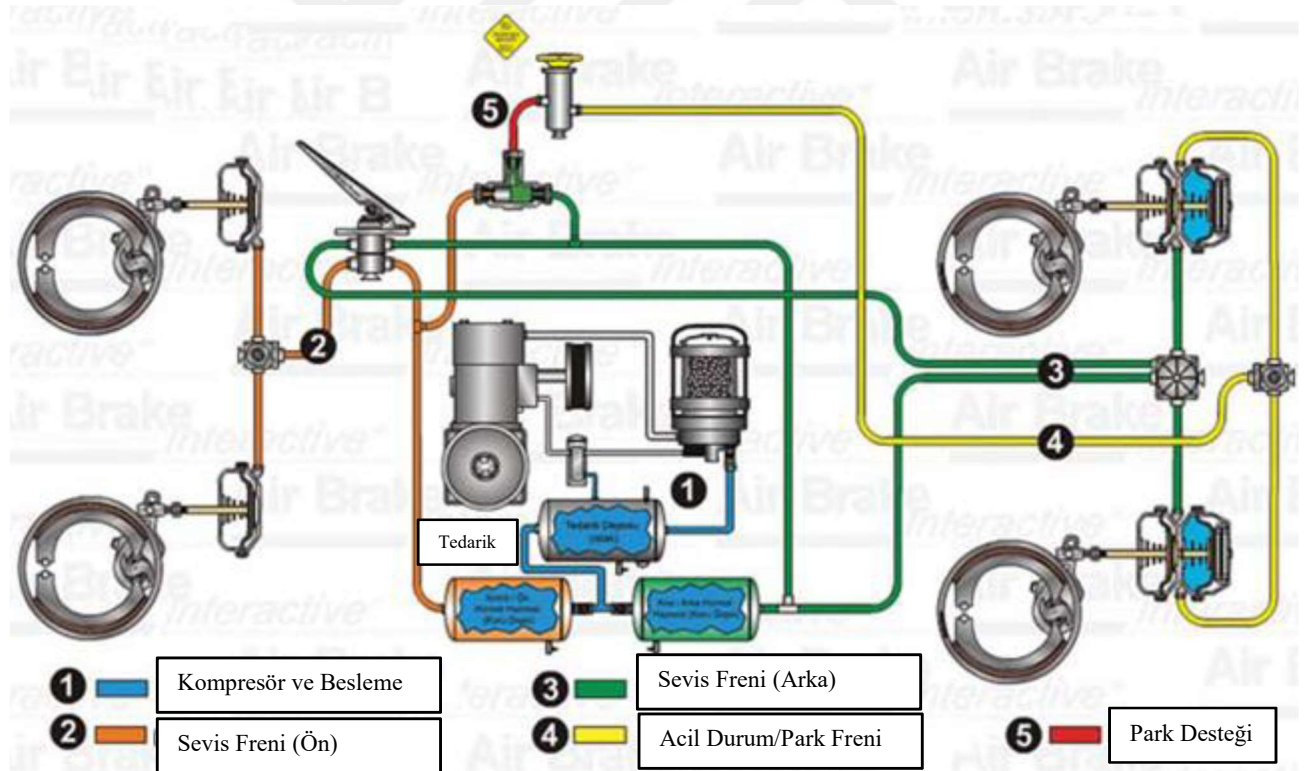
eğrilerinin değişimi ve korozyonu azaltılması yada önleme yöntemi olarak dahili havalandırma tekniğinin önerilmesi ve deneysel verilerin incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede, literatüre katkıda bulunmak ve gelecekte bu konuyla ilgili yapılacak olan çalışmalara bir temel oluşturması amaçlanmaktadır.



3. FREN SİSTEMLERİNİN GENEL KISIMLARI, KOROZYON KARAKTERİSTİĞİ VE DAHİLİ HAVALANDIRMA SİSTEMİ

3.1. Havalı Fren Sistemleri

Şekil 3.1 ve 3.2’de gösterilen s-kam ve disk havalı fren sisteminde [18], motorun çalışmasıyla birlikte kompresör tarafından ortamdan emilip sıkıştırılan hava, kurutucuya iletilir, hava bu ünite de su buharından, yağdan ve diğer atıklardan temizlenir. Bu prosten sonra hava tanklarda depolanır. Depolardaki havanın basıncı, basınç ayar supabı (emniyet supabı) ve kompresör regülatörünün çalışması ile kontrol altında tutulur. Basınç düşük olduğunda aracı hareket ettirmek imkânsızdır. Aracın frenine basıldığı zaman pedalın altında bulunan fren supabı çalışır. Basınçlı havanın ön ve arka fren odalarına gitmesine müsaade eder. Basınçlı havanın itme kuvvetinden faydalanarak fren pabuçlarının kampanaya ya da disk yüzeyine doğru açılmasını ve frenleme yapılmasını sağlar. Frenleme sona erdiğinde, hava hızlı bir şekilde boşalarak fren tekerlek mekanizmasının serbest hale geçmesini sağlar. Böylece, sistem tekrar frenleme yapılmasına hazır hale gelir.



Şekil 3.1. Havalı fren sistemi



Şekil 3.2. Disk havalı fren sistemi

- Havalı fren sistemi gücünü kompresör yardımı ile hava basıncını arttırarak çalışırken, hidrolik fren sistemlerinde kompresöre ihtiyaç olmadan mekanik çalışma görülür.

-Hidrolik fren sisteminde yüksek pedal kuvveti gerekirken, havalı fren sisteminde kaldırma mantığı ve sıkıştırılan hava kullanıldığından daha düşük pedal kuvveti ile frenleme kolaylıkla sağlanmaktadır.

-Her iki sistemde yüksek frenleme sağlanabilmektedir. Ancak yöntemleri farklıdır.

-Hidrolik fren sistemi maliyeti havalı fren sistemi ile kıyaslandığında, havalı fren sisteminin daha yüksek maliyetli olduğu tespit edilmiştir.

3.2. Ağır Ticari Araç Fren Sistemi

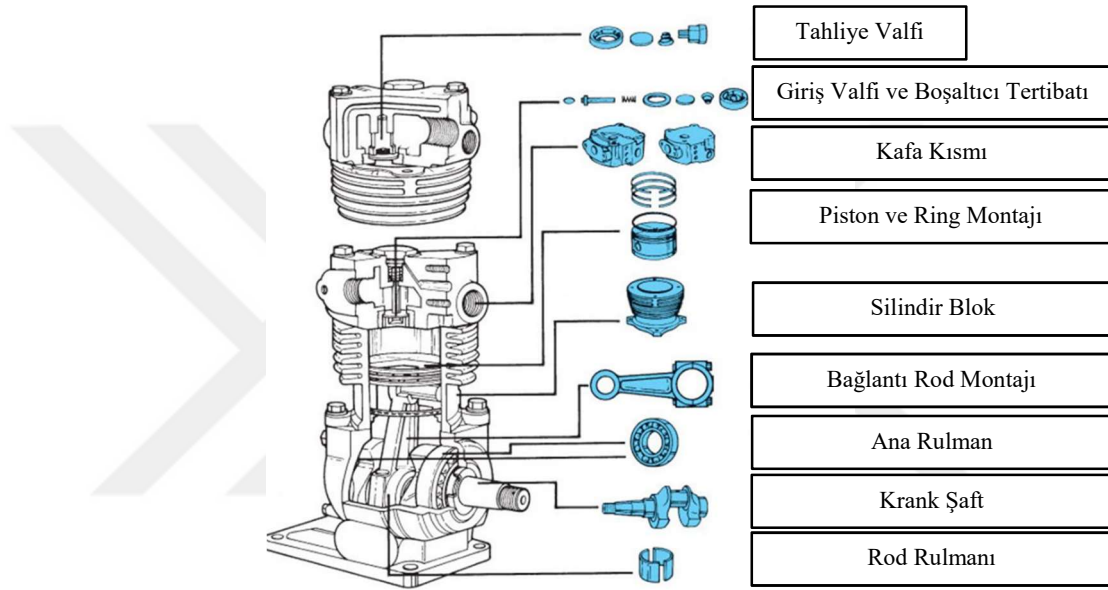
Fren sistemi, motorlu taşıtın yavaşlamasını ve durmasını sağlayan ve güvenli bir sürüş için araçta bulunan önemli donanımlardan biridir. Yokuş aşağı inen taşıtın hız kazanmasını önlemek, duran taşıtın da bu durumunu sürdürmesini sağlayan sürüş kontrol sistemine fren sistemi denilmektedir. Taşıt, hızlı ve güvenli bir biçimde her türlü iklim ve yol şartlarında durabilme yeteneğine sahip olmalıdır. Bu nedenle, bir taşıtın fren sisteminden, çok yüksek güvenilirlik ve dayanıklılık beklenmektedir. Araçların ağırlık ve sürat kapasitelerinin zamanla arttırılması, ağır vasıta araçlarda yüksek fren kuvvetlerine gereksinim duyulmasına sebep olmuştur. Bu yüzden, özellikle yüksek hacimli ve hızlı araçlarda fren sistemleri gün geçtikçe gelişen teknoloji ile daha da geliştirilmektedir [19].

Basınçlı hava fren sistemleri dört farklı bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; ayak frenleme sistemi, el freni sistemi, basınçlı hava besleme ünitesi ve sürekli frenleme sistemidir. Bu sistemler detaylı olarak aşağıda anlatılmıştır [15].

3.2.1. Ağır ticari araç fren sistemi komponentleri

3.2.1.1. Kompresörler

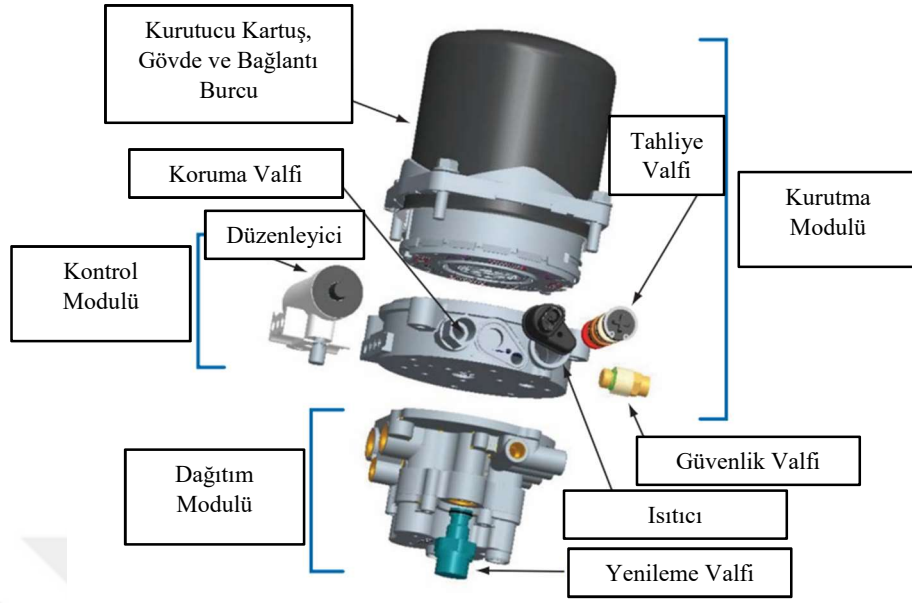
Şekil 3.3’de gösterilen kompresör [20], ortamdan aldığı havanın basıncını yükselterek, bir tankta depolanmasını sağlar. Basınçlı havayı üreten ve aktaran parçadır. Havalı fren sistemlerinde pistonlu kompresörler kullanılmaktadır.



Şekil 3.3. Havalı fren sistemi kompresör çeşitleri

3.2.1.2. Hava kurutucu

Hava kurutma olayının prensibi, moleküler bir süzgeçte gerçekleşen emilim olayıdır. Şekil 3.4’de gösterilen çok sıkı yerleştirilmiş granüllerden oluşan kurutucudan, basınçlı hava geçer. Bu esnada, havanın içerisinde bulunan su buharı, kurutucunun üst yüzeyine bağlanır. Ardından, kurutucunun rejenere edilebilmesi için kurutulmuş havanın bir kısmı atmosfer basıncına genişletilir ve kurutucunun içerisine ters istikamette gönderilir. Bu basınç düşüşü sebebiyle rejenerasyon havasının içerisinde bulunan su buharının kısmi basıncı düşer. Bu sayede, rejenerasyon havası, kurutucunun içerisinde bulunan nemi alabilecek hale gelir. Kompresörün emdiği havanın içerisinde buhar formunda su bulunur. Su buharı miktarı, o andaki sıcaklığa ve havadaki bağıl nem oranına bağlıdır. Bundan dolayı, kompresör; hava ile su buharından oluşan bir karışımı sıkıştırır.



Şekil 3.4. Havalı fren sistemi hava kurutucu modülleri

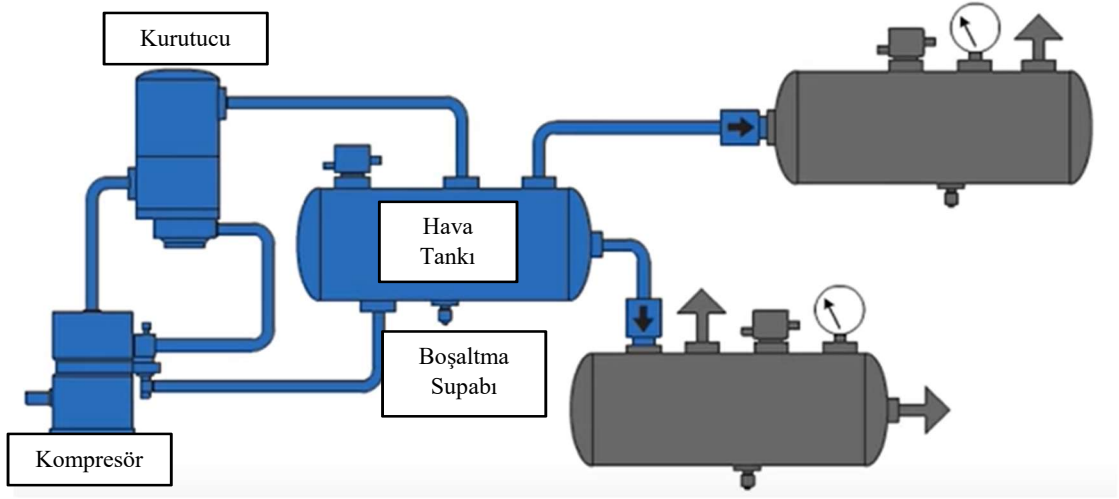
3.2.1.3. Dört yollu emniyet valfi

Kamyon ve çekicilerde genellikle 4 yollu emniyet valfi kullanılır. Bu parça, basınçlı havayı sistemde bulunan dört alt devreye dağıtır. Hava, öncelikli olarak servis freninin ilk ikisine (ön aks ve arka aks devrelerine) dağıtılır. Diğer ikisi de römork freni devresi, el freni devresi ve ilave sistemlere (örneğin süspansiyon sistemi) basınç emniyet devrelerine dağıtır.

3.2.1.4. Basınçlı hava tankı ve boşaltma supabı

Şekil 3.5’de gösterilen fren sistemlerindeki hava tankları [21] basınçlı hava depolamanın yanı sıra mevcut hava kurutucuya ek olarak yoğunlaşmış suyu toplama görevini de yerine getirir. Fren çevrimlerinde sıkışıp ısınan hava zamanla hal değiştirip yoğunlaşarak suya dönüşebilir. Bu oluşan su, fren çevrimlerine zarar verip frenlemeyi olumsuz etkilemektedir. Hava tankları, havayı depolamaya ek olarak, yoğunlaşan sıvıyı toplama görevini de üstlenmiştir.

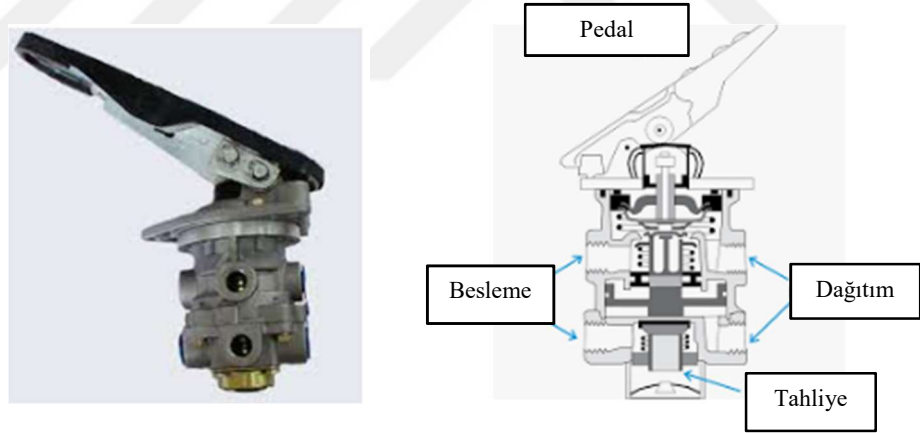
Supabın halkası çekildiğinde, supap pimi yana doğru hareket ederek yerinden çıkar ve supap tablasını supap yuvasından çıkartır. Böylece, çıkış açılır ve yoğunlaşmış su dışarı atılır [22].



Şekil 3.5. Hava tankları ve boşaltma supabı

3.2.1.5. Ayak fren pedalı ve valfi

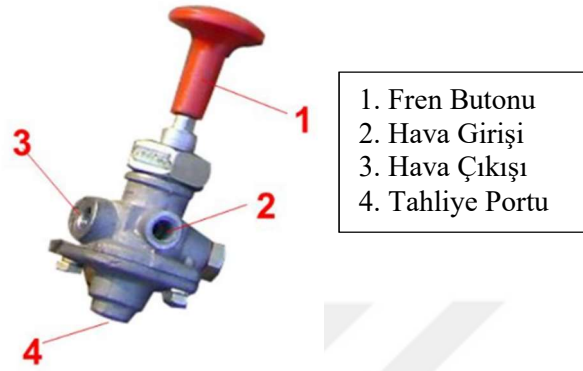
Şekil 3.6'da gösterilen fren pedalı valfi [23] bir ayak pedalı ve buna bağlı olarak çalışan bir valften oluşur. Pedala basma miktarı ile orantılı olarak depodan fren sistemine geçen havanın basıncını düzenler. Aynı zamanda, frenlemenin tatbik edilmesi sırasında, frenleme ile orantılı olarak sürücü ayağına bir reaksiyon verir.



Şekil 3.6. Ayak fren pedalı ve valfi

3.2.1.6. El fren valfi

Şekil 3.7’de gösterilen el fren valfi [24], aracın park halinde durmasını sağlar, bunun için sistemde bulunan basınçlı havayı tekerleklerle aktarır ve tekerlekler kilitlenerek park frenini gerçekleştirmiş olur. Sistemdeki basınçlı havanın silindirlere transferini gerçekleştiren tek yönlü valftir.



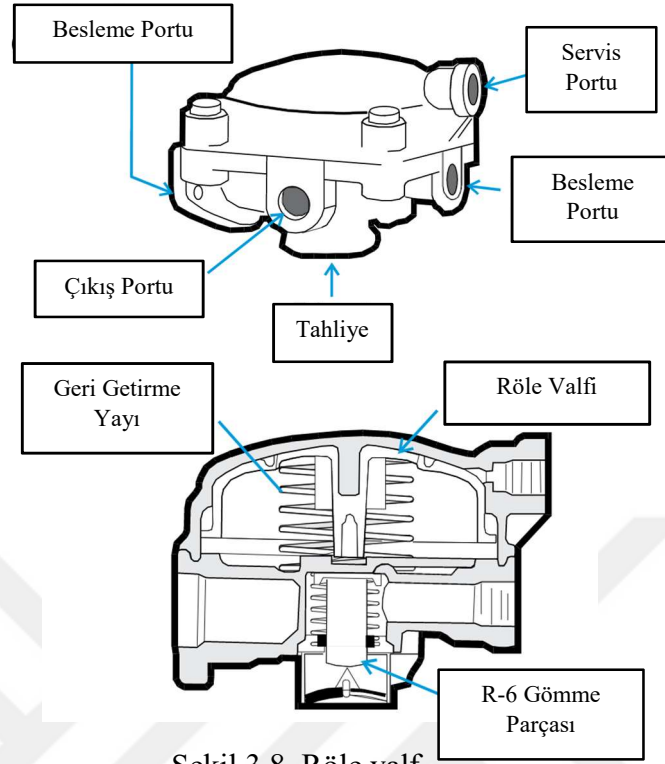
Şekil 3.7. El fren valfi

3.2.1.7. Yüke duyarlı otomatik fren sistemi valfi

Ağır ticari araçların, boş ve dolu ağırlıkları arasındaki fark çok büyük olduğundan genellikle taşıtın azami yüküne göre tasarlanmış olan fren sisteminin, taşıt boş durumunda iken gereğinden fazla fren yapmasını önlemek ve uygun frenleme oranını sağlamak amacıyla sisteme dahil edilen valf, taşıt yüküne duyarlı olarak mekanik ve pnömatik kontrollü, kuvvet algılayıcı valftir [25]. Yük algılama valfi (ALB), fren basıncını ve dolayısıyla fren kuvvetini aracın yüküne göre otomatik olarak uyarlama amacına hizmet eder. Yüke duyarlı otomatik fren sistemi (ALB) valfleri ya da fren kuvveti regülatörü, kuru yolda aracın mümkün olan en yüksek yavaşlama ivmesi ile tekerlerin bloke olmadan frenlemesini sağlayan elemandır. Bir araçtaki fren merkez silindirinin etkili yüzey alanı değiştirilemeyeceği için, fren kuvveti, ancak fren silindirine gönderilen fren basınçları ayarlamak sureti ile değiştirilebilir. Sürücüden bağımsız çalışan bu valf kullanılarak fren basıncı değiştirilebilir [22].

3.2.1.8. Röle valfi

Şekil 3.8’de gösterilen röle valfi [26], büyük fren silindirlerinin kısa sürede doldurulup boşaltılması gereken fren sistemlerinde kullanılır [27]. Genellikle römork fren sistemlerini beslemek için ve kombi fren silindirlerini hızlı bir şekilde doldurup boşaltmak amacıyla kullanılır. Valf fren merkez silindirinin ortasına mümkün olduğu kadar yakın bir konuma monte edilmelidir [26].



Şekil 3.8. Röle valf

3.2.1.9. Römork kontrol valfi

Görevi, römorkları kontrol etmektir. İki servis fren devresi ve bir park fren devresi ile beraber çalışırlar. Fren sistemi kullanım basıncı 8,5 bar'dır. Fren hattının kopması veya yırtılması halinde, sistemdeki kısıcıcı valf, römork kontrol valfinin, römorku hızlı bir şekilde frenlemesine olanak sağlar. Bu kısıcıcı supap olmasaydı fren hattının kopması veya yırtılması halinde, römork kumanda supabının, konum değiştirip, römorku frenleyebilmesi için öncelikle depo hattındaki basıncın, römork kontrol valfinin tepki vereceği basınç değerine düşmesi gerekirdi ki buda güvensizliğe sebep olacaktır. Kısıcıcı valf, fren hattının kopması halinde depo hattındaki basıncı hızlı bir şekilde düşürür [26].

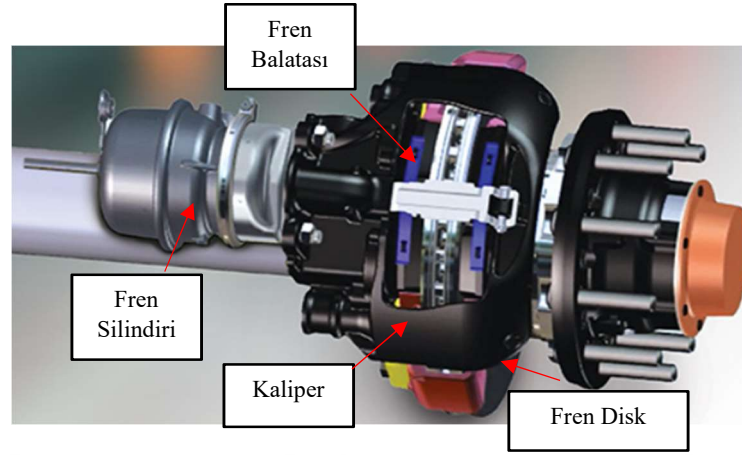
3.2.1.10. Sürtünmeli frenler

Aracın yavaşlaması yada durması amacıyla tekerlek freni olarak sürtünmeli frenler kullanılmaktadır. Sürtünmeli frenler de disk fren ve kampanalı fren olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.2.1.10.1. Disk fren

Disk frenlerde prensip olarak eş eksenli monte edilmiş metal bir disk tekerlek ile birlikte dönmektedir. İç kısmında bulunan balata ve semer adı verilen düzenek ile disk genellikle her

iki yanından sıkıştırılarak, tekerlek dönme yönüne ters bir moment etkisi ile taşıt frenlenmektedir. Şekil 3.9’da [28] havalı bir disk fren gösterilmiştir.

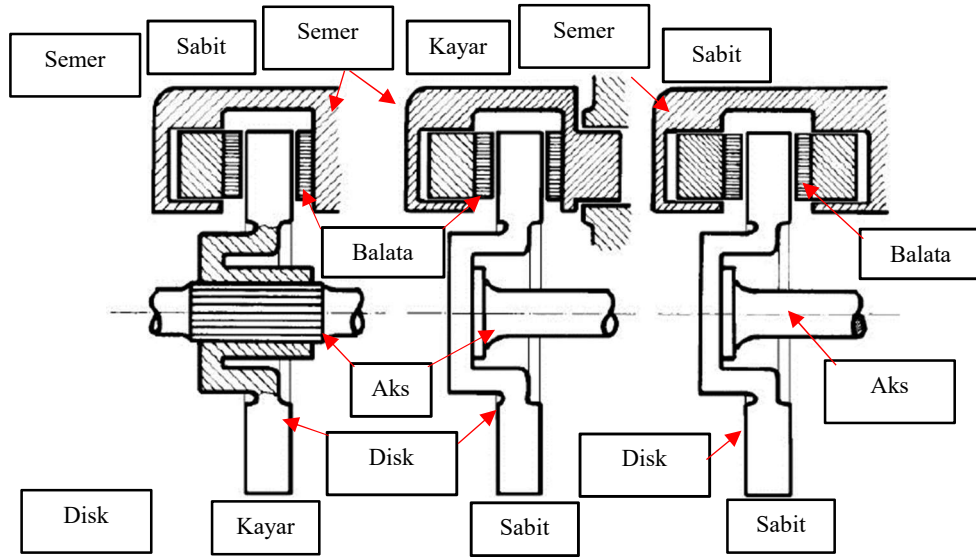


Şekil 3.9. Havalı disk fren

Disk frenlerde, taşıtın hareketi sırasında tekerlek ile birlikte dönmekte olan diskin içi dolu ya da içten havalandırılmalı olarak imal edilirken; fren sırasında diskin soğuması açısından içi havalandırılabilen diskler daha iyi sonuç vermektedir. Disk fren uygulamalarında, balataların diski her iki yönden sıkıştırabilmesi için ya diskin, ya semerin ya da her iki balatanın eksenel yönde hareketli olması gerekir. Bu yüzden, 3 farklı tip disk fren mevcuttur;

- a) Semer sabit, disk hareketli (kayar)
- b) Semer kayar, disk sabit,
- c) Semer sabit, disk sabit (sadece balatalar eksenel hareket eder)

Disk frenin kullanılmaya başlandığı ilk yıllarda semer ve diskin sabit olduğu disk fren kullanılırken, günümüzde kayar semerli tip disk fren daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm disk fren tiplerinde balatalar aşınmakta ve bir boşluk ayarı gerektirmektedir. Bu ayarın yapılması ile balatalar diske daha yakın kalabilmekte ve gecikme süreleri kısaltılmaktadır. Şekil 3.10’da [29] üç tipteki disk freninin konstrüksiyonu görülmektedir.

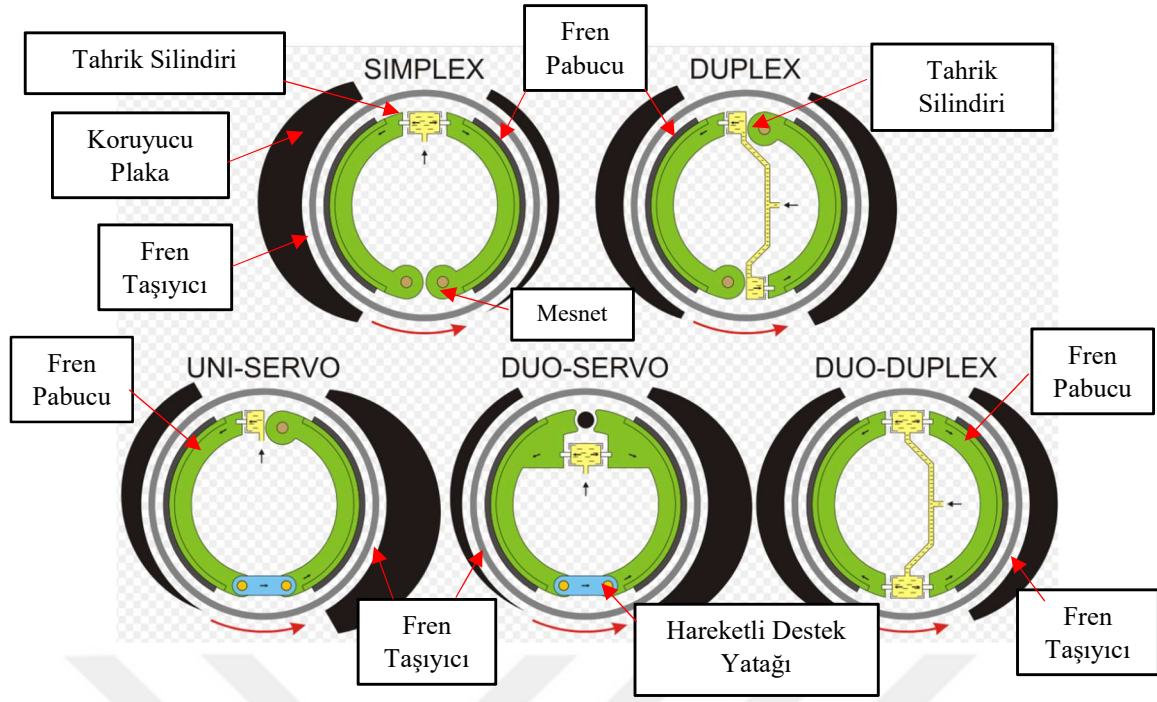


Şekil 3.10. Disk fren tipleri

3.2.1.10.2. Kampanalı fren

Kampanalı frenlerde frenlenen yüzey silindriktir ve karayolu taşıtlarında içten pabuçlu olan kampanalı frenler kullanılmaktadır. Kampanalı fren, işletme şartlarının gerektiği mukavemete sahip ve ısıl özellikleri sağlayan kampana, pabuç, baskı düzeni ve taşıma düzeni elemanlarından oluşur. Kampanalı frende baskı düzeni, balatarın üzerine monte edilmiş olma pabuçları, kampanaya doğru sıkıştırma işlevini görürken, kampanayı çepeçevre sararak iç kısmın kirlenmesini de önlemiş olur.

Kampanalı frenin pabuç konumları ve bunların birbirleri ile olan etkileşimlerine göre simpleks, dubleks, servo, duo-dubleks ve duo-servo olmak üzere beş farklı tip konstrüksiyonu vardır. Şekil 3.11’de [30] farklı tipte kampanalı frende şematik olarak gösterilmiştir. Simpleks olarak adlandırılan kampanalı frende şekilde görüldüğü gibi pabuçların biri balatadan mafsala, diğeri ise mafsaldan balataya doğru etki yapmaktadır. Dubleks ve servo tipinde pabuçlar balatadan mafsala doğru etkilemektedir. Duo-dubleks ve duo-servo tiplerinde ise, pabuçlar taşıma düzenine mafsallı olmayıp sadece baskı düzenine bağlıdır.



Şekil 3.11. Kampanalı fren tipleri, a) simpleks, b) dubleks, c) servo, d) duo-servo, e) duo-dubleks

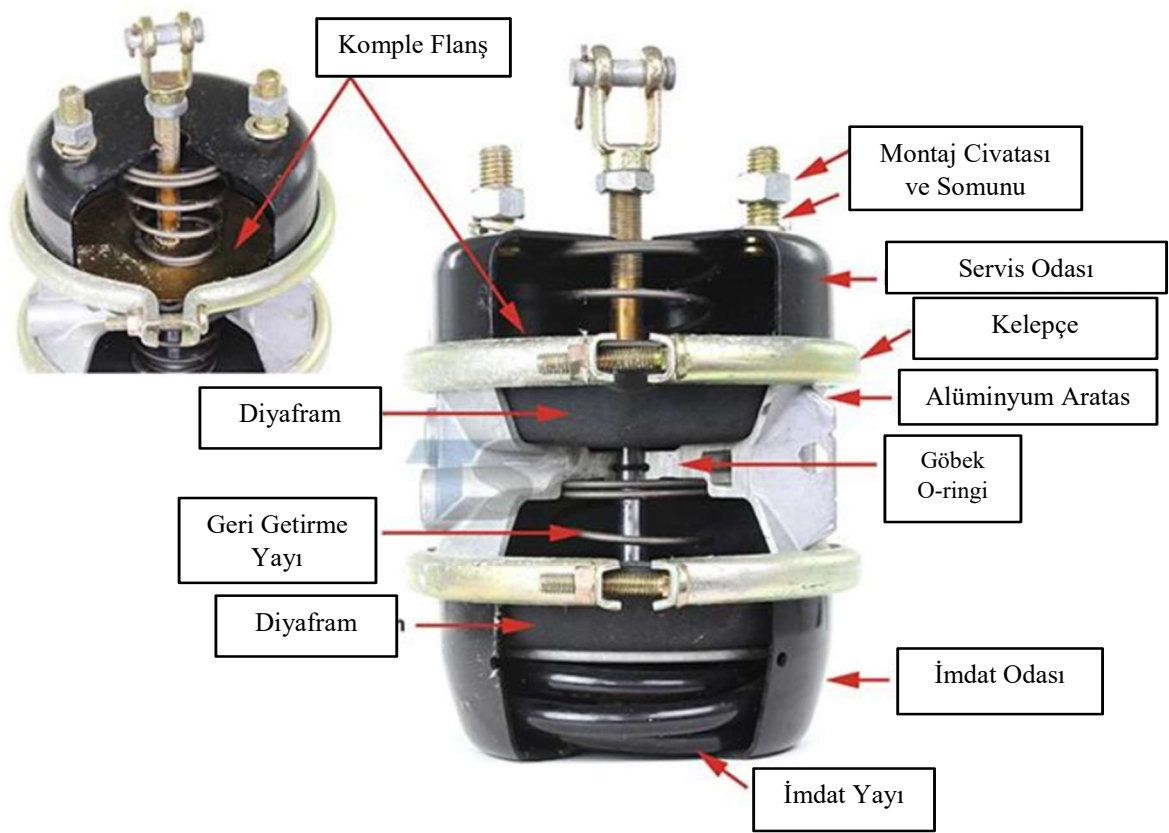
Havalı fren sistemine sahip taşıtlarda, mekanik baskı mekanizmasına sahip simpleks tip kampanalı frenler yaygın olarak kullanılmakta ve pabuçlara uygulanan kuvvet 'S' şeklindeki bir kam yardımıyla veya bir gergi kaması ile sağlanır. Şekil 3.12'de [31] S-Kamlı fren baskı mekanizması, kamlı olan simpleks tipi kampanalı fren konstrüksiyonu gösterilmiştir [32].



Şekil 3.12. S-Kamlı simpleks kampanalı fren konstrüksiyonu

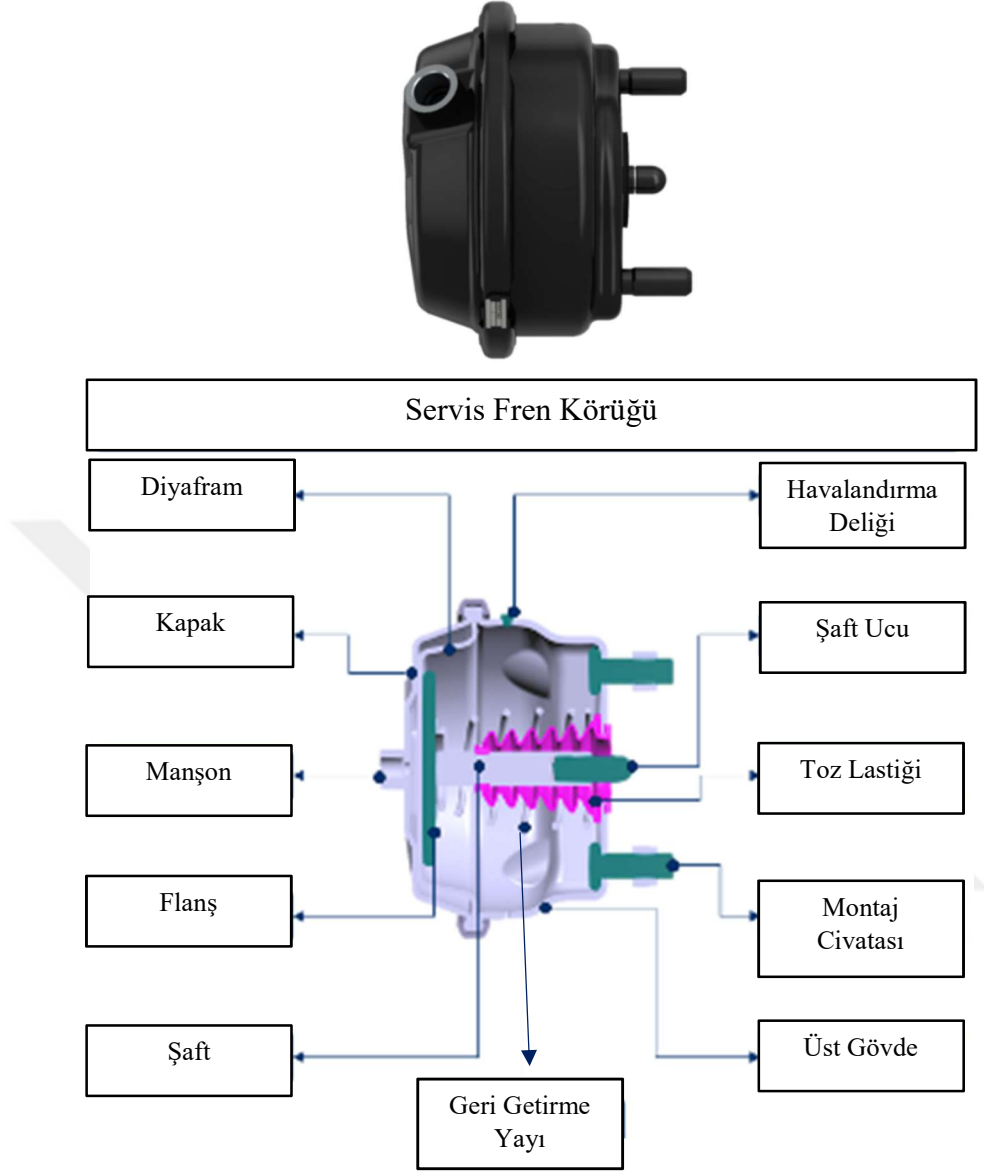
3.2.1.11. Fren silindiri (fren körüğü)

Tüm havalı fren sistemlerinde, frenleri devreye sokmak veya devreden çıkarmak için enerjiyi depolamak ve serbest bırakmak için bir tür fren silindiri kullanılır. Kompresör vasıtasıyla üretilen basınçlı hava, sürücünün fren pedalına uyguladığı kuvvete bağlı olarak, havalı fren sistemi elemanlarından geçerek fren silindirine (fren körüğüne) gelir. Basınçlı hava, fren silindiri içerisinde mekanik bir kuvvete dönüşerek kuvvet iletim sistemi vasıtasıyla balataların fren diskine yanaşmasıyla, aracın yavaşlaması yada durması sağlanmış olur [33]. Şekil 3.13’de [34] fren silindirindeki komponentlerin ürün üzerindeki fiziksel gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.13. Fren silindirindeki basınçlı havanın kuvvet iletimi

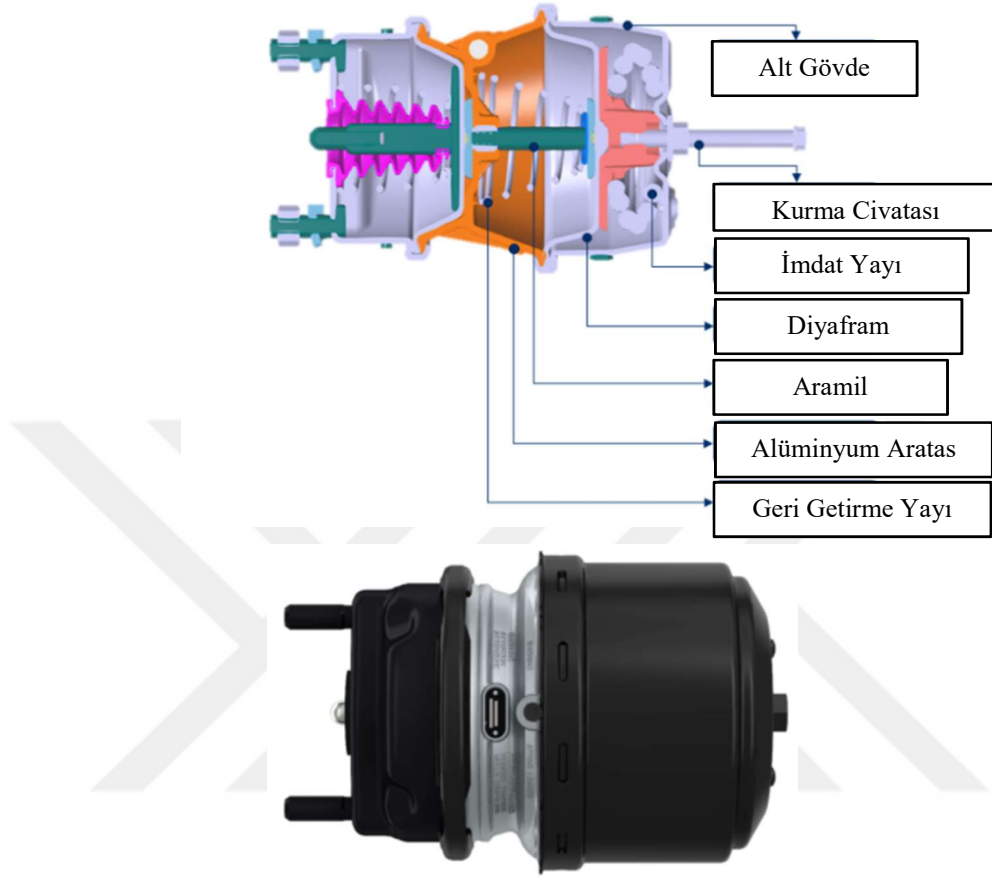
Şekil 3.14’de gösterilen servis fren körüğü [35], sürücü fren pedalına bastığında ihtiyaç duyulan fren kuvvetini oluşturan fren elemanıdır. Frenleme sırasında; körüğe manşondan giren basınçlı hava, diyaframın şişmesini sağlar. Basınçlı hava ile dolan diyafram, flanş ve şaftı iter. Böylece, ihtiyaç duyulan hareket ve kuvvet elde edilmiş olur. Diyaframlı fren silindirleri genellikle ön aksa takılır. Avantajı, boyutlarının oldukça küçük olmasıdır. Her teker için bir hava körüğü vardır.



Şekil 3.14. Servis fren körüğü ve bileşenleri

İmdatlı fren körüklerinin servis odası, servis fren körükleri ile aynı mantıkta çalışır ve aynı işlevi yerine getirir. Şekil 3.15’de gösterilen imdatlı fren silindirleri [35]; diyaframlı fren silindirleri ile park freni silindirinin birleşiminden oluşmaktadır. Ayrıca, imdat odası ve imdat yayı yer almaktadır. Araç seyir halindeyken imdat odası basınçlı hava ile doludur. Dolayısıyla, bu sırada herhangi bir frenleme kuvveti üretmez. İmdat yayı, fren sisteminde basıncın düşmesi, park freninin çekilmesi gibi farklı senaryolarda devreye girer. Bu tip frenlerde diyaframlı silindir; fren pedalının basıncıyla basınçlanır. Kombine fren silindiri ise park freni görevi görür. El freni vasıtasıyla boşaltıldığında oluşan basınç düşümü yüksekliğine göre baskı yayları

rahatlar ve diyafram ile birlikte piston çubuğu ve pistonu silindirin dışına doğru iter ve depolanan yay kuvveti etkili olmaya başlar. Tekerek frenine de buna karşılık kuvvet aktarımı gerçekleşir. Genellikle arka akslara takılırlar [22].



Şekil 3.15. İmdatlı fren silindiri ve bileşenleri

Fren silindirlerindeki basınçlı hava, içlerindeki piston yada diyafram vasıtasıyla flanşa iletilir ve fren silindirlerinin tipleri bu membranın kesit alanı ile belirtilir. Örneğin Tip 30 şeklinde anılan fren silindirinde diyafram alanı 194 cm^2 'dir.

Fren silindirlerinin belirli basınca göre verdikleri ortalama baskı kuvveti T , silindir stroğunun $1/3$ 'ü ile $2/3$ 'ü arasında vermiş olduğu değerlerin integrasyonu ile belirlenir. Tablo 3.1'de [25] çeşitli fren silindirleri için baskı kuvveti değerlerinin formülasyonları verilmiştir. Kullanılabilir strok, baskı kuvvetinin ortalama baskı kuvvetinin %90'ına eşit olduğu stroğu belirtir [16].

Tablo 3.1. Fren silindir tipleri için baskı kuvveti formülasyonu

Tip	Baskı Kuvveti, T, [N]	Kullanılabilir Strok	Azami Strok
9	$606 \times p - 242$	$0,64 \times p + 44$	60
12	$766 \times p - 230$	$0,57 \times p + 46$	60
16	$1056 \times p - 317$	$0,86 \times p + 68$	75
20	$1218 \times p - 244$	$0,74 \times p + 69$	75
24	$1426 \times p - 285$	$0,56 \times p + 70$	75
30	$1944 \times p - 389$	$0,67 \times p + 62$	75

3.2.1.12. Fren silindiri (körüğü) komponentleri

Şekil 3.16’da gösterilen imdatlı havalı fren körüğü genel olarak şu bileşenlerden oluşmaktadır;

1. Alt gövde
2. Üst gövde,
3. İmdat ve geri getirme yayı,
4. Diyafram,
5. Aratas,
6. Alüminyum bileşenler (piston, piston borusu, tapa),
7. Kelepçe, komple flanş,
8. Bağlantı elemanları, cıvata, somun
9. Kauçuk bileşenler (köşe ring, supap, valf, o-ring, kaydırma halkası, toz lastiği)

ve eski haline dönmeye çalışacaktır. Korozyona sebep olan koroziv sebepler; elektrokimyasal, fiziksel ve çevresel olmak üzere üç ana grup altında toplanabilir.

3.3.1. Elektrokimyasal faktörler

Elektrokimyasal korozyonun oluşabilmesi için sağlanması gereken şartlar vardır. Öncelikli olarak; metallere temas eden nemin ortamda olması, metallerin elektro potansiyelleri arasında farkın oluşması ve oluşan akımın devreyi tamamlaması gerekmektedir. Kısaca bir elektro korozyon hücresinde dört eleman bulunur. Bu elemanlar anot, katot, metal yolu ve elektrolittir. Bu elemanların biri olmaz ise, korozyon oluşmaz. Korozyon hücresine örnek olarak karbon-çinko kuru pili verilebilir. Kuru pilin dışı çinkodandır ve iki elektrottan biri olan çinko, katodu oluşturur. Merkezdeki karbon çubuk ise anottur. İki elektrot arasındaki nemli pasta ise elektroliti oluşturur. Korozyon hücresinde, korozyon başlaması ve devam etmesi için aynı elemanlar gereklidir. İki metal, elektrolite daldırıldığında, çözeltide çözünme kabiliyetini yönlendiren elektrik 8 potansiyeline sahip olurlar. Metaller çözeltide çözündüğünde, metal atomları yüzeyde bir veya daha fazla elektron bırakarak pozitif yüklü iyon şeklinde metalden ayrılırlar. Yüzeyde bırakılan elektronlar, metal yoluyla (iletken vasıtasıyla) katoda erişir. Korozyon anotta olur, anodik metal elektrolitte çözünür. Anoda göre daha az aktif olan ve korozyona uğramayan elektron katottur. Uçaklarda metal yolu, uçağın kaplama sacı, bağlantı elemanları, civataları veya herhangi bir metalik iletken olabilir. Korozyon hücresini oluşturan elektrolit, nemi içeren iyonize çözeltidir. Korozyon hücresinde elektrolit bulunmaz ise metal çözünemediğinden iyon anodik metali terk etmez ve korozyon oluşmaz [36, 37].

3.3.2. Fiziksel faktörler

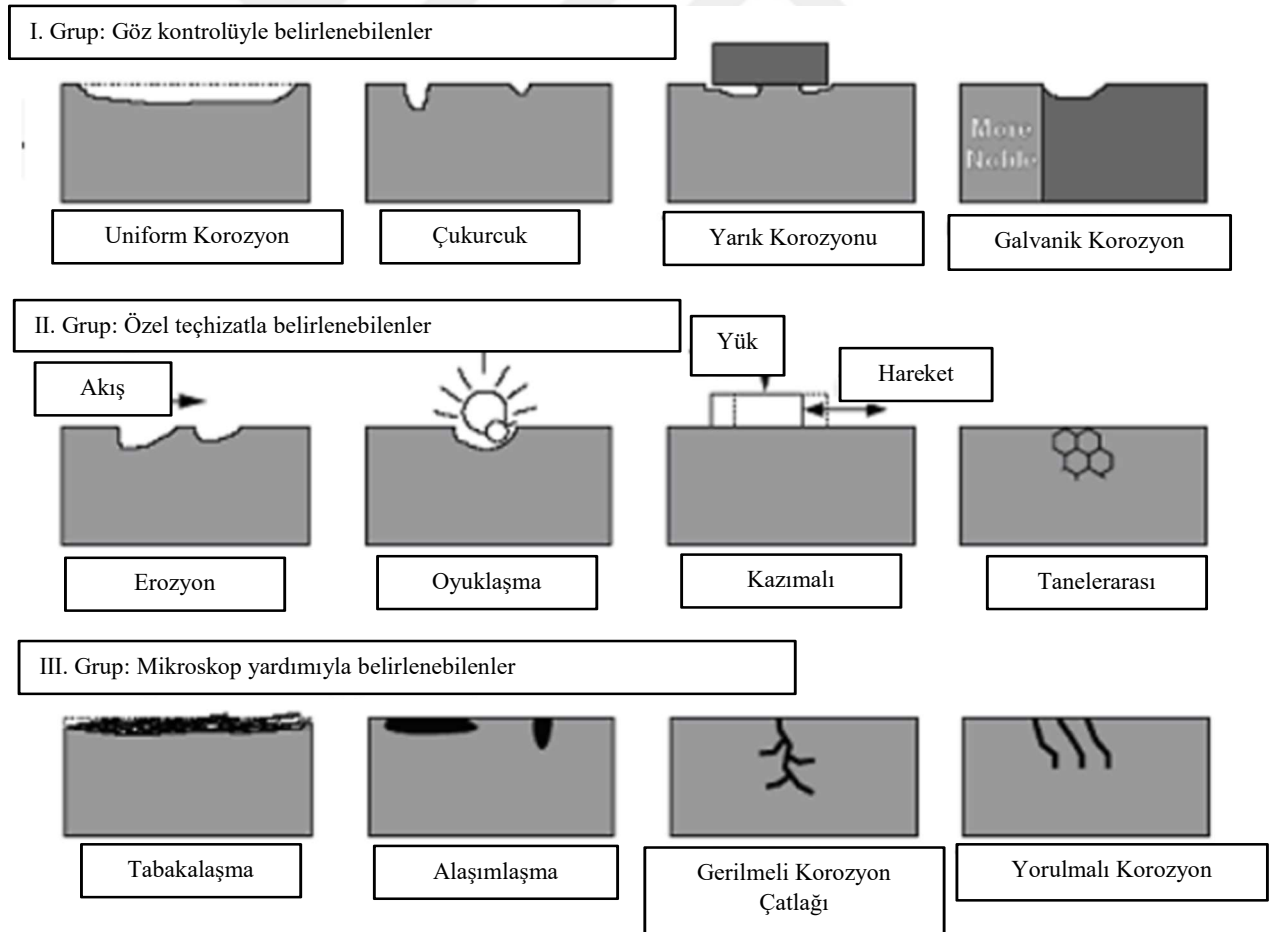
Yüksek basınç ve sıcaklık, maddelerin korozyona uğraması için daha elverişli bir ortam sağlar. Gaz türbinli motorlarda türbin bölümünde türbin paletleri yüksek sıcaklık ve basınca dayanacak ve koroziv etkenlerden en az etkilenecek titanyum kullanılarak optimize edilebilir. Bir parça üzerine dayanımından çok daha fazla miktarda yük etki ediyorsa veya çok yönlü kuvvetlerin etkisi altındaysa korozyona uğraması kaçınılmazdır. Sürtünme ile malzemelerin koruyucu yüzeyleri tahrip olarak korozyona maruz kalabilirler [36].

3.3.3. Çevresel faktörler

Korozyona neden olma bakımından coğrafik konuma göre iklim şartları da önemli rol oynar. Sıcaklık-nem etkisi, özellikle tropikal deniz ikliminin görüldüğü bölgeler koroziv etkiyi hat safhada arttırmaktadır. Korozyona neden olma açısından coğrafik yerleşime göre iklimler dörde ayrılır. Yüksek sıcaklık ve nemin birlikte etki ettiği en koroziv ortam tropikal deniz ortamlarıdır.

Bu ortamlarda korozyon, sıcaklıkla birlikte hızla artar. Sıcaklığın -25°C ile 37°C arasında, nemin ise %10-100 arasında değiştiği ılıman iklimli ve endüstriyel kirlenme, duman ve sis gibi kalıntıları taşıyan ortam endüstriyel ortamdır. Endüstriyel kuruluşlardan yükselen gazlar havanın nemi ile birleşerek asit şeklinde yoğunlaşır ve korozyonu hızlandırır. Sıcaklığın çok düşük olduğu ve düşük elektrokimyasal reaksiyonun olduğu ortam kutupsal ortamdır. Bu ortamda elektrokimyasal ortamın çok düşük olmasına karşın çok soğuk durumdaki 9 metal ısındığında nem toplanır. Bu da metalde korozyon oluşturur. Nemin çok düşük olduğu ve korozyon olmadığı tek ortam çöl ortamıdır. Bu ortamda nem olmadığından sıcaklığın etkisi olmamaktadır [37, 38].

Korozyonun başlaması ve ilerlemesi, metal yüzeyinde farklı koşulların oluşmasına; örneğin çözelti içerisinde aşındırıcı iyon bulunmasına, metalik yapının şekline, metalin metalürjik özelliklerine ve alaşımları oluşturan metallerin birbirlerine göre aktiflik farklarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Şekil 3.17’de [39] literatürde bu faktörlere bağlı olarak oluşan korozyon türlerinin şematik gösterimi verilmiştir.



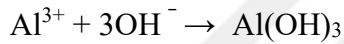
Şekil 3.17. Korozyon türleri

Metal içindeki heterojenlik, çevre veya yapının geometrisiyle ilgili olarak metal yüzeyinin bazı bölgelerinin diğer bölgelerden daha hızlı korozyona uğraması yerel korozyon olarak tanımlanabilir. Yerel korozyon tehlikeli ve yıkıcı korozyon türüdür. Bunun nedeni ise çok küçük alanlarda bölgesel olarak oluşan aşınmanın takibinin güç olması ve çok hızlı ilerleyerek kırılmalara ve kopmalara neden olmasıdır. Yerel korozyon metal yüzeyinde elektrokimyasal (Sulu ortamda metal ve alaşımlarının bozulmaları ile meydana gelen korozyon türüdür) korozyon oluşturur. Elektrokimyasal korozyon mekanizmasında, elektron alışverişi ara yüzeyde meydana gelir. Bu mekanizmanın gerçekleşebilmesi için; aralarında potansiyel fark bulunan malzemelerin aynı ortamda olması ve elektron akışının sağlanabileceği bir elektrolit olması [40] ve metal yüzeyinde elektrokimyasal mekanizmaya sahip bölgesel pillerin varlığıyla oluşur. Bir yükseltgenme reaksiyonu olan korozyon bu pilin anodunda gerçekleşir [41].

Örneğin alüminyumun suda korozyonunda;



Alüminyum iyonları su içerisinde çözünür, iyon halinde bulunamaz. Sudaki hidroksil iyonları ile birleşerek alüminyum hidroksit olarak çöker.



Yukarıdaki çökeltme reaksiyonu nedeniyle ortamdaki hidroksil iyon derişimi düştüğünden anodik bölge asidik olur. Bu bölgede pH 2–4 arasındadır. Bu durumda, pasifleşme potansiyeli yükselir ve metalin çözünmesi artar [41].

Yerel korozyonda da bütün korozyon reaksiyonlarında olduğu gibi hidrojen çıkışı, oksijenin indirgenmesi ve metalin indirgenmesi reaksiyonları katodik reaksiyonu oluşturur. Bölgesel piller metal yüzeyindeki bölgesel farklılıklardan, metalin çevresindeki farklılıklardan ve metalin bir şekilde maruz kaldığı akımlardan kaynaklanmaktadır [41]. Yerel korozyon türleri içerisinde pitting (oyuk) korozyonu, imdat yay yüzeyinde görülen korozyon türündendir.

3.3.4. Oyuk (çukur) korozyonu

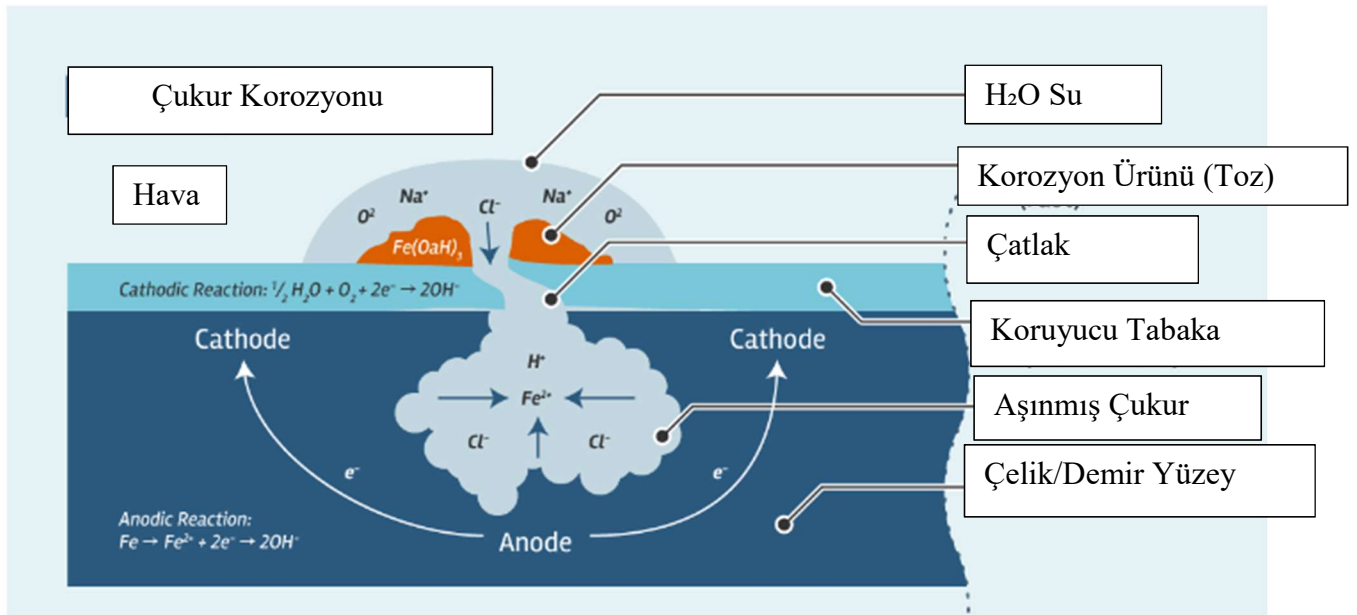
Oyuk korozyonunu; çelik, demir, alüminyum gibi birçok metal ve alaşımlarda görmek mümkündür. Oyuk korozyonu genellikle klor ve brom iyonları içeren tarafsız ortamlarda oluşur. NaCl ve oksijen bakımından hayli zengin olan deniz suyu oyuk korozyonuna yol açan etken bir ortamdır. PH değeri ortamın oyuk korozyonu bakımından etkenliğini belirleyen önemli bir göstergesidir. Oyuk öncelikle nötr ortamlarda oluşur. PH değeri düşürölünce yerini genel korozyona (homojen dağılımlı korozyon) terk eder [37]. Hızla nüfuz eder ve etkilerinin

kısa sürede tespit edilmesi oldukça zordur. En yaygın olarak, pasif kaplama tabakasının fiziksel olarak hasar gördüğü veya kimyasal olarak deforme olduğu yerlerde meydana gelir. Bu, su veya aşındırıcı çözeltilerin alt tabakaya nüfuz ettiği zayıf bir nokta oluşturur.

Korozyon olayının çok küçük bölgeler üzerinde yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan oyuk korozyonda, metal yüzeyinde çok sayıda oyuklar genellikle bir karıncalanma görünümü verir. Oyukların çapı, derinliği ve sıklığı malzeme ve ortama bağlı olarak değişir. Toplam metal kaybı homojen dağılımlı korozyonun aksine çok küçüktür. Ancak, parçalar kısa zamanda delinerek kullanılmaz hale gelirler. Ayrıca, oyuk diplerinde oluşan mekanik gerilim yoğunlaşması direnç kaybı yanında korozyonlu yorulma ve gerilimli korozyon olarak tanınan çatlama olaylarını başlatabilir. Bozucu etkisi, yaygınlığı ve kontrolündeki güçlükler nedeni ile oyuk korozyonu en korkulan korozyon türlerinin başında gelir [42].

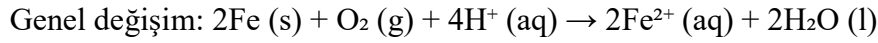
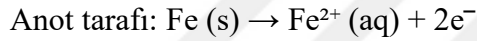
Şekil 3.18’de gösterilen çukur korozyonu, küçük bir alanda veya noktada oluşan bir boşluk, delik veya çukurdur. Çukurlar veya delikler, yüzeydeki az miktarda korozyon ürünü (pas) ile kapatılmıştır. Geniş bir alanda (kaplama) bir katodik reaksiyon, küçük bir alanda (açık metal) bir anodik reaksiyon oluştuğunda; bir çukur, boşluk veya küçük delik oluşacaktır. Oksidasyon, oksijen kaynağı olmadığında bile metalde meydana gelir.

Büyük katot tarafından yüksek elektron talebi, küçük anot bölümüne ulaşır ve sonuç olarak yoğun bir çukur korozyonu oluşur. Oluşan çukurlar derinlikleri az olacak ve çok zararlı etkilerle hızla gerçekleşir. Altındaki metal yapının derinlerinde hasar meydana gelirken, yüzeyde yalnızca küçük bir pas lekesi görünür [43].

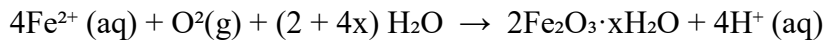


Şekil 3.18. Çukur korozyonun diyagramı

Korozyon sürecinde, demir metali galvanik bir hücrede anot görevi görür ve Fe^{2+} 'ye oksitlenir. Oksijen katotta suya indirgenir ve ilgili reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;

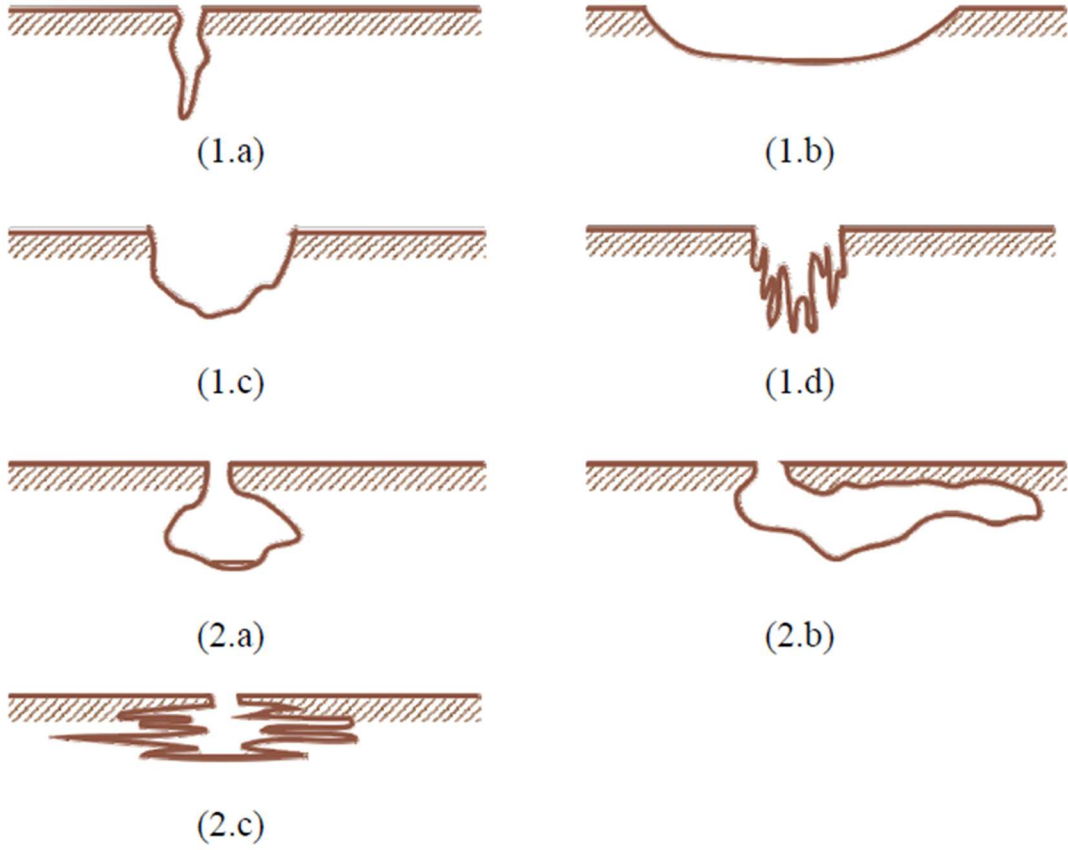


İlk reaksiyonda üretilen Fe^{2+} iyonları daha sonra atmosferik oksijen tarafından oksitlenerek aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi Fe^{3+} içeren çözünmez hidratlı oksit üretilir;



Şekil 3.19'da, oyuk korozyon şekillerinin oluşum görselleri görülmektedir.

1. Oluk oyuklar; (a) Dar derin, (b) Sığ geniş, (c) Eliptik, (d) Dik damarlı aşınma,
2. Yana doğru ilerleyen oyuklar; (a) Yüzeyaltı, (b) Alt kesim, (c) Mikroyapıdan kaynaklı yönelme [44, 45].



Şekil 3.19. Oyuk korozyon şekilleri

Oyuk korozyonu iki aşamada gerçekleşir:

1. Oyuk oluşumu
2. Oyuğun büyümesi (gelişme ve yayılma)

Oyuk oluşması ve büyümesi ya da başka bir deyişle metalin oyuk korozyona uğraması için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır [46].

1. Metal pasif durumda olmalıdır.
2. Elektron potansiyeli oyuk oluşma potansiyelinden daha pozitif olmalıdır.
3. Ortamdaki elektrolit çözeltisi yüksek derişimde aşındırıcı anyon (Cl^-) içermelidir.

Oyuk korozyonda, korozyonun oyuk içinde başlaması ve sürmesi için gerekli koşulların kendiliğinden olması olayı otokatalik (kimyasal tepkime sonucunda oluşan ürünün, aynı tepkimede reaktan olarak yeniden reaksiyona girdiği tepkime türüdür. Kısaca bir tepkimede ortaya çıkan ürünün, tepkime hızını artırması (katalizör durumu) gerçekleşir.

3.4. Korozyonun Helisel (Sarmal) İmdat Yayına Etkisi

Metallerin, özellikle çeliğin oksijen ve su ile okside olma potansiyelinin yüksek olması, metalleri hem görünüm hem de deformasyon açısından bozunmaya duyarlı hale getirir. Bu nedenle, metalleri korozyona karşı korumanın ve korozyon dayanımının artırılmasına yönelik yolları bulmak her zaman çok önemli olmuştur. Bunu yapmanın geleneksel yolu, kendiliğinden oluşan korozyon olaylarını geciktirebilecekleri için antikorozif kaplamalar uygulamaktır. Antikorozif kaplama, genel olarak; metalik yüzey, herhangi bir aşındırıcı ortama maruz kaldığında kendiliğinden meydana gelebilecek korozyonu durdurarak veya en azından yavaşlatarak korumak için metalik bir yüzeye uygulanır. Çok çeşitli kimyasallardan, malzemelerden veya farklı kimyasalların kombinasyonlarından formüle edilebilirler [47].

Malzemesi 54SiCr₆ olan imdat yaylarının korozyona karşı aşınma dayanımının artırılması amacıyla, TS EN ISO 2360:2017 standartına göre imdat yayı üzerine, 70-230 µm kalınlığında elektro-statik toz boya kaplama uygulaması yapılmaktadır.

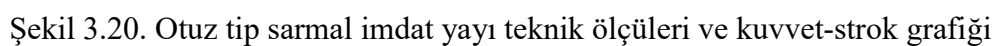
Elektro-statik toz boya kaplaması: negatif (-) elektrikle yüklenen çok küçük toz boya partiküllerinin metal yüzeylere uygulanması ile gerçekleşmektedir. Zıt kutuplardaki boya partikülleri ile boyanacak zeminin birbirini çekmesi sonucu oluşan boyama yöntemidir. Toz boya ile kaplanan metal yüzey 180-200 °C arasındaki fırınlarda ısıtılarak toz boyanın tamamen yüzeye yapışması sağlanır. Bu aşamada, bütün boya partikülleri ile zemin iç içe geçer ve boyama işlemi tamamlanmış olur.

Korozyona karşı sarmal imdat yaylarına uygulanan elektro-statik toz boya kaplamasına rağmen, işletme sürecinde imdat yaylarında çukur korozyonu oluşabilmektedir. Fen silindirinin komponenti olan imdat yaylarının ürün üzerindeki en önemli fonksiyonu, frenleme sürecinde istenilen frenleme kuvvetini oluşturmaktır.

Şekil 3.20’de, otuz tip ürünlerde kullanılan sarmal imdat yayının teknik ölçü (toplam yay boyu, tel çapı, kabul kriterlerine göre eksenel eğiklik derecesi ve yay sıkıştırma boylarına karşılık gelen kuvvet değerleri) verilerini ve kuvvet-strok eğri grafiğinin değerleri gösterilmiştir. Farklı tip stroklar için kullanılan sarmal yayların kuvvet değerleri farklılık göstermektedir. Sıkıştırılmış yayın uyguladığı kuvvet en fazla orandayken, bobinlerin birbirinden teması azaldıkça (yay açıldıkça/stok artıkça) frenleme kuvveti azalmaktadır.

Kuvvet-strok grafiğine göre işletme anında kullanılan imdat yayının uygulaması istenilen kuvvetler, imdat yayında korozyon oluşması ve sonrasında imdat yayının deformasyona tabi olması durumunda uygulanamamaktadır. Bu durumda ise ağır ticari araçların frenleme

Technical drawing of a spring assembly. The drawing shows a side view of a helical spring with a reference diameter $\varnothing 71.5$ and a reference length $L_{ref} = 300$ mm. The spring is shown in a compressed state with a force $F_1 = 13550 \text{ N} \pm 4\%$ applied. The force $F_2 = 11200 \text{ N} \pm 4\%$ is applied at a distance $L_2 = 121$ mm from the bottom. The distance $L_3 = 142.5$ mm is also indicated. The distance $L_1 = 88.5$ mm is the distance from the bottom to the point of application of F_1 . The distance $L_0 = 78.5$ mm is the distance from the bottom to the point of application of F_2 . The drawing also shows a cross-section of the spring with a diameter of $\varnothing 15$ and a reference length of $\varnothing 71.5$. The drawing is labeled "KUVVET DEGERLERI / FORCE OUTPUTS" and "Max. 76".



3.5. Dahili Havalandırma Sisteminin Çalışma Prensipleri

Ağır ticari araçlarda frenleme ekipmanı olarak kullanılan havalı fren silindirlerinin atmosfere açık imdat odası helisel yay bölgelerine, havalandırma deliği kanalıyla araç sürüş pozisyonunda yada bulunduğu çevresel etkenlere bağlı olarak korozyif maddelerin (çamur, su, toz vb.) girmesi kaçınılmazdır. Korozyif maddelerin, helisel yay koruyucu tabakasında da tahribatlar oluşturması sonucu, helisel yayın; fonksiyon ve performans verilerinin istenilen teknik şartları sağlamadığı belirlenmiştir. Fren sisteminin öneminin hayati derecede olduğu ve bu sebeple frenleme performansının trafik sürecinde göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Ticari araçlarda fren performansını ve sürekliliğini etkileyen önemli faktörlerden biri kuvvet-strok eğrilerinin grafiksel olarak takibidir. Ağır ticari araçların fren performansları, kuvvet-strok eğrilerine göre değerlendirilmektedir ve tasarımları bu verilere göre yapılmaktadır. Bu çalışmada, ağır ticari araçların havalı fren sistemindeki fren körüğünün alt bileşeni olan imdat yayı üzerine etki eden korozyonun kuvvet-strok eğrilerine üzerine etkisi grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, korozyonu önlemek için dahili havalandırma tekniğinin uygulanması süreci sonucundaki performans özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

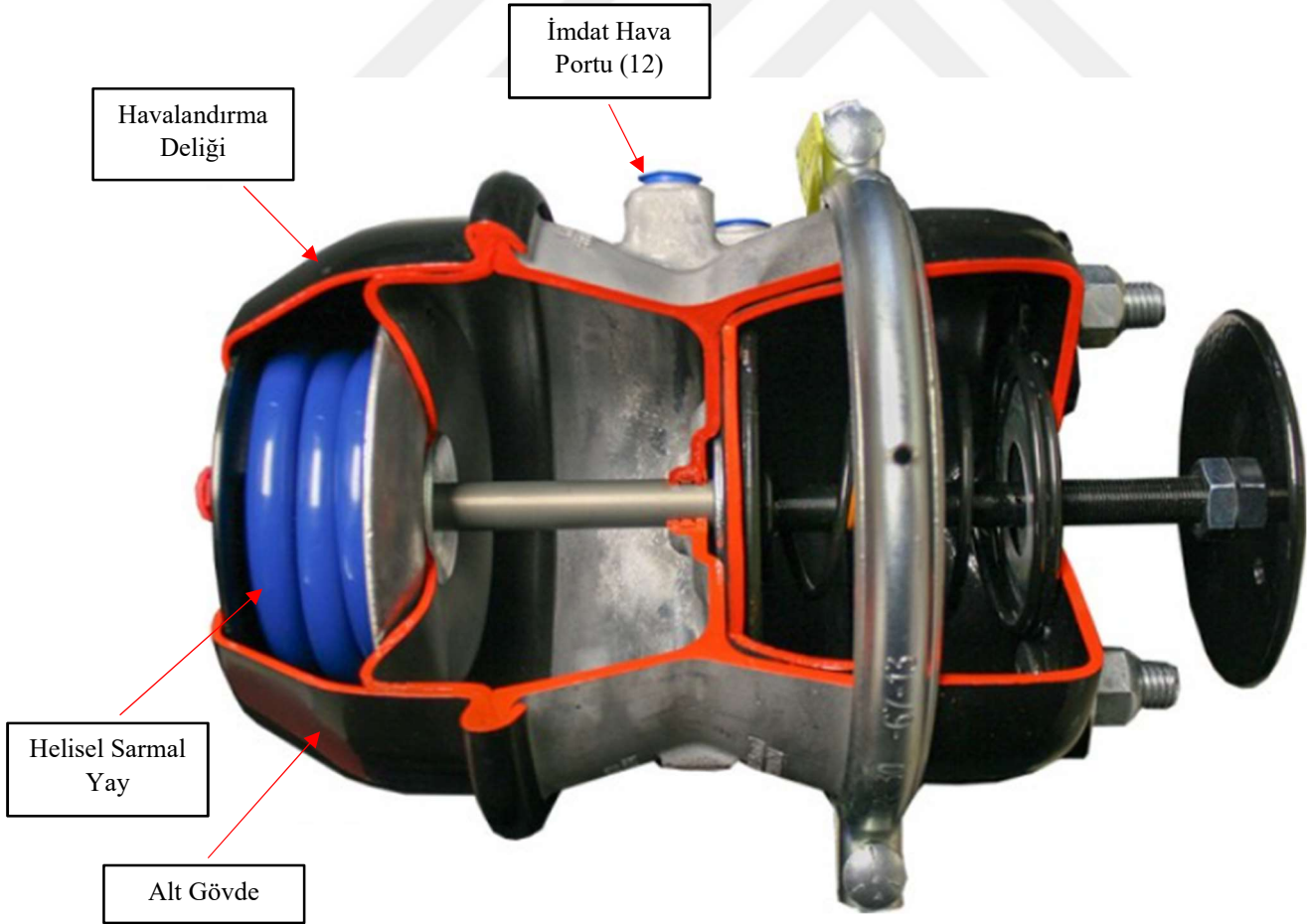
Körüğün alt bileşenlerinin korozyona maruz kalmaması için; fren körüğüne atmosferden her türlü korozyif maddenin girişini engellemek amacıyla, körüğün imdat kısmında bulunan düşük basınçlı havanın servis kısmına transferinin sağlanması (dahili havalandırma tekniğinin uygulanması) amaçlanmıştır. Bu sayede, korozyona maruz kalan imdat yayının, dahili havalandırma tekniğinin uygulanması sonucu ömür fonksiyonun teknik verilerini karşılayacak şekilde uzatılması hedeflenmiştir.

3.5.1. Dahili (içten) havalandırma sistemi uygulaması

Ağır ticari araçların, fren silindirlerinin imdat odası bölümünde bulunan sarmal imdat yaylarına etki eden korozyonun etkilerinin azaltılması amacıyla dahili havalandırma sistemi uygulaması yapılmaktadır.

Şekil 3.21’de gösterildiği üzere, fren silindiri içerisinde bulunan sarmal imdat yayının konumlandırıldığı bölgeye, imdat odası olarak ifade edilmektedir. Araç sürüş pozisyonunda imdat odası üzerinde bulunan yaklaşık olarak 6,9-8,3 bar basınçlı hava, araç park haline alınması yada el freninin aktive edilmesi istenilmesi durumunda fren körüğü içerisinde aratasın 12 nolu portu vasıtasıyla tahliye edilir, atmosfere atılır. Basınçlı havanın tahliye edilmesiyle birlikte, sarmal imdat yayı mekanik olarak blok durumdan, sarmalların açılması pozisyonuna geçmesi sürecinde, imdat odasındaki besleme basıncını yenecek yaklaşık olarak 1-2 barlık atm

basıncına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu atm basıncı havalandırma deliği vasıtasıyla çevreden alınarak, sarmal imdat yayının blok pozisyonundan, sarmalların açılması pozisyonuna geçişini sağlar. Bu sayede, araç mekanik olarak frenlenme pozisyonunda olur. Fren silindiri frenleme pozisyonundayken, yani körüğün komple flanşı aracın tekerlek disklerine yada kampanaya kuvvet uygulama fonksiyonunu gerçekleştiriyorken, aracın hareketlenmesi isteniliyorsa; sarmal yayların tekrardan blok pozisyonuna getirilmesi gerekmektedir. Kompresör tarafından üretilen basınçlı hava, fren silindiri aratası vasıtasıyla imdat bölümü üzerine sevk edilir. Diyafram yada alüminyum piston üzerinde bulunan yaklaşık 6,9-8,3 bar basınçlı hava; sarmal yayı sıkıştırarak, yayın blok pozisyona geçmesini sağlar. Ancak, sarmal yayın bulunduğu imdat odasında, yayın blok haline geçmesi sürecinde oda içerisinde sıkışan havanın tahliye edilebilmesi gerekmektedir. Bu süreçte de sıkıştırılmış basınçlı hava, fren silindiri üzerinde bulunan havalandırma deliği vasıtasıyla çevreye tahliye edilir. Bu nedenlerden dolayı, fren silindiri üzerinde çalışma sürecinde hava dengesini sağlamak amacıyla havalandırma delikleri açılmış ve araç üzerindeki montaj şekline bağlı olarak zemine doğru yönlendirilmiş olan havalandırma deliğinin sürekli açık olması gerekmektedir.



Şekil 3.21. Fren körüğünün imdat odası havalandırma deliği gösterimi

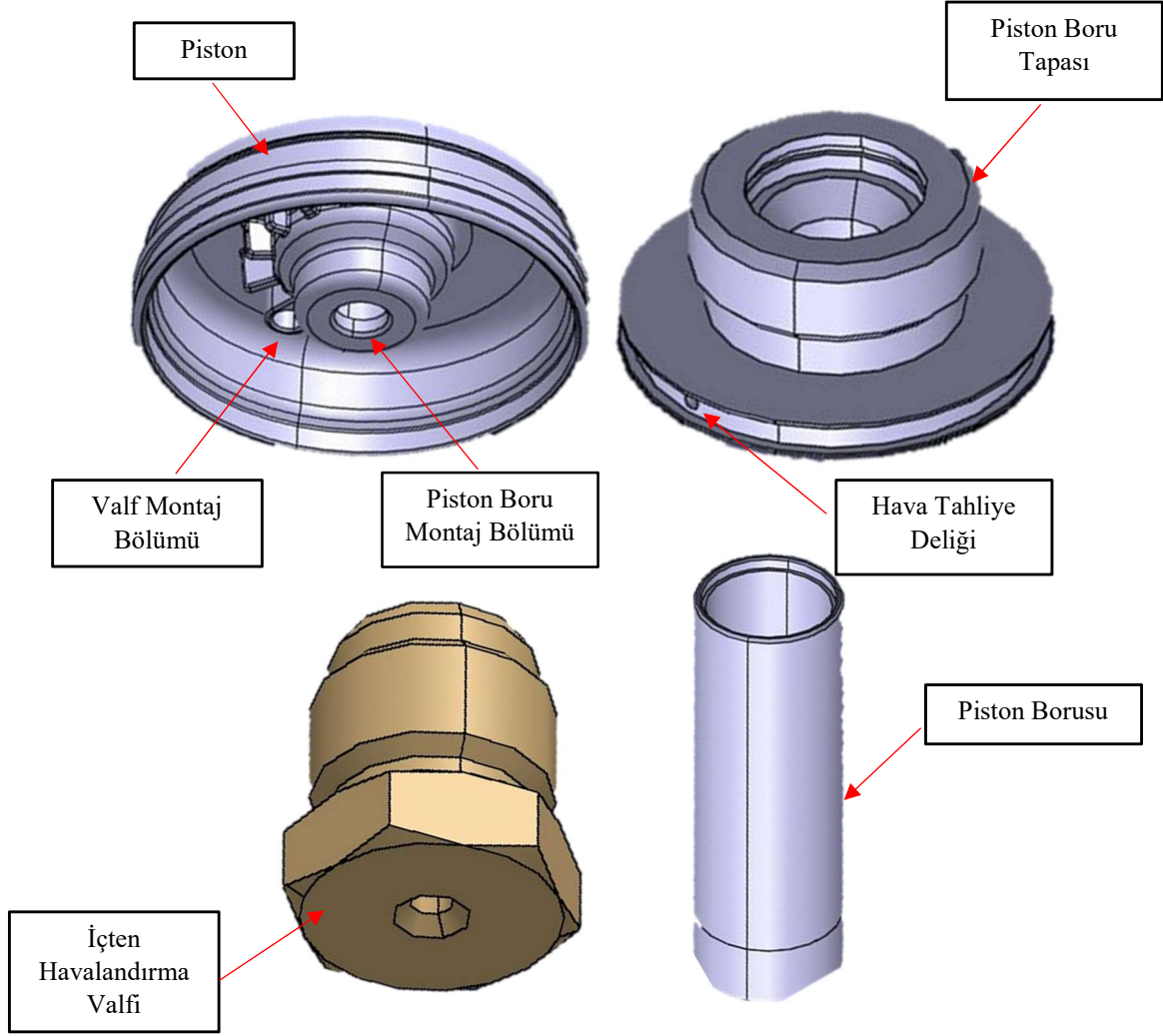
Havalandırma deliğinin fren silindirleri üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalar neticesinde, dahili havalandırma yöntemi bulunmuştur. Fren silindirinin imdat odası bölgesine uygulanan dahili havalandırma yöntemi vasıtasıyla, korozyon maddelerinin sarmal imdat yayına olan olumsuz etkileri ortadan kaldırılmıştır. Fren silindiri sarmal imdat yayı; dahili havalandırma uygulamasıyla birlikte, korozyona karşı dayanımı ve yaşlanma süreci olumlu bir şekilde etkilenmiştir.

Dahili havalandırma sistemi, fren silindiri komponentlerinden alüminyum piston üzerine içten havalandırma valfi montajıyla başlar. Alüminyum piston üzerinde içten havalandırma valfi montajı için, dişli bir yüzey tasarlanır ve tasarlanmış bu yüzeye valf torklama uygulanarak montajlanır.

İçten havalandırma valfinin fren silindiri üzerindeki fonksiyonu; araç sürüş pozisyonunda imdat odası üzerinde bulunan yaklaşık olarak 6,9-8,3 bar basınçlı hava, araç park haline alınması yada el freninin aktive edilmesi istenilmesi durumunda fren körüğü içerisinde arataya 12 nolu portu vasıtasıyla tahliye edilir, atmosfere atılır. Basınçlı havanın tahliye edilmesiyle birlikte, sarmal imdat yayı mekanik olarak blok durumdan, sarmalların açılması pozisyonuna geçmesi sürecinde, imdat odasındaki besleme basıncını yenecek yaklaşık olarak 1-2 barlık atm basıncına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu atm basıncı havalandırma deliği vasıtasıyla çevreden alınmadan, içten havalandırma valfi kullanılarak, piston üzerinde bulunan düşük basınçlı havanın, sarmal imdat yayının bulunduğu alana sevk edilir. Bu sayede, sarmal imdat yayı blok pozisyonundan, sarmalların açılması pozisyonuna geçişi sağlanır. Bu sayede, araç mekanik olarak frenlenme pozisyonunda olur.

Fren silindiri frenleme pozisyonundayken, yani körüğün komple flanşı aracın tekerlek disklerine yada kampanaya kuvvet uygulama fonksiyonunu gerçekleştiriyorken, aracın hareketlenmesi isteniliyorsa; sarmal yayların tekrardan blok pozisyonuna getirilmesi gerekmektedir. Kompresör tarafından üretilen basınçlı hava, fren silindiri arataya vasıtasıyla imdat bölümü üzerine sevk edilir. Diyafram yada alüminyum piston üzerinde bulunan yaklaşık 6,9-8,3 bar basınçlı hava; sarmal yayı sıkışması sonucu, yayın blok pozisyona geçmesini sağlar. Ancak, sarmal yayın bulunduğu imdat odasında, yayın blok haline geçmesi sürecinde oda içerisinde sıkışan havanın tahliye edilebilmesi gerekmektedir. Bu süreçte de sıkıştırılmış basınçlı hava, fren silindiri üzerinde bulunan havalandırma deliği vasıtasıyla çevreye tahliye edilmesi yerine, alüminyum piston borusu üzerinde montajlanmış alüminyum tapa kullanılarak servis odası bölümüne sevk edilir.

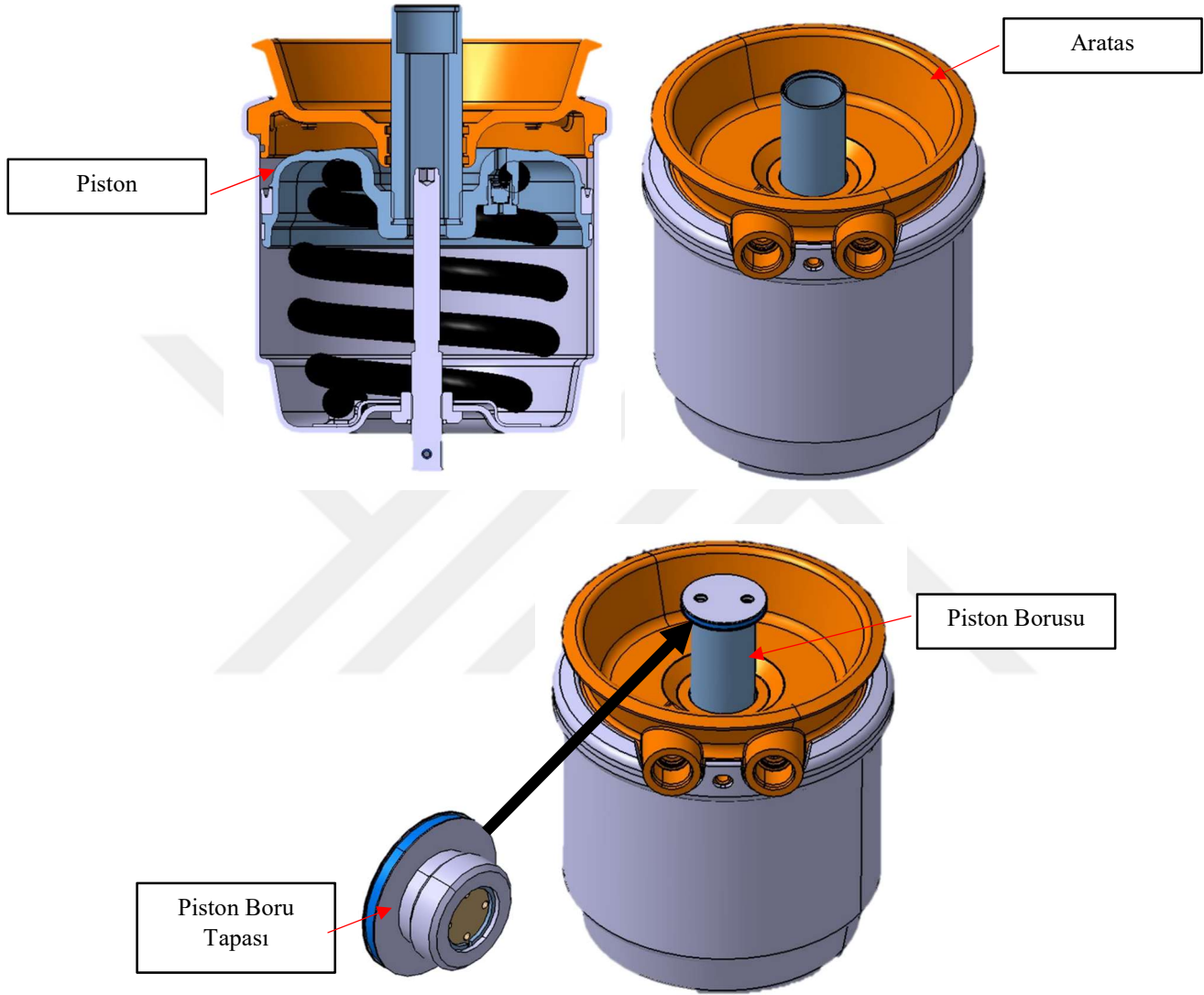
Şekil 3.22’de fren silindiri içten havalandırma koponentlerinin görselleri mevcuttur. Alt gövde havalandırma deliklerinin gerçekleştirmiş olduğu; hava tahliye ve dış ortamdan hava sağlama fonksiyonu bu koponentlerle sağlanmaktadır. Bu koponentler vasıtasıyla, içten havalandırma sistemi geliştirilmiş ve imdat odasında bulunan sarmal imdat yayına çevresel etkenlerin tahribatı önlenmiştir.



Şekil 3.22. Fren körüğünün içten havalandırma koponentleri

İçten havalandırma sisteminde ağır ticari araçların imdat bölümünde bulunan sarmal imdat yay kuvvetini; 6,9-8,3 bar basınçlı hava, alüminyum piston üzerine etki ederek ve pistonun sarmal imdat yayını sıkıştırması sonucu yenmiş olur. Şekil 3.23’de görüldüğü üzere; sarmal imdat yayının sıkıştırılması sürecinde, imdat yay bölümünde bulunan düşük basınçlı (1-2 bar) hava alüminyum boru üzerindeki tapanın hava tahliye delikleri vasıtasıyla, tahliye havası servis bölümüne yönlendirilir. Alüminyum tapa üzerinde bulunan sızdırazlık elemanı olarak kullanılan o-ringler servis bölümündeki havanın imdat bölümüne geçişine olanak sağlamaz. Bu

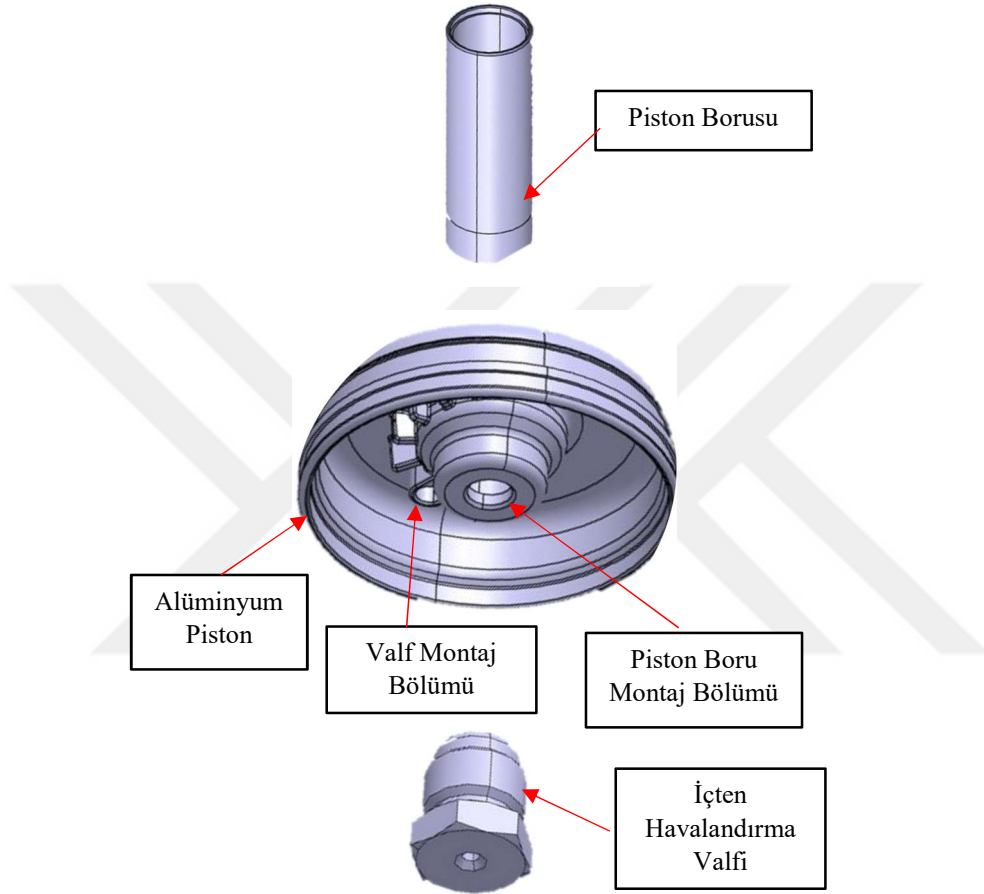
sayede, sarmal imdat yayının blok haline geçmesi sürecinde, imdat bölümünde tepki basıncına neden olacak düşük basınçlı hava bulunmamış olacaktır. Sarmal imdat yayının blok haline gelmesiyle birlikte ağır ticari araçların frenleme körükleri, araçların fren disklerine yada kampanaya kuvvet uygulamaz pozisyona geçer ve bu sayede, araç hareket edebilir.



Şekil 3.23. Fren körüğünün içten havalandırma borusu ve tapası

Araç sürüş pozisyonunda imdat odası üzerinde bulunan yaklaşık olarak 6,9-8,3 bar basınçlı hava, araç park haline alınması yada el freninin aktive edilmesi istenilmesi durumunda fren körüğü içerisinde aratasın 12 nolu portu vasıtasıyla tahliye edilir, atmosfere atılır. Basınçlı havanın tahliye edilmesiyle birlikte, sarmal imdat yayı mekanik olarak blok durumdan, sarmalların açılması pozisyonuna geçmesi sürecinde, imdat odasındaki besleme basıncını yenecek yaklaşık olarak 1-2 barlık atmosfer basıncına ihtiyaç duyulmaktadır. İçten havalandırma sisteminde bu atmosfer basıncı havalandırma deliği vasıtasıyla çevreden alınmadan, alüminyum piston

üzerine montajlanmış valf vasıtasıyla aratas ile piston arasında bulunan düşük basınçlı hava alınarak sağlanmış olur. Bu sayede, sarmal imdat yayının blok pozisyonundan, sarmalların açık pozisyonuna geçişi tamamlanmış olur. Şekil 3.24’de alüminyum piston üzerine montajlanmış valf ve komponentlerin görselleri mevcuttur.



Şekil 3.24. Fren körüğünün içten havalandırma valfi

4. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, ağır ticari araçların havalı fren sistemindeki fren körüğünün alt bileşeni olan imdat yayındaki korozyonun, oluşum süreci simüle edilmiştir. Sarmal imdat yayı yüzeyinde oluşan korozyonun, performans test cihazında ki ömür fonksiyonu incelenmiştir. Sonrasında ise fren silindirin imdat bölümüne dahili havalandırma sistemi uygulanmasıyla birlikte, imdat yayının kuvvet-strok grafikleri ölçüm cihazında incelenmiştir.

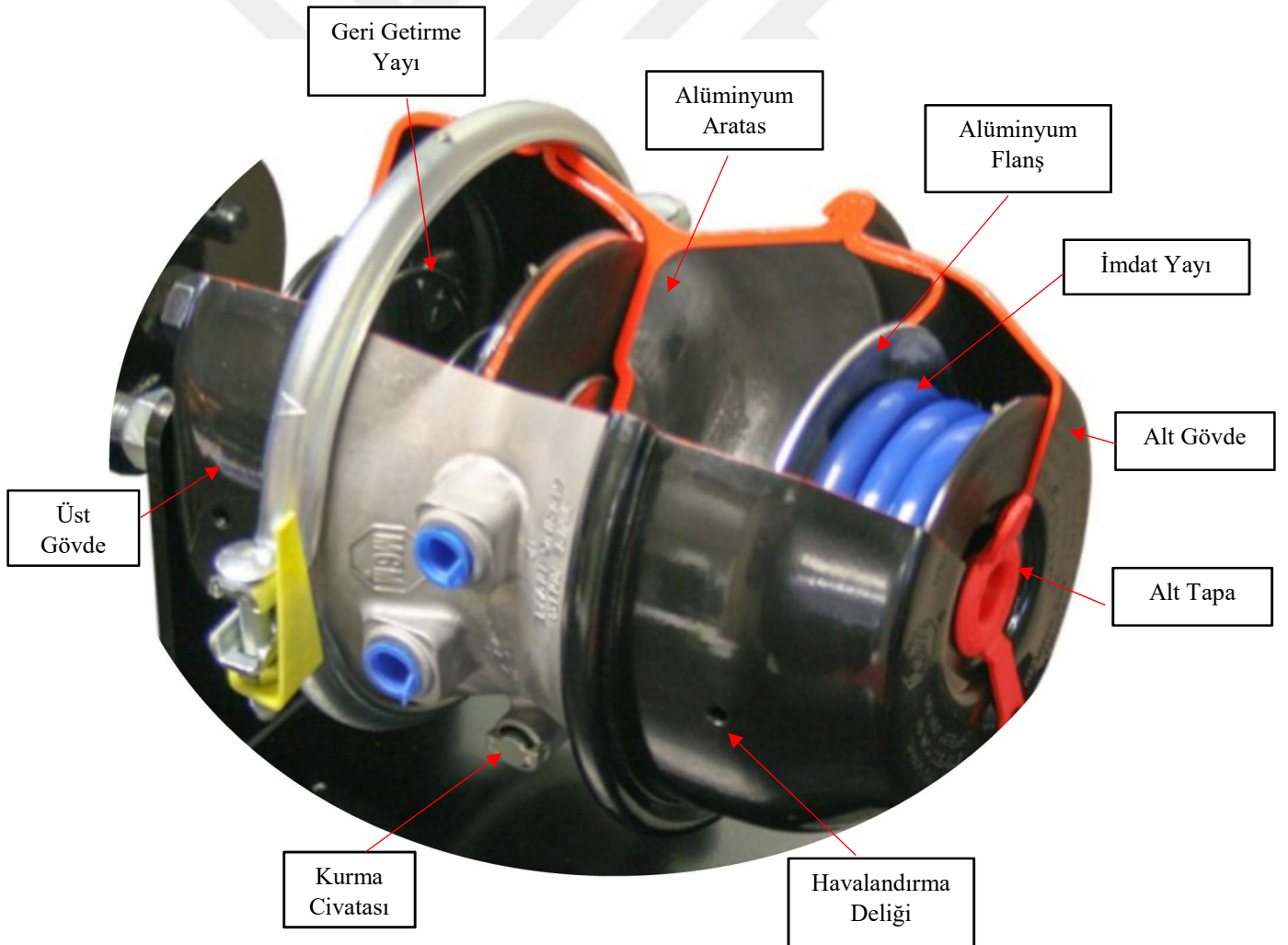
4.1. Sarmal İmdat Yayı Üzerinde Korozyon Oluşum Sebepleri

Ağır ticari araçlar, birçok farklı komponentden, sistemden ve birbiriyle etkileşim halinde olan bileşenlerden tasarlanmış komplike taşıtlardır. Tasarım süreçlerinde tercih edilen malzemeler; üretim, nakliye ve depolama sırasında atmosfer basıncı, yağ, nem ve diğer çevresel etkenlerle etkileşime girebileceği gibi, araca montajı tamamlandıktan veya araç işletmeye alındıktan sonra da birbirleriyle etkileşim halinde olabilirler. Bu sebeplerle, araç üretiminde kullanılan malzemeler süreç içerisinde; mukavemetleri azalabilir, sertleşebilir, kimyasal dayanımları değişebilir ve hatta fonksiyonlarını yerine getiremeyebilirler. Çevresel nedenlerle komponentler üzerinde fiziksel ve kimyasal değişiklikler görülmesi, ürünün yaşlanma sürecinin başladığı anlamına gelir. Araç üreticileri ise ürettikleri ürünlerin orijinal tasarım ömrüne ulaşmadan yaşlanma süreçlerinin başlamasını istemezler. Bu sebeple, otomotiv endüstrisi tarafından, yaşlanma sürecinin uzaması kapsamına yönelik ARGE ve ÜRGE çalışmalarına ciddi yatırımlar yapılmaktadır.

Ağır ticari araçların frenleme ekipmanı olarak tasarlanmış fren silindirleri içerisinde bulunan sarmal imdat baskı yayına etki eden aşındırıcı koroziv maddelerin, yay performansını ne şekilde değiştirebileceğini kesin olarak tahminlemek zordur. Sarmal imdat baskı yayına etki eden korozyon nedeniyle; tel kesitinin çap olarak kaybı, yapısal performansta düşmeler, mukavemetin azalması, sertlik ve süneklik açısından değişimlere neden olabilir. Korozyon, özellikle yüksek stres konsantrasyonlarına sahip aşınmış bölge yüzeylerinde, yorulma mukavemetinde önemli bir azalma sağlayabilir. Lokalize korozyon meydana geldiğinde, gerilim alanı üzerindeki düz olmayan yüzeylerin ve homojen olmayan malzeme özelliklerinin etkileri nedeniyle mukavemet azalması tespit edilebilir. İmdat yaylarının mukavemetin azalması, performans değişimlerinin istenilen teknik verilere uygun olmaması ve tel kesitlerinde çap kayıpları nedeniyle, ağır ticari araçların trafikte maddi ve ölümlü kazalara sebebiyet vermesi kaçınılmaz olmaktadır.

Yayların üretim ve kullanımında en önemli hususlardan biri statik yük altındaki dayanımı diğeri de dinamik yük altındaki yorulma ömrüdür. Statik zorlama; elemanı zorlayan kuvvet/momentin veya elemanın kesitinde meydana gelen gerilmelerin sabit kaldığı zorlama şeklidir. Dinamik zorlama; elemanı zorlayan kuvvet/momentin veya kesitinde meydana gelen gerilmelerin zamana göre maksimum ve minimum değerler arasında değiştiği zorlama şeklidir. Yayların ömürleri, değişik şartlar altında belirli testlerin uygulanmasıyla belirlenir [48-49].

Şekil 4.1’de [50] görüldüğü gibi, fren körüğü kesit gösterimi üzerinde komponentlerin yerleşimi görsel olarak sunulmuştur. Fren silindiri içerisinde bulunan sarmal imdat yayının konumlandırıldığı bölgeye, literatürde imdat odası olarak ifade edilmektedir. Fren silindirinin imdat bölümünün mekanik olarak çalışabilmesi için gerekli olan besleme basıncının alınması yada imdat bölümünde sıkışan basınçlı havanın tahliye edilmesi fren silindiri üzerinde bulunan havalandırma deliği vasıtasıyla gerçekleştirilir.



Şekil 4.1. Fren körüğünün kesitsel olarak gösterimi

Helisel yay sarımlarının kapalı uç kısımlarının işletme sürecinde birbirlerine temas etme olanakları da bulunmaktadır. Şekil 4.2’de görüleceği üzere kapalı uçlu helisel yaylar, korozif maddelerin olduğu ortamda dinamik olarak çalışmaları durumunda, sarımların birbirine teması sonrası üzerlerinde bulunan çinko fosfat koruyucu kimyasal kaplamaların aşınmasına sebebiyet vermektedir. Koruyucu kimyasal kaplamanın ve boyanın aşınması sonrası, korozif maddeler helisel yayların uç kısımlarından itibaren korozyon çukurları oluşumuna neden olmaktadır. Sarımlar arası yeterli mesafe olmaması durumunda, kapalı uçlu helisel yayların sarımları birbirine aşırı temas etmesi sebebiyle, yayın ilk çatlağından son kırılmasına kadar olan süreçte korozyonun ilerlemesine neden olabilmektedir.



Şekil 4.2. Açık ve kapalı uçlu helisel yay

Atmosfere açık fren silindirinin imdat odasına, havalandırma deliği kanalıyla araç sürüş pozisyonunda çevresel etkenlere bağlı olarak korozif maddelerin (çamur, su, toz vb.) girmesi kaçınılmazdır. Fren aktüatörleri aracın altına yerleştirilmiştir ve lastiklerden sıçrayan sulara ve birikintilere doğrudan maruz kalırlar. Aşırı sıcak ve soğuk çevre şartları da fren silindiri komponentlerine olumsuz etki oluşumuna sebep olabilmektedir. Fren silindiri imdat odasına giren korozif maddeler fren körüğünün kullanım ömrü sürecinde, sarmal imdat yayıyla kimyasal etkileşime geçerek bölgesel olarak korozyonun oluşmasına ve ilerlemesine sebep olmaktadır. Sarmal baskı yayı yüzeyinde oluşan korozyon, korozyon çeşidine bağlı olmaksızın; genel korozyon, galvanik korozyon, gerilim korozyonu ve korozyon yorgunluğu yayların

ömrünü ve yük taşıma kabiliyetini azaltırlar. Korozyona tabi olan sarmal yaylar, kullanım ömürlerinin de azalması neticesinde, aracın frenleme anında fren disklerine teknik şartnamelere bağlı istenilen kuvveti uygulayamamaya başlarlar. Mekanik olarak çalışmaya devam eden sarmal imdat yayı üzerinde bulunan korozyon, sürecin ilerlemesi neticesinde de bölgesel olarak aşınmaların oluşmasına neden olmaktadır. Bu yüzey aşınmaları sonrası fiziksel olarak kalıcı deformasyona uğrayan sarmal imdat yayı; mekanik olarak da çalışması sonrasında kırılarak, fonksiyonlarını gerçekleştiremez duruma gelmektedir.

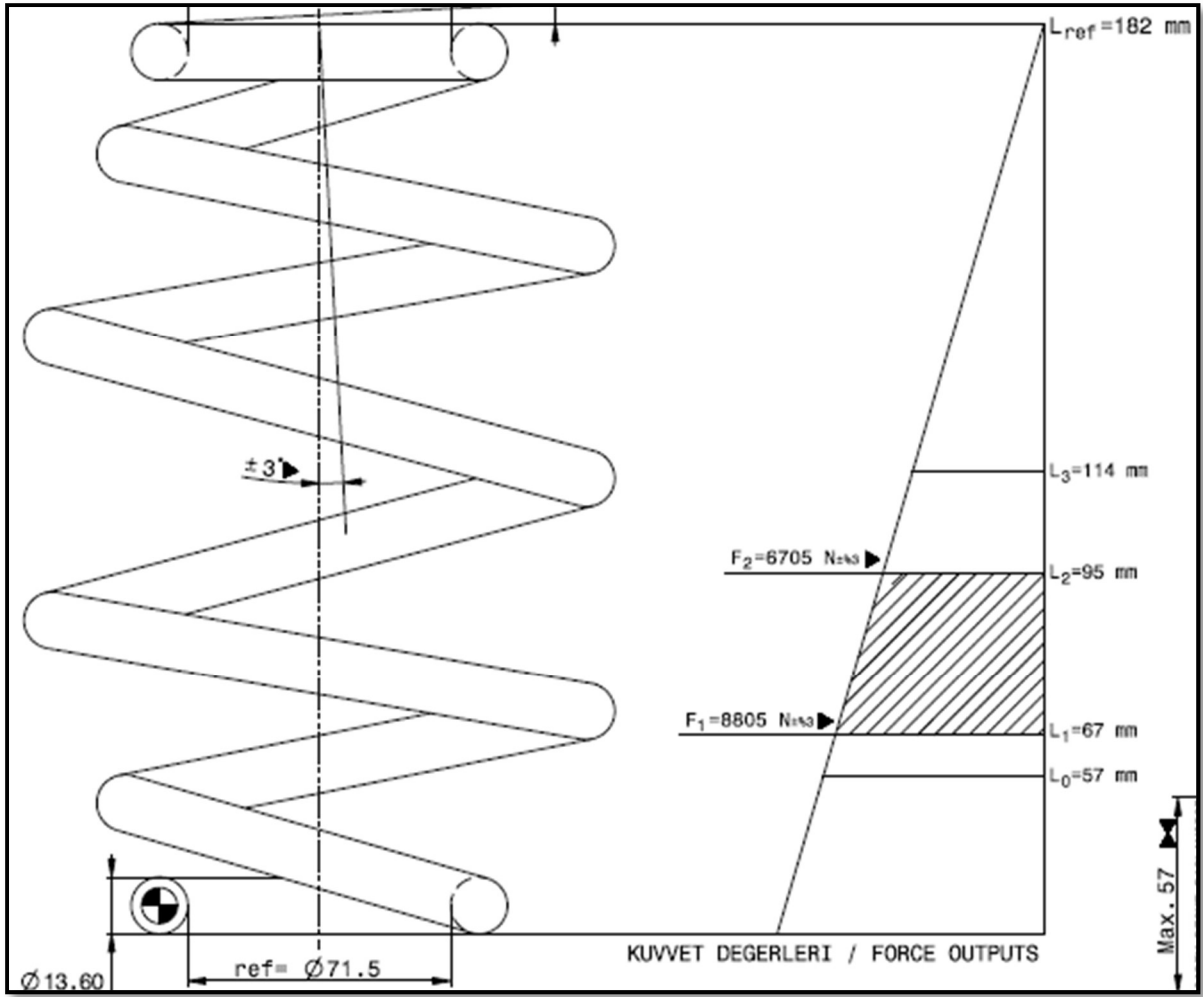
4.2. İmdat Yayı (İş Parçası) Malzemesinin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

Bu çalışma kapsamında 4 farklı tip imdat yayının (helisel) performans verileri incelenmiştir. Şekil 4.3 ve 4.4’de on altı tip, Şekil 4.5 ve 4.6’da yirmi dört tip tip (normal), Şekil 4.7 ve 4.8’de yirmi dört tip (uzun) ve Şekil 4.9 ve 4.10’da otuz tip imdat yaylarının görselleri ve teknik verileri verilmiştir.

On altı tip imdat yayı 182 mm boyunda ve tel kalınlığı 13,6 mm’dır. 57 mm ölçüsünde tel sarımları birbirine temas etmekte dolayısıyla imdat yayı blok pozisyonunda olmaktadır. Kabul kriterlerine göre eksenel eğiklik derecesi $\pm 3^\circ$ ’dir. Yay sıkıştırma boylarına karşılık gelen kuvvet değerleri 67 mm ile 95 mm arasındayken, kuvvet performans ölçümü sonuçları kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.3. On altı tip imdat yayı görseli

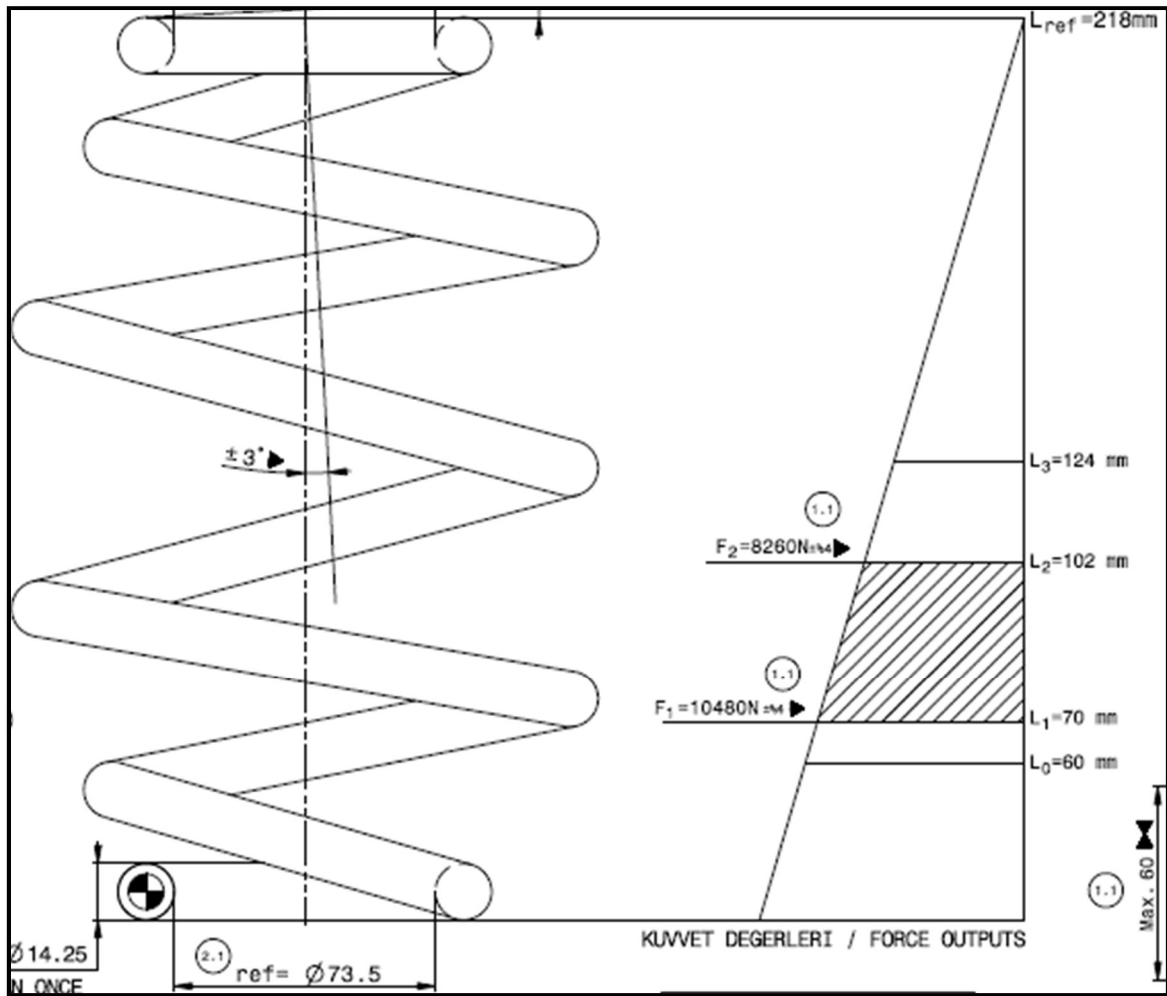


Şekil 4.4. On altı tip imdat yayı teknik verileri

Yirmi dört tip (normal) imdat yayı 218 mm boyunda ve tel kalınlığı 14,25 mm'dir. 60 mm ölçüsünde tel sarımları birbirine temas etmekte dolayısıyla imdat yayı blok pozisyonunda olmaktadır. Kabul kriterlerine göre eksenel eğiklik derecesi $\pm 3^\circ$ 'dir. Yay sıkıştırma boylarına karşılık gelen kuvvet değerleri 70 mm ile 102 mm arasındayken, kuvvet performans ölçümü sonuçları kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.5. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı görseli

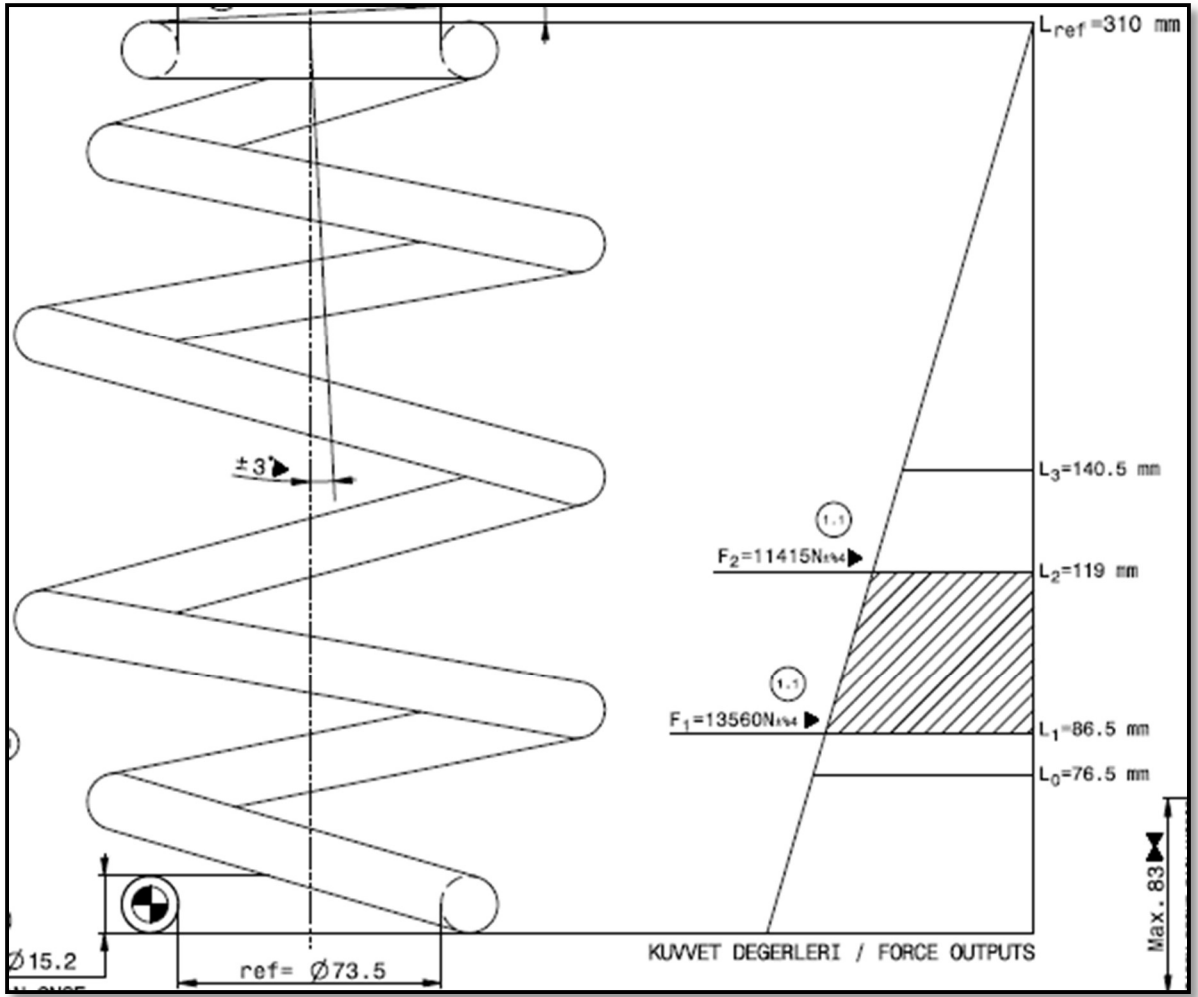


Şekil 4.6. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı teknik verileri

Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı 310 mm boyunda ve tel kalınlığı 15,2 mm'dır. 76,5 mm lsnde tel sarımları birbirine temas etmekte dolayısıyla imdat yayı blok pozisyonunda olmaktadır. Kabul kriterlerine göre eksenel eğiklik derecesi $\pm 3^\circ$ 'dir. Yay sıkıştırma boylarına karşılık gelen kuvvet değerleri 86,5 mm ile 119 mm arasındayken, kuvvet performans ölçümü sonuçları kayıt altına alınmıştır.



şekil 4.7. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı görseli

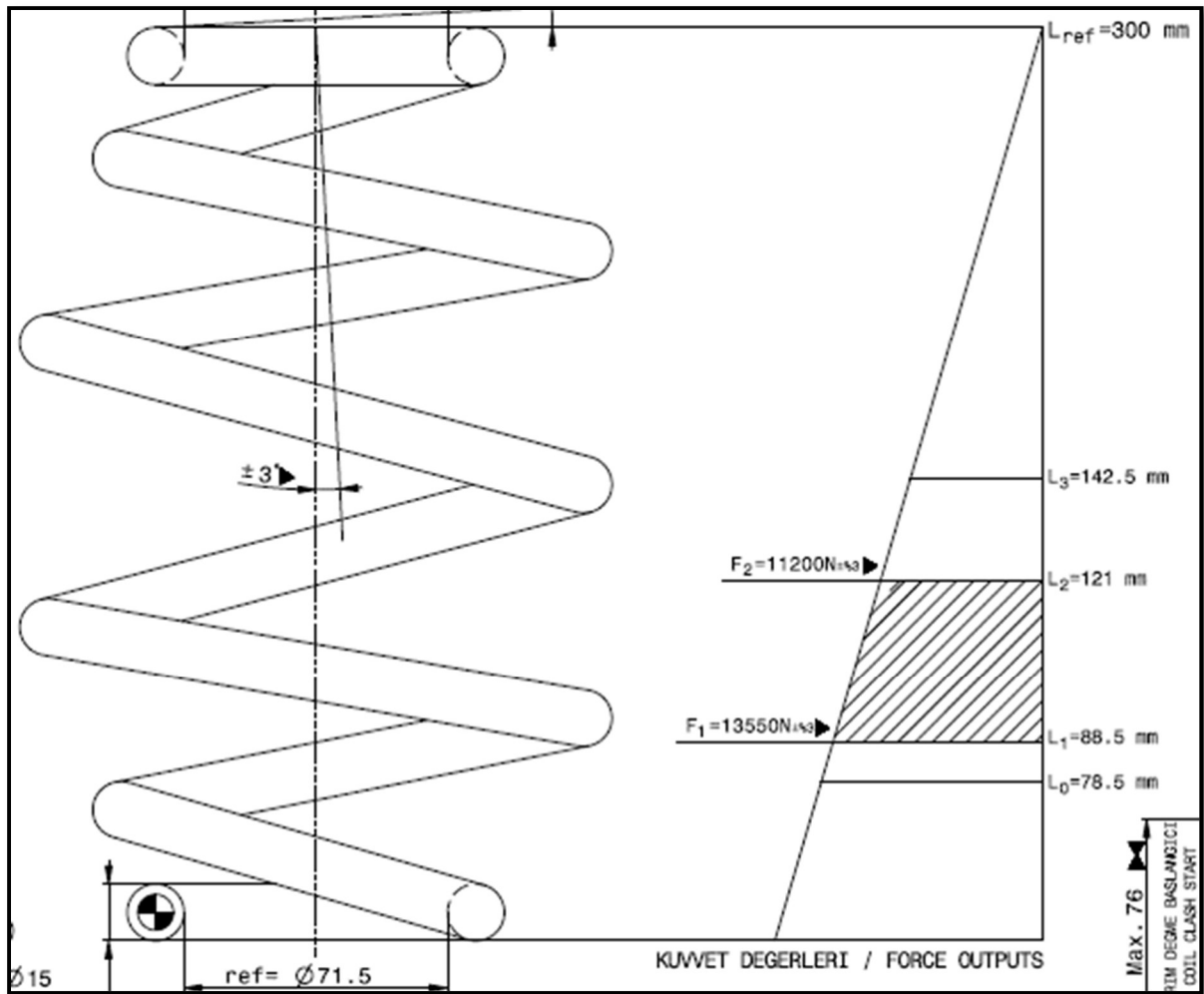


Şekil 4.8. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı teknik verileri

Otuz tip imdat yayı 300 mm boyunda ve tel kalınlığı 15 mm'dir. 78,5 mm ölçüsünde tel sarımları birbirine temas etmekte dolayısıyla imdat yayı blok pozisyonunda olmaktadır. Kabul kriterlerine göre eksenel eğiklik derecesi $\pm 3^\circ$ 'dir. Yay sıkıştırma boylarına karşılık gelen kuvvet değerleri 88,5 mm ile 121 mm arasındayken, kuvvet performans ölçümü sonuçları kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.9. Otuz tip imdat yayı görseli



Şekil 4.10. Otuz tip imdat yayı teknik verileri

Yaylar, belirli bir kuvvet altında büyük elastik deformasyon gösteren elemanlardır. Kuvvet kaldırıldığı zaman, ürün kısmen yada tamamen eski durumuna döner. Yaylar yük altında enerji biriktirirler ve yük kaldırıldığında bu enerjiyi kısmen geri verirler. Yay yapımı için kullanılabilecek çok çeşit karbonlu ve alaşımlı çelikler vardır. Yay çeliklerinin karbon oranı konstrüksiyon çeliklerine göre yüksektir. Çeliğin yorulma dayanımını iyileştirmek için yüzey kalitesine dikkat edilmeli, yüzey karbonsuzlaşmış tabaka, çizik ve katmer gibi yorulma dayanımını azaltan etkiler olmamalıdır. Yaylık tel kalitesini belirlemek için, en az çekme dayanımı ve boyut kontrolünün yanında bükme, sarma ve soğuk çekme oranı deneyleri yapılır. Değişken gerilme altında çalışacak yaylar için yorulma dayanımı en önemli özelliktir.

Yay standartı;

TS EN 10270-1:2011 Mekanik yaylar için: patent tavlı, soğuk çekilmiş, alaşımsız çelik yaylık tel

TS EN 10270-2:2011 Mekanik yaylar için: yağda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş çelik yaylık tel

TS EN 10270-3:2011 Mekanik yaylar için: paslanmaz çelik yaylık tel

Tablo 4.1’de (TS EN 10270-1:2011 standartına göre) patent tavlı, soğuk çekilmiş, alaşımsız çelik yaylık tellerin çekme dayanımları verilmiştir. Patentleme işlemi; yüksek karbonlu yüksek mukavemetli çelik tellere uygulanır. Bu işlemin amacı; çekilebilirliği yüksek, ince perlitik yapı elde etmektir. 900 °C’deki fırından gelen çelik teller erimiş kurşun banyosu içerisinde geçirilip izotermal dönüşüm sağlanması işlemidir. Patentleme işleminin ardından yapılan soğuk çekme ile yüksek dayanımlı teller üretilir. Statik zorlanacak yayların yapımı için üretilen teller S harfiyle, dinamik yüklerle zorlanacak yayların yapımı için üretilen teller D harfiyle gösterilir. Yayın zorlanacağı gerilme seviyesine bağlı olarak, L düşük, M orta, H yüksek anlamına gelmektedir.

Tablo 4.1. Patent tavlı, soğuk çekilmiş, alaşımsız çelik yaylık tellerin çekme dayanımları

Tel Çapı, mm	Çekme dayanımı (minimum), MPa					Açıklama
	SL	SM	DM	SH	DH	
0,05					2800	SL: Statik düşük zorlama
0,3		2370	2370	2660	2660	SM: Statik orta zorlama
1	1720	1980	1980	2230	2230	SH: Statik yüksek zorlama
1,5	1600	1850	1850	2090	2090	DM: Değişken orta zorlama
2	1520	1760	1760	1980	1980	DH: Değişken yüksek zorlama
3	1410	1630	1630	1840	1840	SL, SM; SH kalite teller için
4	1320	1530	1530	1740	1740	çelik kompozisyonu:
5	1260	1460	1460	1690	1660	%C=0,35...1
6	1210	1400	1400	1590	1590	%Si=0,10...0,30
8	1110	1290	1290	1470	1470	%Mn=0,40...1,20
10	1060	1240	1240	1410	1410	%P, %S=0,035
12		1180	1180	1350	1350	%Cu=0,2
15		1160	1160	1270	1270	DH, DM kalite teller için
20		1020	1020	1160	1160	çelik kompozisyonu:
						%C=0,45...1,00
						%Si=0,10...0,30
						%Mn=0,40...1,20
						%P, %S=0,020
						%Cu=0,12

Tablo 4.2’de kullanılan imdat yaylarının kimyasal analiz limitleri verilmiştir. İmdat yaylarının kimyasal bileşenleri 54SiCr6’dır.

Tablo 4.2. Kimyasal analiz limitleri

Kaliteler	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
54SiCr6	0.52 – 0.56	1.40 – 1.50	0.60 – 0.70	< 0.015	< 0.010	0.60 – 0.70	-

4.3. Sarmal İmdat Yayına Uygulanan Korozyon Test Süreci ve Cihazları

Sarmal imdat yayınının korozif etkenlere karşı direncinin artırılması amacıyla uygulanan elektro - statik toz boya kaplamasına rağmen, mekanik çalışma şartlarına bağlı olarak korozyon oluşumu olabilmektedir. İmdat yayı yüzeyinde fren silindiri içerisinde mekanik olarak çalışması sürecinde, çevresel şartlara bağlı olarak oluşan korozyon oluşumu tespit edilebilmektedir. Korozyon oluşumunun değerlendirilmesi amacıyla TS EN ISO 9227:2012 (tuz püskürtme deneyleri) standardına göre, sarmal imdat yayı yüzeyine nötr tuz spreyi testi 504 saat süresince uygulanmıştır (Tablo 4.3’de verilen nötr tuzlu sprey (NSS) deney metodu öğeleri; metaller ve bunların alaşımları, metalik kaplamalar (anodik ve katodik), dönüşüm kaplamaları, anodik oksit kaplamalar ve metalik malzemeler üzerinde organik kaplamaların korozyon dayanımının tespiti için uygulanır.). Oda sıcaklığında cihaz içerisine koyulacak tuz karışımı için 160 litre saf su ve 8 kg tuz ilave edilmiştir.

Tablo 4.3. NSS deney metodu ögeleri

Deney Metodu Ögeleri	Nötr Tuz Püskürtme (NSS)
Test kabin sıcaklığı	35 °C ± 2 °C
NaCl konsantrasyonu	%5 (± %0,5)
Toplam çözelti pH	6,5-7,2
Toplam çözelti yoğunluğu	1,029-1,036 g/cm ³
Püskürtme hava basıncı	1 bar (± 0,2 bar)

Şekil 4.11’de TS EN ISO 9227:2012 standartına göre, nötr tuz testi (NSS) cihazına yerleştirilecek olan sarmal imdat yayının görünümü mevcuttur. On altı tip imdat yayına, 504 saat süresince deney kabini içerisinde nötr tuz spreyi testi uygulanacaktır.



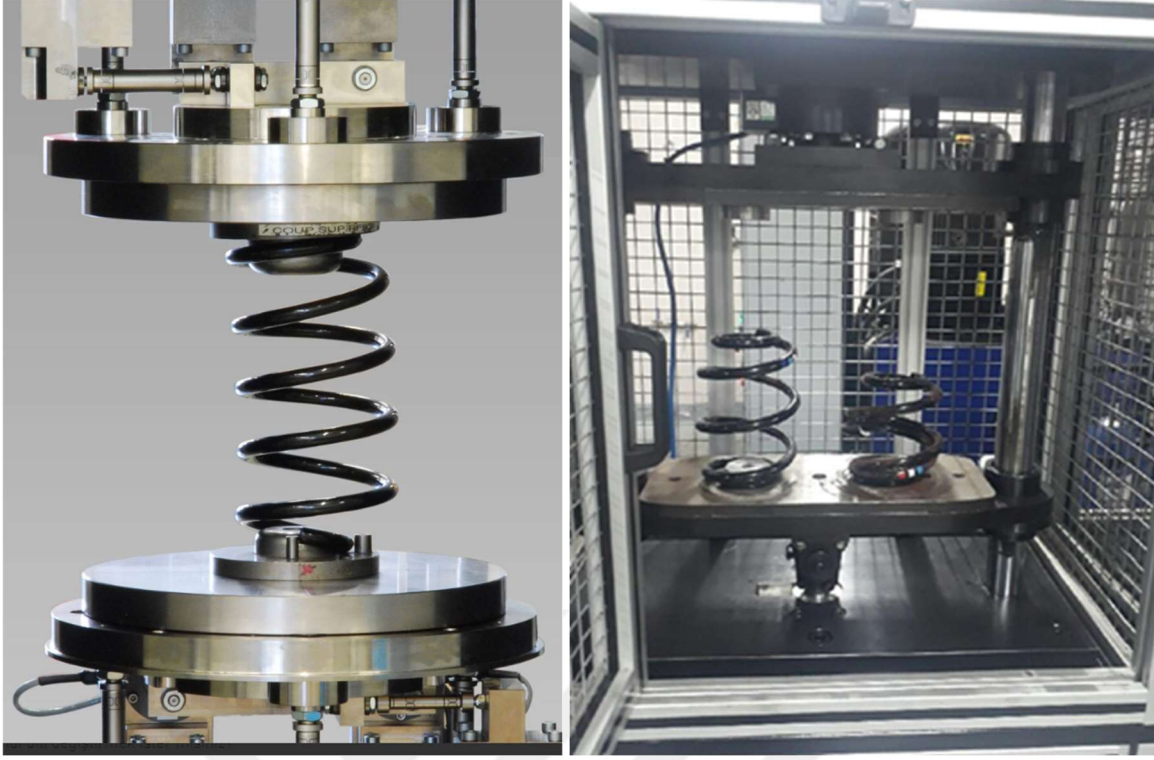
Şekil 4.11. Helisel yayın korozyon cihazına yerleştirilmeden görünümü

Şekil 4.12’de nötr tuz testi (NSS) uygulanmış sarmal imdat yayının, korozyon cihazından alındıktan sonraki görüntüsü mevcuttur. On altı tip sarmal imdat yay bobin yüzeyinde, koruyucu elektro-statik toz boyanın aşındığı bölgelerde korozyon oluşumunun başladığı görülmektedir. Korozyon oluşumunun başladığı noktalarda, sarmal imdat yayı otomatik çalıştırma makinasına yerleştirilerek korozyonun yay yüzeyindeki etkileri incelenmiştir.



Şekil 4.12. Helisel yay yüzeyinde korozyon başlangıç görünümü

Nötr tuz testi uygulanmış olan sarmal imdat yayı daha sonra otomatik çalıştırma makinasına yerleştirilerek korozyonun yay yüzeyindeki etkileri, ömür testi sürecinde fiziksel olarak incelenmiştir. Şekil 4.13’de sunulan gösterimde, korozyon süreci sonrası sarmal imdat yayı dikey pozisyonda performans test cihazına yerleştirilir, ömür süreci (1.500.000 cycle) döngüsü boyunca mekanik olarak çalıştırılır ve korozyonun; sarmal imdat yayında kalıcı deformasyon (kırılma, ezilme, çatlama, vb.) oluşumuna etkileri ve performans ölçümü yapılarak, kuvvet değerlerinin min. ve max. sınırları aralığında olup-olmadığının analizi yapılmıştır.



Şekil 4.13. Sarmal imdat yayı performans test cihazı

Korozyona uğramış yayların bazıları, sarmal yay performans cihazında ömür süreci boyunca mekanik olarak çalıştırılma periyodunda, kalıcı deformasyona uğradığı tespit edilmiştir. Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16’da görüldüğü üzere, korozyonun; çelik alaşımlı malzemelerin performans verileri üzerinde, yalnızca malzemenin kimyasal bileşenlerine etki etmenin yanı sıra, aynı zamanda fiziksel ölçüm verilerini de değiştirdiği için çok büyük bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Korozyonun, sarmal imdat yaylarının yaşlanma süreçlerinin tamamlanmasını olumsuz şekilde etkilemesi sebebiyle yayların performans verisi kalite standartlarını sağlayamadığı analiz edilmiştir. Sarmal yay sarımlarının kapalı uç kısımlarının fren silindiri içerisinde frenleme sürecinde birbirine temasıyla birlikte elektro-statik toz boyanın aşınması sonucu, ortamda bulunan çamurlu suyun korozif etkisiyle korozyon çukurlarının oluşmaya başladığı görsel olarak belirlenmiştir. Korozyon nedeniyle; çeliğin çap kalınlığının kaybı (yaklaşık 1-1,5 mm), yapısal kuvvet performansında güç/dayanım kaybı ve özellikle aşınmış bölgelerde kalıcı deformasyona (yay düzeyinde çatlaklar ve kırılmalar) uğradığı belirlenmiştir.



Şekil 4.14. Helisel yay yüzeyinde görülen korozyon



Şekil 4.15. Helisel yay yüzeyinde görülen korozyon



Şekil 4.16. Korozyon oluşumu sonucu deformasyon görüntüleri

4.4. Dahili Havalandırma Uygulaması Sonucu Performans Bulgularının Elde Edilme Yöntemi

Dahili havandırma uygulaması sonucu fren körüğünün imdat bölümünde bulunan imdat yayının (helisel) performans ve strok verilerinin ölçümleri Şekil 4.17’de gösterilen kuvvet/strok ölçüm test sisteminde incelenmiştir. Ölçüm sonuçlarının kuvvet (N) ve strok (mm) değerleri, excel formatından kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.18’de gösterilen performans grafikleri kullanılarak; imdat yayının her mm hareketine karşılık gelen kuvvet değerlerinin, havalı frenleme sistem standartlarına göre tanımlanmış alan içerisindeki durumu incelenmiştir.

Sarmal imdat yayının sıkıştırılması sürecinde imdat yay bölümünde bulunan düşük basınçlı havasının servis bölümüne tahliye edilmesi veya sarmal imdat yayının açılması sürecinde imdat yay bölümü için gereken besleme basıncının dahili havalandırma uygulamasıyla sağlandığı, performans ölçüm grafiği, havalı frenleme sistem standartlarına göre tanımlı alanın içerisinde kalması sebebiyle doğrulanmıştır.

Havalı frenleme sistem standartları;

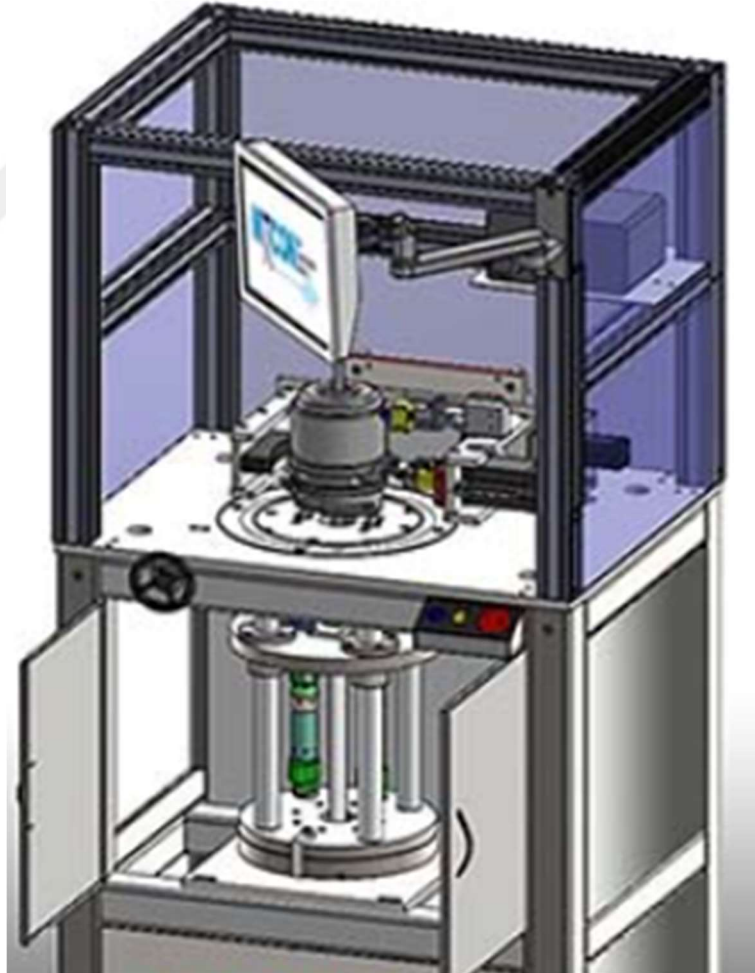
DIN 74060-1 Havalı fren sistemleri, pnömatik aktüatör, fren odası, teknik veri

DIN 74060-2 Havalı fren sistemleri, pnömatik aktüatör, fren körükleri, kamalı fren için teknik veriler

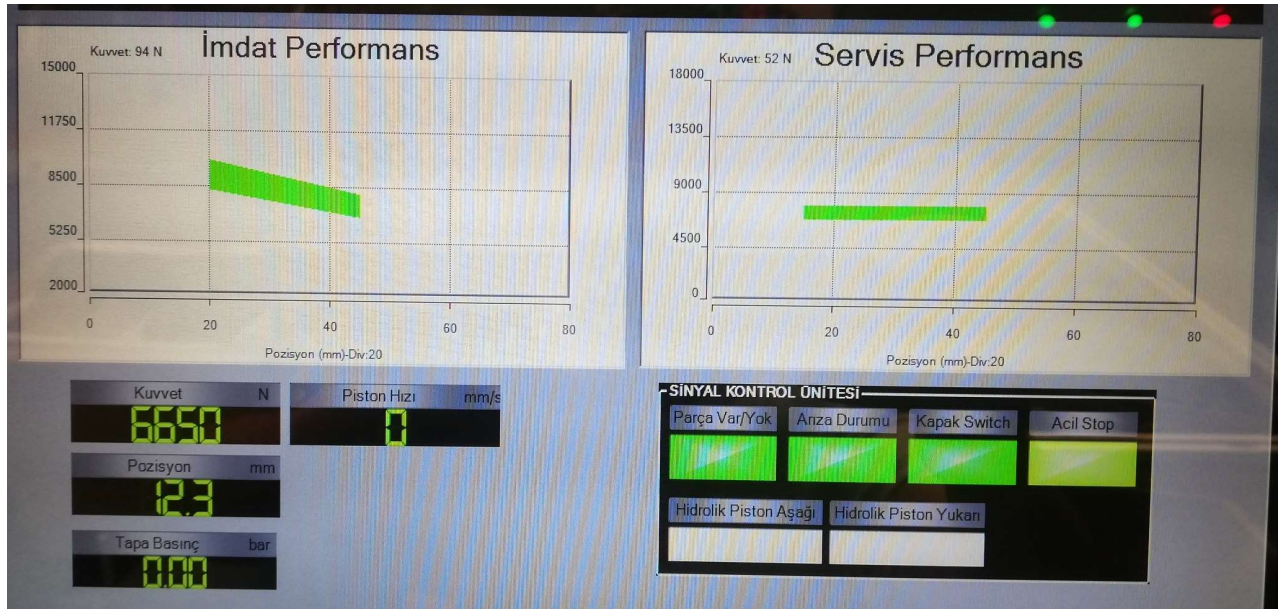
DIN 74060-3 Havalı fren sistemleri, pnömatik aktüatör, fren körükleri, disk freni için teknik veriler

DIN74060-10 Havalı fren sistemleri, hava basıncı silindiri,fren odası, strok boyunca çıkış kuvvetinin ölçüm yöntemi

Eğer tahliye basıncı tahliye edilememiş olsaydı, imdat yayı blok haline geçemeyecek ve bu sebeple kuvvet değeri tanımlı alan üzerinde olacaktır. İmdat yayının blok pozisyonundan açılması sürecinde; gereken besleme basıncında sağlanamamış olması durumunda ise yay stroğa ulaşamayacak ve bu sebeple kuvvet değeri tanımlı alan altında kalacaktır. Her iki durumda da dahili havalandırma uygulamasının gerekli (besleme basıncı/tahliye basıncı) basıncı sağladığı grafiklerle saptanmıştır.



Şekil 4.17. Kuvvet ve strok ölçüm test sistemi



Şekil 4.18. Performans grafiği

Kuvvet değerlerinin ölçümü Şekil 4.19’da gösterilen loadcell cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm aralığı maksimum 20 kN değer ölçen cihaz kullanılmıştır. Loadcell teknik özellikleri Tablo 4.5’de verilmiştir. Performans ve strok ölçüm test sistemi içerisinde bulunan lineer cetvel vasıtasıyla strok verileri ölçülmüştür. Lineer cetvel teknik özellikleri Tablo 4.4’de verilmiştir. Tüm bu veriler grafik formatında kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.19. Loadcell cihazı

Tablo 4.4. Lineer cetvel teknik özellikleri

Teknik Özellikler	
Strok değeri	50 mm ile 750 mm arasında farklı ölçme boyları
Çözünürlük	< 0,01 mm
Tekrarlanabilirlik	0,01 mm
Linearite (Doğrusallık)	%0,04 - %0,2
Direnç değerleri	3, 5, 10 k Ω
İzolasyon direnci	≥ 10 M Ω
Maksimum akım	10 mA
Maksimum gerilim	42 V
Gövde	Alüminyum
Koruma sınıfı	IP65
Çalışma sıcaklığı	-30 °C ... +100 °C
Ömür	> 50 x 10 ⁶ hareket
Hız	5 m/s
Elektriksel bağlantı şekli	4 pinli yuvarlak konnektör, M12x1 3 telli PVC kablo, 3 x 0,34 mm, ekranlı, 1 m uzunluk

Tablo 4.5. Loadcell teknik özellikleri

Maksimum kapasite (E max)	kg	10000	20000	25000
Hassasiyet sınıfı (OIML R 60 standartlarına göre)		C1	C3	C4
Maksimum bölüntü sayısı		1000	3000	4000
Minimum ölçüm aralığı		E max/ 5000	E max/ 6000	E max/ 8850
Toplam hata	%	$\leq \pm 0,05 \leq \pm 0,02 \leq \pm 0,015$		
Sıfıra dönüş hatası	%E max	0,0050	0,0033	0,0025
Minimum yük	%E max	0		
Aşırı yükleme kapasitesi	%E max	150		
Aşırı yan yükleme kapasitesi	%E max	100		
Kırılma kapasitesi	%E max	300		
Esneme (E max yükte)	mm	$\leq 0,3$		
Maksimum uyarma gerilimi (U max)	V	15		
Kazanç (Cn)	mV/V	$2 \pm 0,1 \%$		
Yüksüz çıkış	% Cn	$\leq \pm 1,0$		
Giriş direnci	Ω	385 ± 20		
Çıkış direnci	Ω	351 ± 3		
İzolasyon direnci	M Ω	≥ 500		
Düzeltilmiş çalışma sıcaklığı aralığı	°C	$-10...+ 40$		
Çalışma sıcaklığı aralığı	°C	$- 40...+ 80$		
Yük hücresi malzemesi		Paslanmaz Çelik		
Koruma sınıfı (EN 60529 standartlarına göre)		IP68		
Kablo boyu	m	$14 \text{ veya } 16 \pm \%3$		
Kablo dış çapı	mm	8		
Ağırlık	kg	8		
Paket ebatları/ağırlığı	cm/kg	$25 \times 25 \times 18/8,3$		

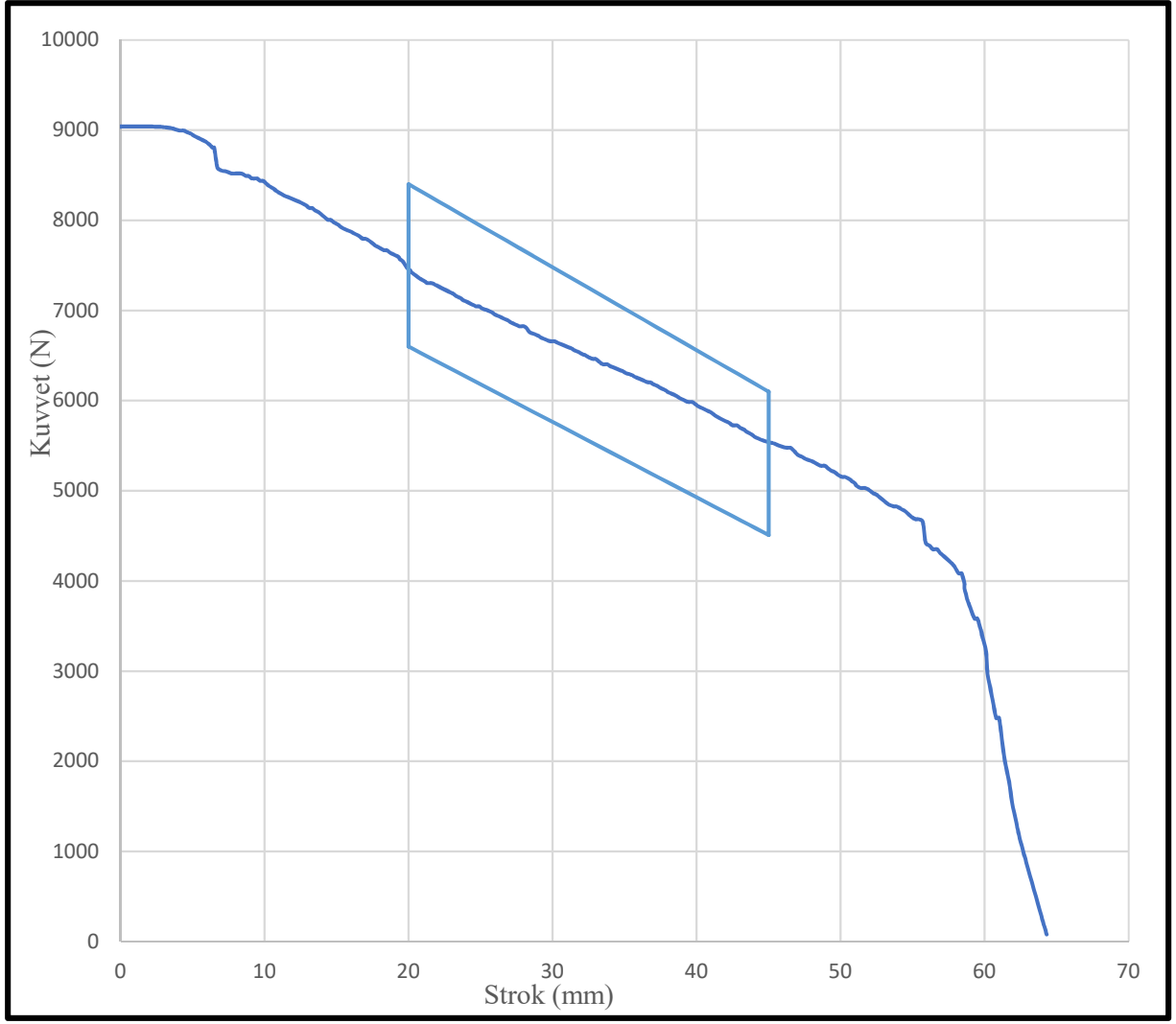
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Dahili (İçten) Havalandırma Sisteminde Bulunan Sarmal İmdat Yayısı Performans Bulguları

Yapılan deneysel çalışmalar ve bunlardan alınan verilerin analizlerinden elde edilen sayısal sonuçlar bu bölümde irdelenmiştir.

5.1.1. On altı tip imdat yayısının performans bulguları

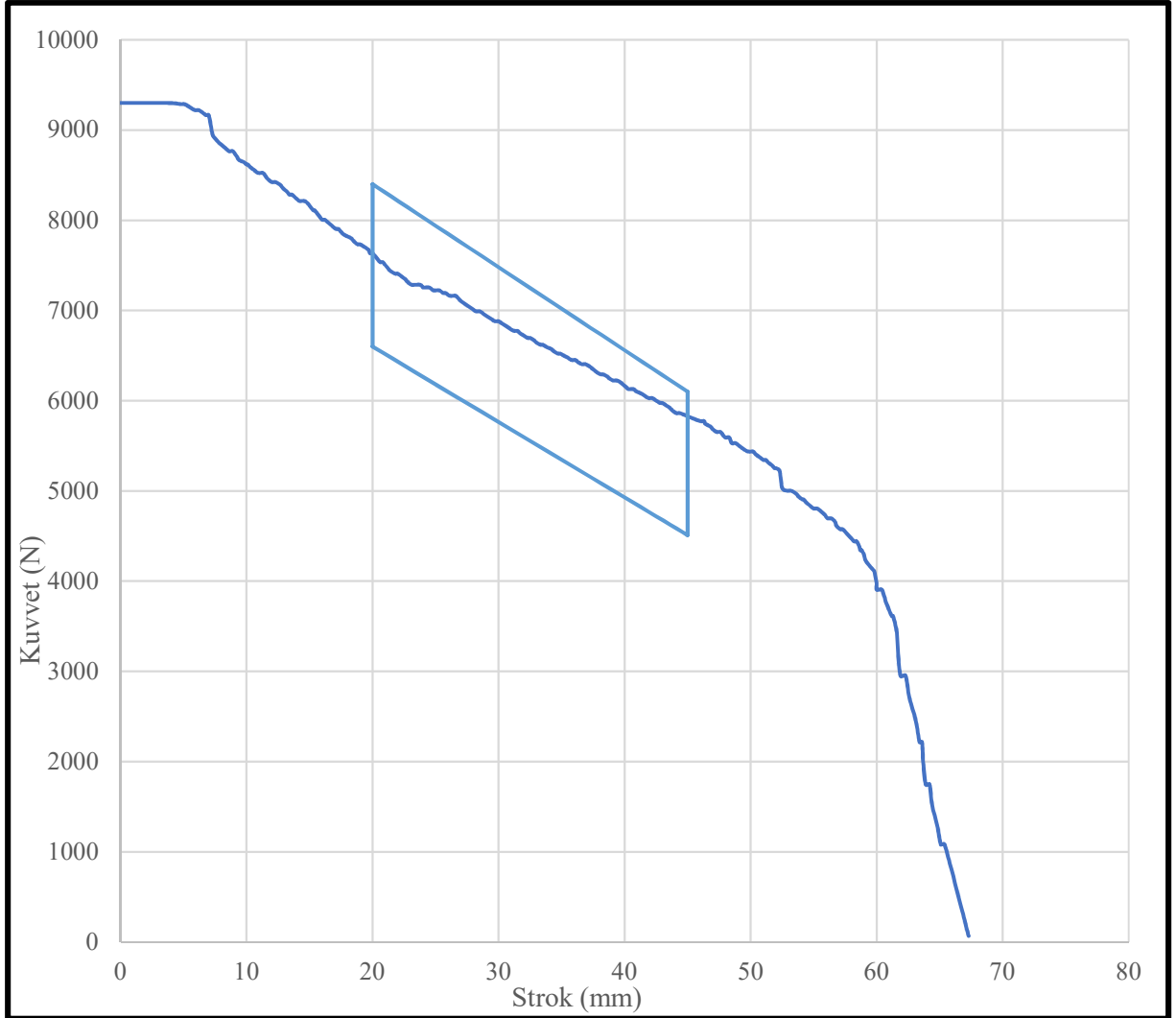
Birinci deneyde dahili havalandırma sistemi uygulanmış fren körüğünde bulunan on altı tip imdat yayısının; kuvvet (N) ve strok (mm) verilerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.1’de verilmiştir. İmdat yayısı blok halindeyken (0 strok) maksimum kuvvet 9040 N değeri ölçülmekte, strok artıkça (imdat yayısı üzerindeki basınç azaldıkça) kuvvet azalmaktadır. Ağır ticari araçların frenleme sürecinde fren körüklerinde on altı tip imdat yayısının kullanılması halinde; yay açıklığı 20 mm ile 45 mm arasında stroğa ulaştığında, 7448 N ile 5550 N arasında kuvvet ölçümü yapılmıştır. Yayın stroğu artıkça kuvvet değeri azalmıştır ve strok tamamen açıldığında kuvvet değeri 0 N olmuştur. EK 1-Tablo 1’de kuvvet-strok verilerinin loadcell ölçüm sisteminden çıkan sonuçları detaylı olarak excel formatında raporlanmıştır. Sarmal imdat yayısının sıkıştırılması sürecinde imdat yay bölümünde bulunan düşük basınçlı havanın servis bölümüne tahliye edilmesi veya sarmal imdat yayısının açılması sürecinde imdat yay bölümü için gereken besleme basıncının dahili havalandırma uygulamasıyla sağlandığı; performans grafiğinin DIN 74060 (havalı frenleme sistem standartlarına) göre tanımlı alanın içerisinde kalması sebebiyle doğrulanmıştır.



Şekil 5.1. On altı tip imdat yayı performans grafiği

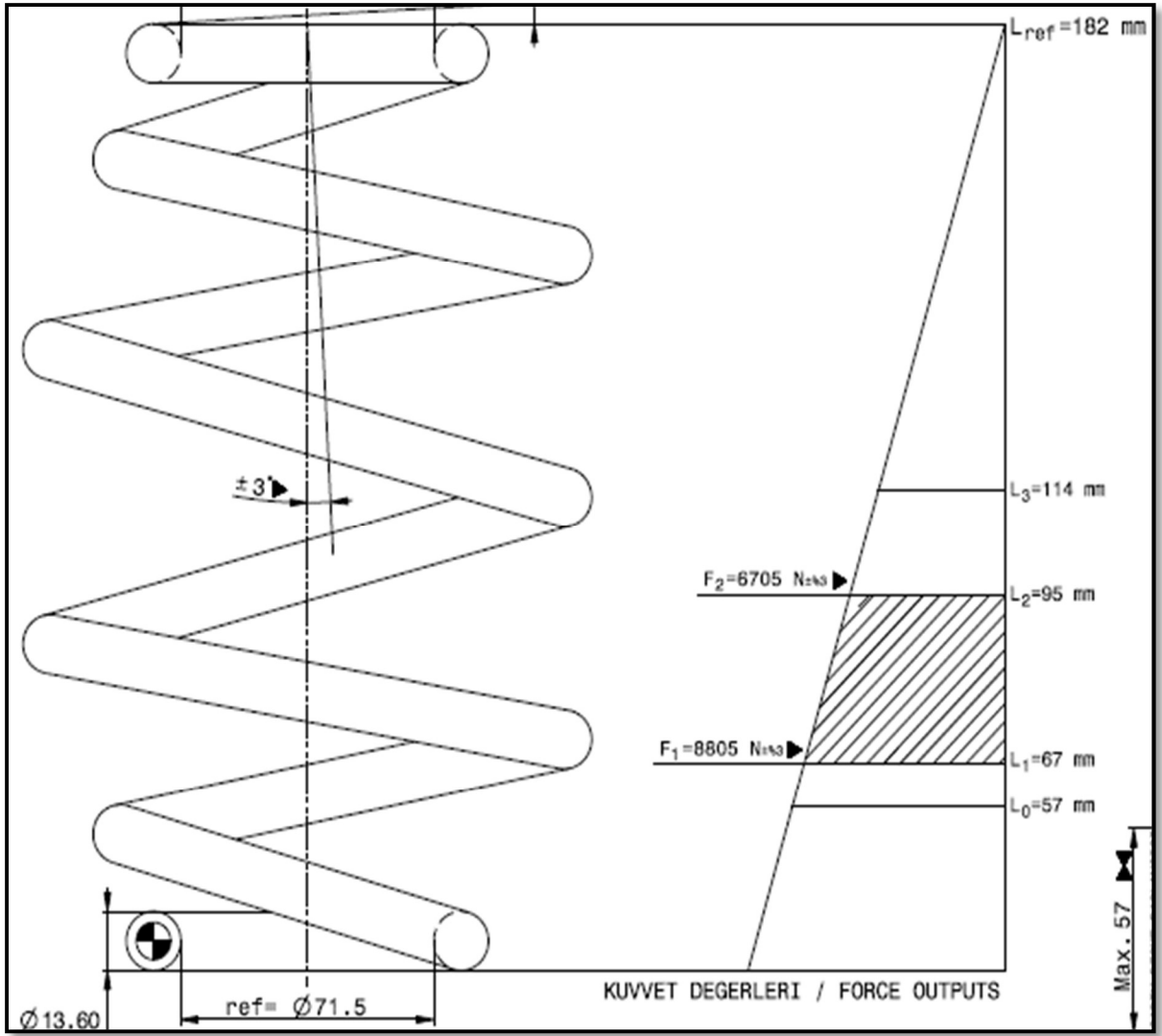
İkinci deneyde dahili havalandırma sistemi uygulanmış fren körüğünde bulunan on altı tip imdat yayının kuvvet (N) ve strok (mm) verilerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.2’de verilmiştir. İmdat yayı blok halindeyken (0 strok) maksimum kuvvet 9300 N değeri ölçülmekte, strok artıkça (imdat yayı üzerindeki basınç azaldıkça) kuvvet azalmaktadır. Ağır ticari araçların frenleme sürecinde fren körüklerinde on altı tip imdat yayının kullanılması halinde; yay açıklığı 20 mm ile 45 mm arasında stroğa ulaştığında, 7634 N ile 5830 N arasında kuvvet ölçümü yapılmıştır. Yayın stroğu artıkça kuvvet değeri azalmıştır ve strok tamamen açıldığında kuvvet değeri 0 N olmuştur. EK 1-Tablo 2’de kuvvet-strok verilerinin loadcell ölçüm sisteminden çıkan sonuçları detaylı olarak excel formatında raporlanmıştır. Sarmal imdat yayının sıkıştırılması sürecinde imdat yay bölümünde bulunan düşük basınçlı havanın servis bölümüne tahliye edilmesi veya sarmal imdat yayının açılması sürecinde imdat yay bölümü için gereken besleme basıncının dahili havalandırma uygulamasıyla sağlandığı; performans grafiğinin DIN

74060 (havalı frenleme sistem standartlarına) göre tanımlı alanın içerisinde kalması sebebiyle doğrulanmıştır.



Şekil 5.2. On altı tip imdat yayı performans grafiği

Şekil 5.3'de on altı tip imdat yayının kuvvet ve strok verilerini gösteren teknik resim datası bulunmaktadır. İmdat yayının $L_0 = 57$ mm stroğunda 200 saat basılı tutulduktan sonra, blok durumundan L_1 stroğuna geldiğinde kuvvet (N) ≥ 8260 N'den büyük olması ve L_2 stroğuna geldiğinde ise kuvvet (N) ≥ 6090 N'den büyük olması havalı frenleme sistem standartlarına göre frenleme açısından gerekmektedir (L_1 'deki kuvvet ≥ 8260 N, L_2 'deki kuvvet ≥ 6090 N). On altı tip imdat yayı için bu kriterleri ölçüm sonuçlarının sağladığı deneysel çalışmada saptanmıştır.

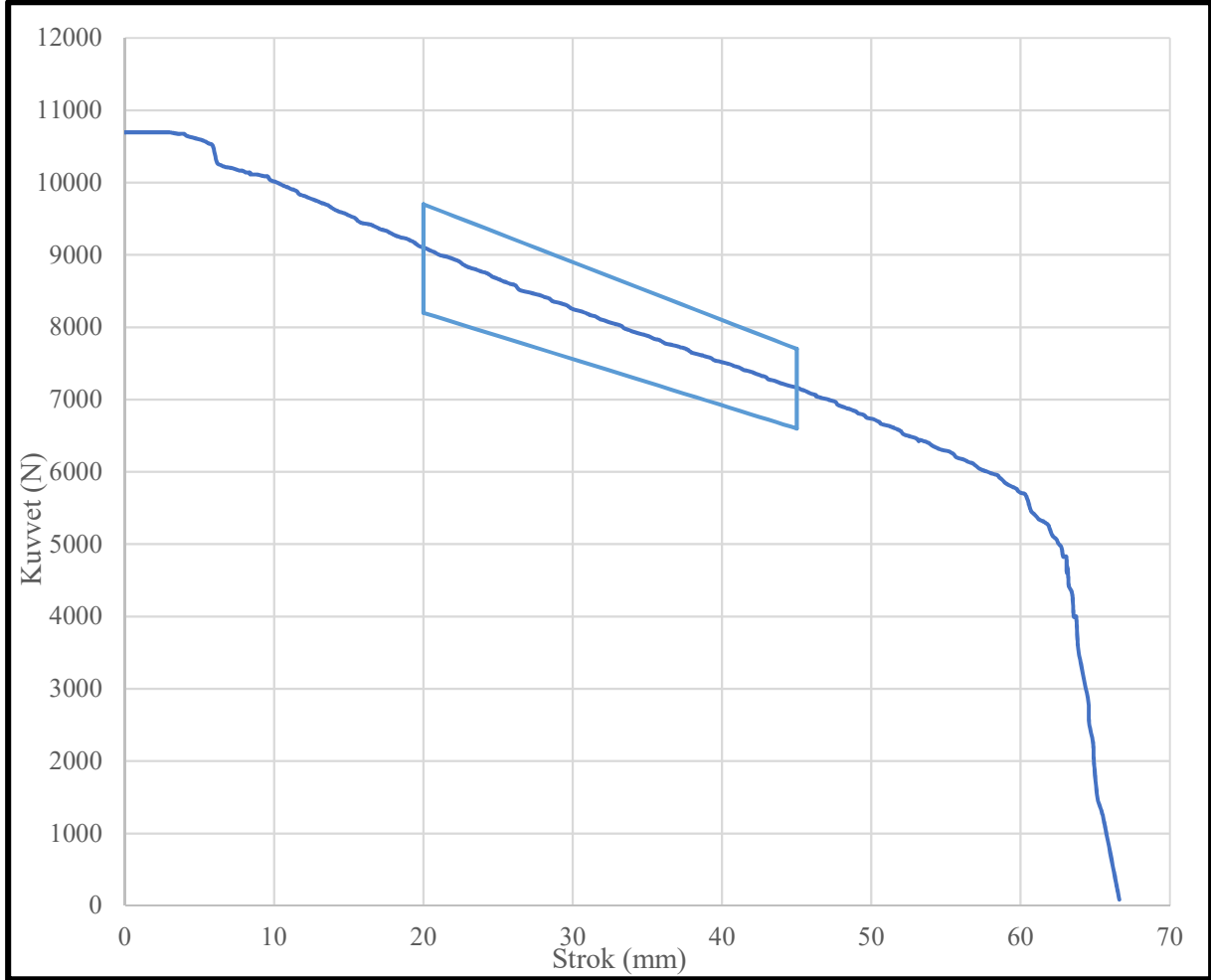


Şekil 5.3. On altı tip imdat yayı sarım teknik datasının strok kuvvetleri

5.1.2. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı performans bulguları

Üçüncü deneyde dahili havalandırma sistemi uygulanmış fren körüğünde bulunan yirmi dört tip (normal) imdat yayının kuvvet (N) ve strok (mm) verilerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.4’de verilmiştir. İmdat yayı blok halindeyken (0 strok) maksimum kuvvet 10695 N değeri ölçülmekte, strok arttıkça (imdat yayı üzerindeki basınç azaldıkça) kuvvet azalmaktadır. Ağır ticari araçların frenleme sürecinde fren körüklerinde yirmi dört tip (normal) imdat yayının kullanılması halinde; yay açıklığı 20 mm ile 45 mm arasında stroğa ulaştığında, 9110 N ile 7160 N arasında kuvvet ölçümü yapılmıştır. Yayın stroğu arttıkça kuvvet değeri azalmıştır ve strok tamamen açıldığında kuvvet değeri 0 N olmuştur. EK 1-Tablo 3’de kuvvet-strok verilerinin loadcell ölçüm sisteminden çıkan sonuçları detaylı olarak excel formatında raporlanmıştır. Sarmal imdat yayının sıkıştırılması sürecinde imdat yay bölümünde bulunan

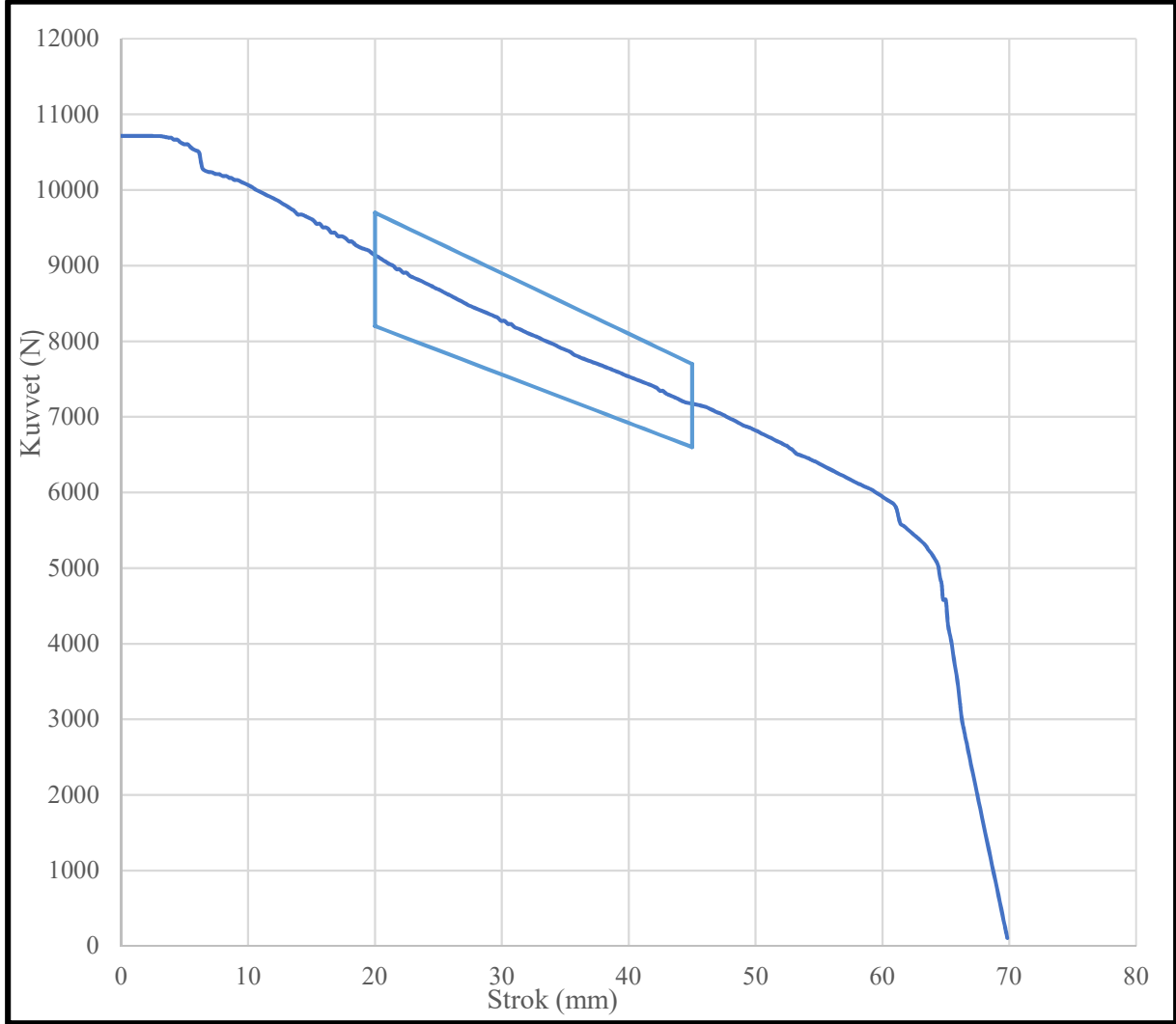
düşük basınçlı havanın servis bölümüne tahliye edilmesi veya sarmal imdat yayının açılması sürecinde imdat yay bölümü için gereken besleme basıncının dahili havalandırma uygulamasıyla sağlandığı, performans grafiğinin DIN 74060 (havalı frenleme sistem standartlarına) göre tanımlı alanın içerisinde kalması sebebiyle doğrulanmıştır.



Şekil 5.4. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı performans grafiği

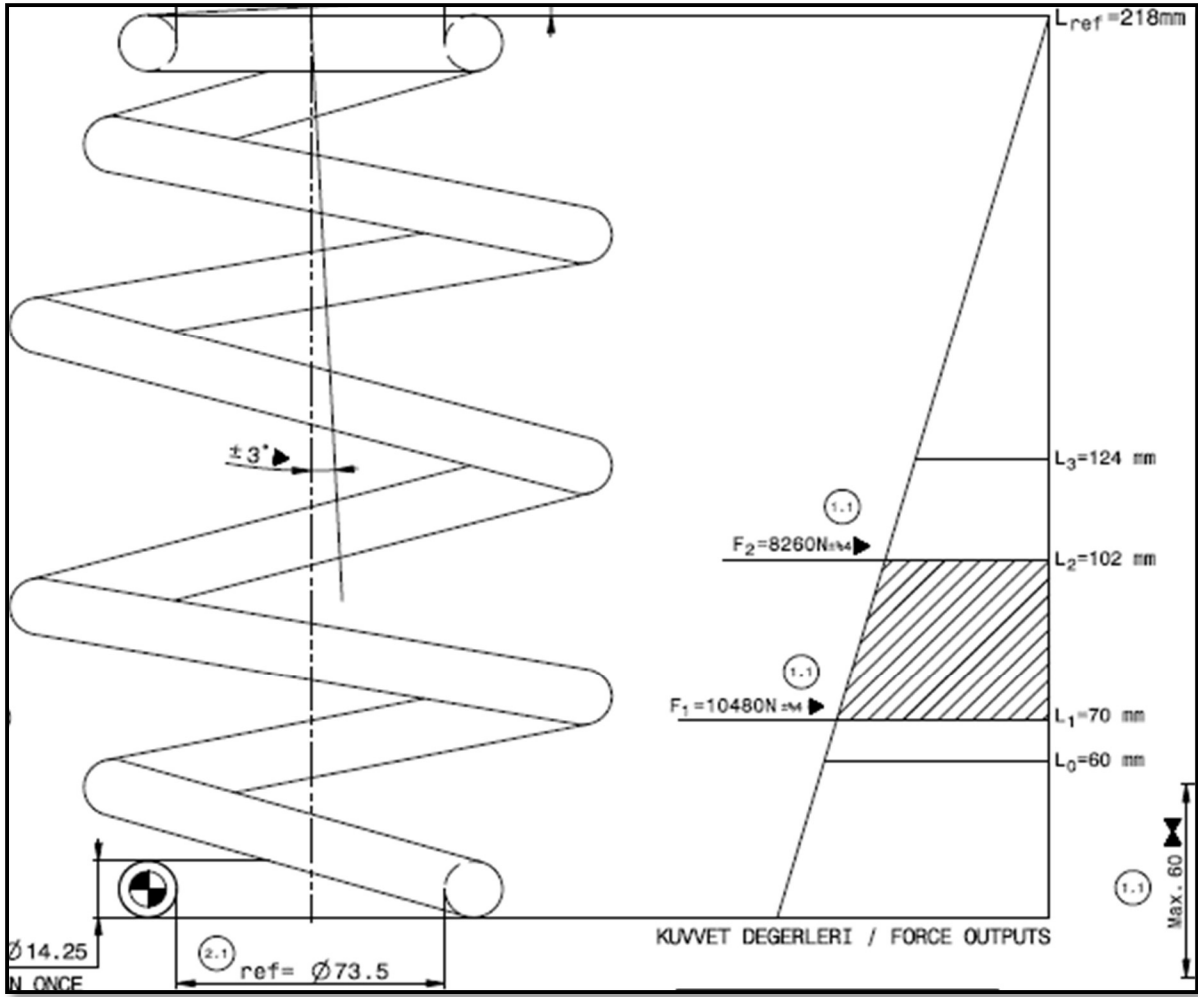
Dördüncü deneyde dahili havalandırma sistemi uygulanmış fren körüğünde bulunan yirmi dört tip (normal) imdat yayının kuvvet (N) ve strok (mm) verilerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.5'de görülmektedir. İmdat yayı blok halindeyken (0 strok) maksimum kuvvet 10717 N değeri ölçülmekte, strok arttıkça (imdat yayı üzerindeki basınç azaldıkça) kuvvet azalmaktadır. Ağır ticari araçların frenleme sürecinde fren körüklerinde yirmi dört tip (normal) imdat yayının kullanılması halinde; yay açıklığı 20 mm ile 45 mm arasında stroğa ulaştığında, 9140 N ile 7170 N arasında kuvvet ölçümü yapılmıştır. Yayın stroğu arttıkça kuvvet değeri azalmıştır ve strok tamamen açıldığında kuvvet değeri 0 N olmuştur. EK 1-Tablo 4'de kuvvet-strok verilerinin loadcell ölçüm sisteminden çıkan sonuçları detaylı olarak excel formatında

raporlanmıştır. Sarmal imdat yayının sıkıştırılması sürecinde imdat yay bölümünde bulunan düşük basınçlı havanın servis bölümüne tahliye edilmesi veya sarmal imdat yayının açılması sürecinde imdat yay bölümü için gereken besleme basıncının dahili havalandırma uygulamasıyla sağlandığı, performans grafiğinin DIN 74060 (havalı frenleme sistem standartlarına) göre tanımlı alanın içerisinde kalması sebebiyle doğrulanmıştır.



Şekil 5.5. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı performans grafiği

Şekil 5.6'da yirmi dört tip (normal) imdat yayının kuvvet ve strok verilerini gösteren teknik resim datası bulunmaktadır. İmdat yayının $L_0 = 60$ mm stroğunda 200 saat basılı tutulduktan sonra, blok durumundan L_1 stroğuna geldiğinde kuvvet (N) ≥ 9832 N'den büyük olması ve L_2 stroğuna geldiğinde ise kuvvet (N) ≥ 7385 N'den büyük olması havalı frenleme sistem standartlarına göre frenleme açısından gerekmektedir (L_1 'deki kuvvet ≥ 9832 N, L_2 'deki kuvvet ≥ 7385 N). Yirmi dört tip (normal) imdat yayı için bu kriterleri ölçüm sonuçlarının sağladığı deneysel çalışmada saptanmıştır.

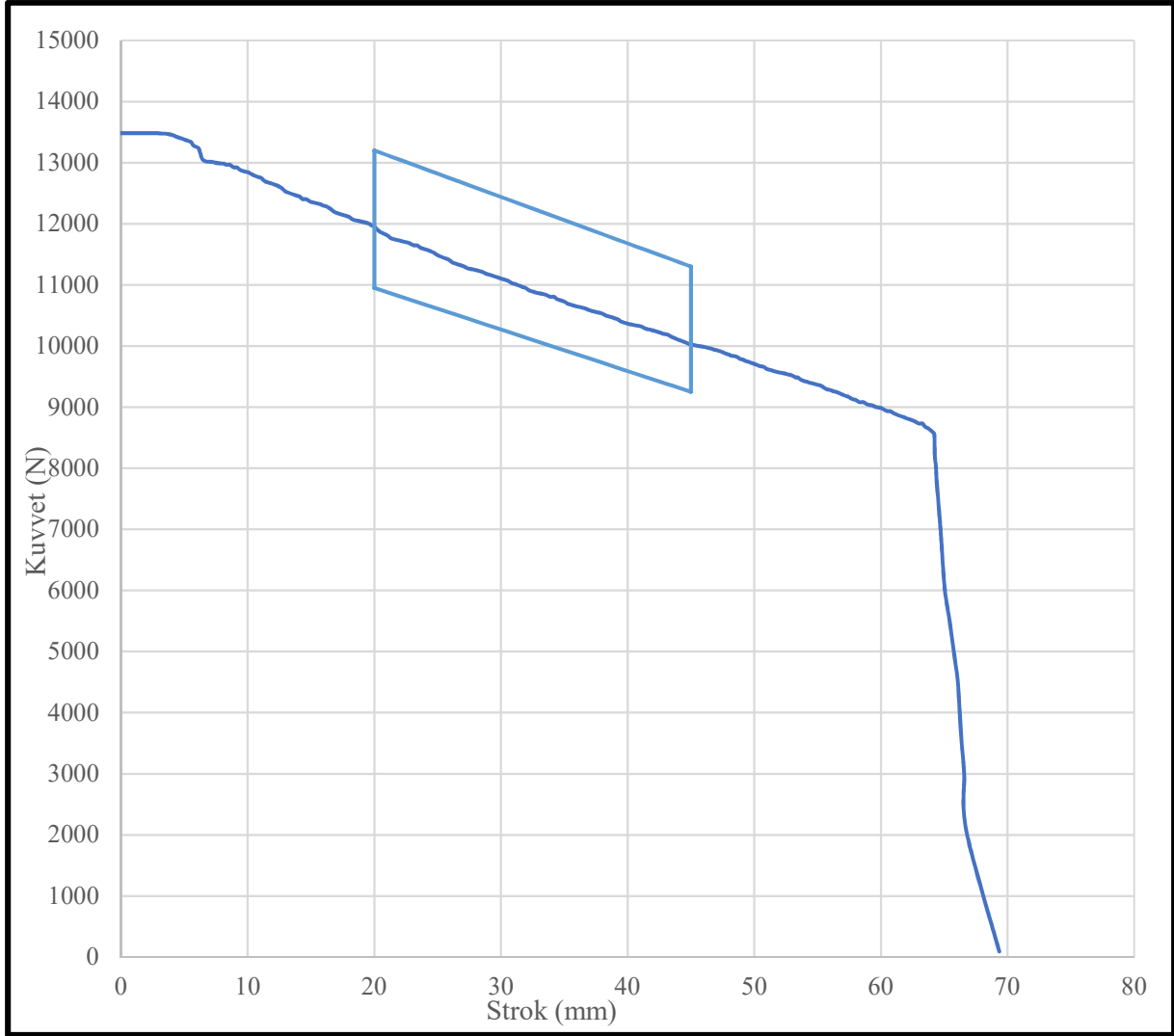


Şekil 5.6. Yirmi dört tip imdat (normal) yayı sarım teknik datasının strok kuvvetleri

5.1.3. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı performans bulguları

Beşinci deneyde dahili havalandırma sistemi uygulanmış fren körüğünde bulunan yirmi dört tip (uzun) imdat yayının kuvvet (N) ve strok (mm) verilerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.7’de görülmektedir. İmdat yayı blok halindeyken (0 strok) maksimum kuvvet 13483 N değeri ölçülmekte, strok artıkça (imdat yayı üzerindeki basınç azaldıkça) kuvvet azalmaktadır. Ağır ticari araçların frenleme sürecinde fren körüklerinde yirmi dört tip (uzun) imdat yayının kullanılması halinde; yay açıklığı 20 mm ile 45 mm arasında stroğa ulaştığında, 11950 N ile 10025 N arasında kuvvet ölçümü yapılmıştır. Yayın stroğu artıkça kuvvet değeri azalmıştır ve strok tamamen açıldığında kuvvet değeri 0 N olmuştur. EK 1-Tablo 5’de kuvvet-strok verilerinin loadcell ölçüm sisteminden çıkan sonuçları detaylı olarak excel formatında raporlanmıştır. Sarmal imdat yayının sıkıştırılması sürecinde imdat yay bölümünde bulunan düşük basınçlı havanın servis bölümüne tahliye edilmesi veya sarmal imdat yayının açılması sürecinde imdat yay bölümü için gereken besleme basıncının dahili havalandırma

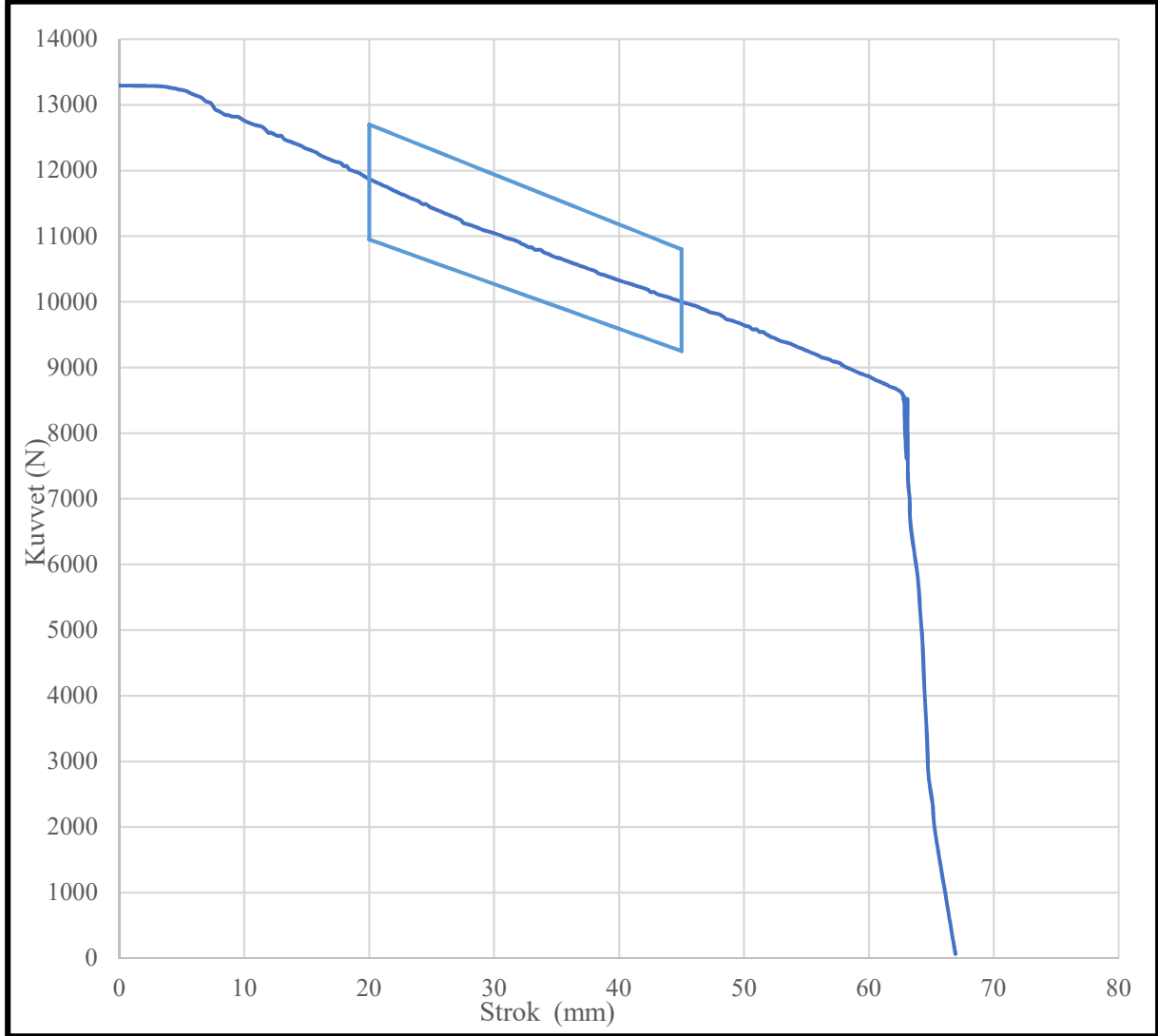
uygulanmasıyla sağlandığı, performans grafiğinin DIN 74060 (havalı frenleme sistem standartlarına) göre tanımlı alanın içerisinde kalması sebebiyle doğrulanmıştır.



Şekil 5.7. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı performans grafiği

Altıncı deneyde dahili havalandırma sistemi uygulanmış fren körüğünde yirmi dört tip (uzun) imdat yayının kuvvet (N) ve strok (mm) verilerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.8'de görülmektedir. İmdat yayı blok halindeyken (0 strok) maksimum kuvvet 13296 N değeri ölçülmekte, strok arttıkça (imdat yayı üzerindeki basınç azaldıkça) kuvvet azalmaktadır. Ağır ticari araçların frenleme sürecinde fren körüklerinde yirmi dört tip (uzun) imdat yayının kullanılması halinde; yay açıklığı 20 mm ile 45 mm arasında stroğa ulaştığında, 11869 N ile 10000 N arasında kuvvet ölçümü yapılmıştır. Yayın stroğu arttıkça kuvvet değeri azalmıştır ve strok tamamen açıldığında kuvvet değeri 0 N olmuştur. EK 1-Tablo 6'da kuvvet-strok verilerinin loadcell ölçüm sisteminden çıkan sonuçları detaylı olarak excel formatında

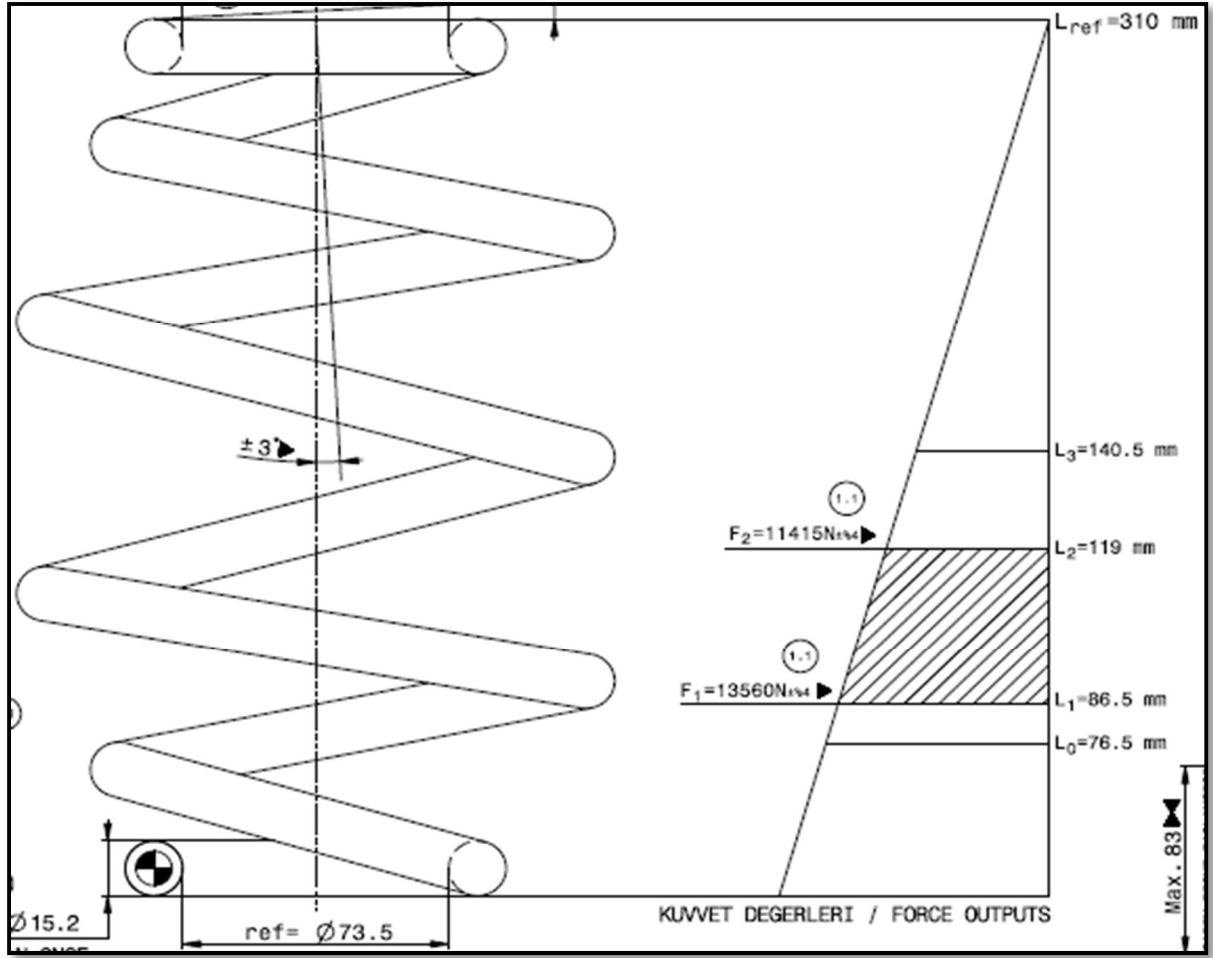
raporlanmıştır. Sarmal imdat yayının sıkıştırılması sürecinde imdat yay bölümünde bulunan düşük basınçlı havanın servis bölümüne tahliye edilmesi veya sarmal imdat yayının açılması sürecinde imdat yay bölümü için gereken besleme basıncının dahili havalandırma uygulamasıyla sağlandığı, performans grafiğinin DIN 74060 (havalı frenleme sistem standartlarına) göre tanımlı alanın içerisinde kalması sebebiyle doğrulanmıştır.



Şekil 5.8. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı performans grafiği

Şekil 5.9'da yirmi dört tip (uzun) imdat yayının kuvvet ve strok verilerini gösteren teknik resim datası bulunmaktadır. İmdat yayının $L_0 = 76,5$ mm stroğunda 200 saat basılı tutulduktan sonra, blok durumundan L_1 stroğuna geldiğinde kuvvet (N) ≥ 12720 N'den büyük olması ve L_2 stroğuna geldiğinde ise kuvvet (N) ≥ 10150 N'den büyük olması havalı frenleme sistem standartlarına göre frenleme açısından gerekmektedir (L_1 'deki kuvvet ≥ 12720 N, L_2 'deki

kuvvet ≥ 10150 N). Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı için bu kriterleri ölçüm sonuçlarının sağladığı deneysel çalışmada saptanmıştır.

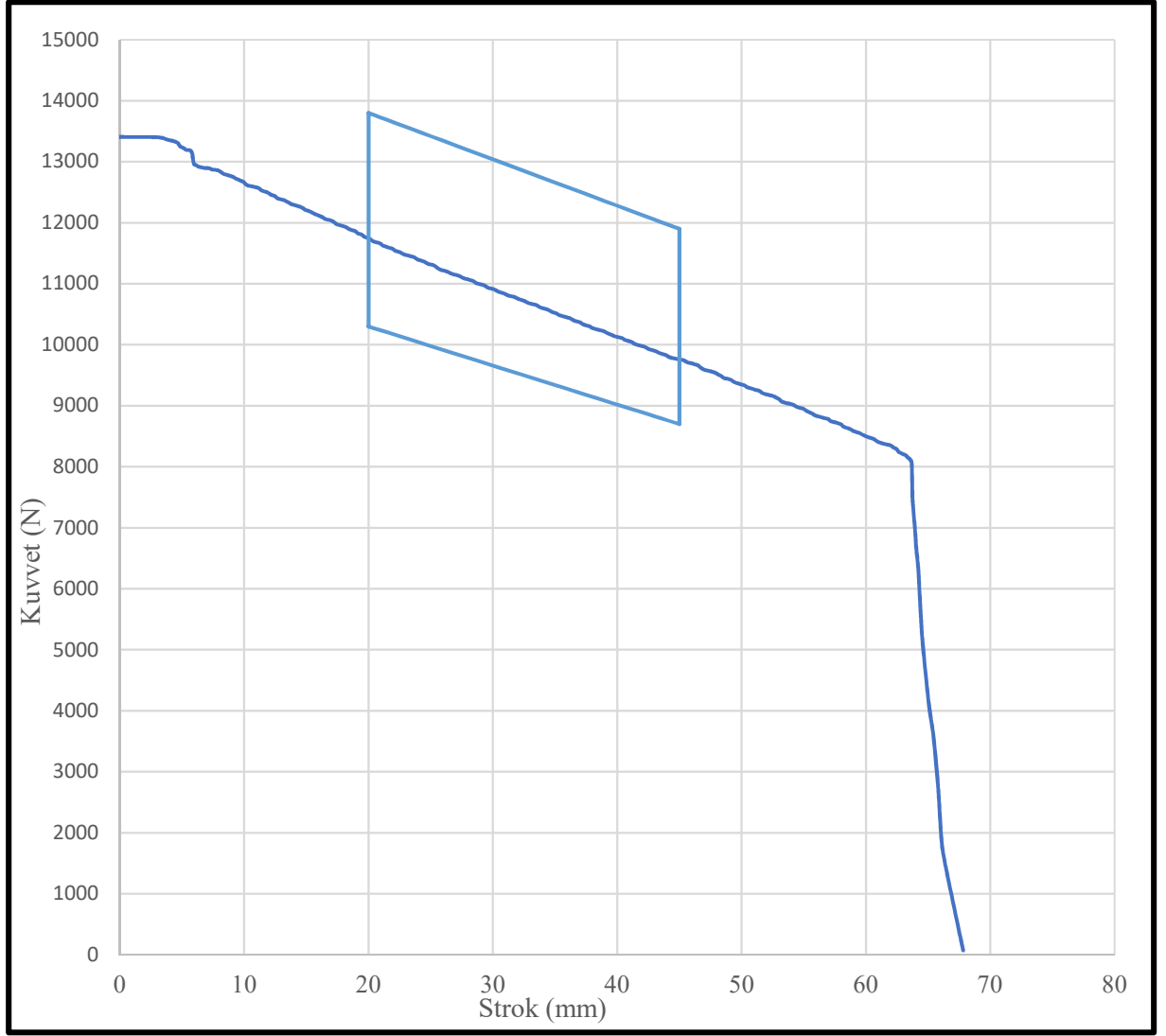


Şekil 5.9. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı sarım teknik datasının strok kuvvetleri

5.1.4. Otuz tip imdat yayı performans bulguları

Yedinci deneyde dahili havalandırma sistemi uygulanmış fren körüğünde bulunan otuz tip imdat yayının kuvvet (N) ve strok (mm) verilerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.10'da görülmektedir. İmdat yayı blok halindeyken (0 strok) maksimum kuvvet 13411 N değeri ölçülmekte, strok artıkça (imdat yayı üzerindeki basınç azaldıkça) kuvvet azalmaktadır. Ağır ticari araçların frenleme sürecinde fren körüklerinde otuz tip imdat yayının kullanılması halinde; yay açıklığı 20 mm ile 45 mm arasında stroğa ulaştığında, 11740 N ile 9750 N arasında kuvvet ölçümü yapılmıştır. Yayın stroğu artıkça kuvvet değeri azalmıştır ve strok tamamen açıldığında kuvvet değeri 0 N olmuştur. EK 1-Tablo 7'de kuvvet-strok verilerinin loadcell ölçüm sisteminden çıkan sonuçları detaylı olarak excel formatında raporlanmıştır. Sarmal imdat yayının sıkıştırılması sürecinde imdat yay bölümünde bulunan düşük basınçlı havanın servis

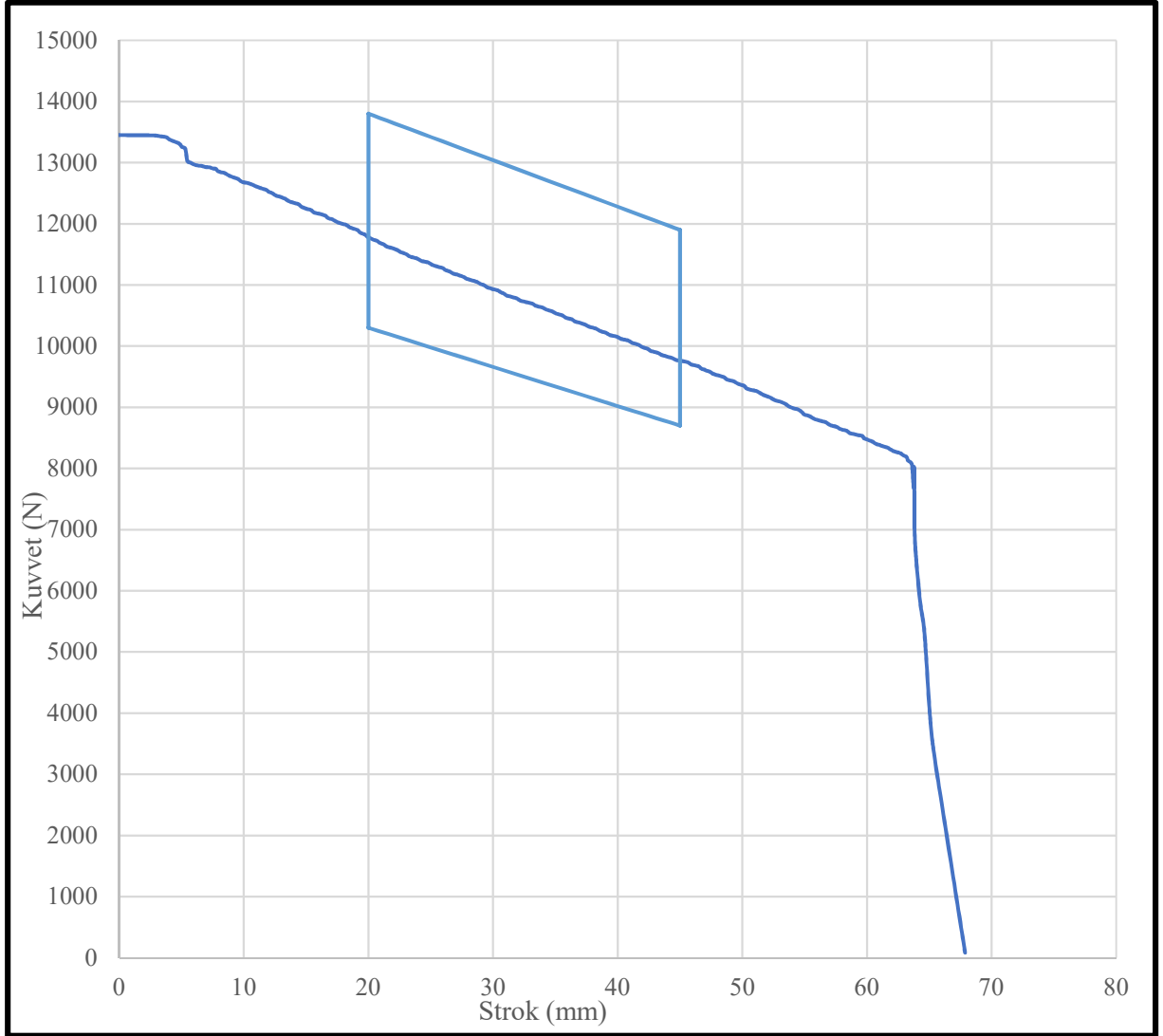
bölümüne tahliye edilmesi veya sarmal imdat yayının açılması sürecinde imdat yay bölümü için gereken besleme basıncının dahili havalandırma uygulamasıyla sağlandığı, performans grafiğinin DIN 74060 (havalı frenleme sistem standartlarına) göre tanımlı alanın içerisinde kalması sebebiyle doğrulanmıştır.



Şekil 5.10. Otuz tip imdat yayı performans grafiği

Sekinci deneyde dahili havalandırma sistemi uygulanmış fren körüğünde bulunan otuz tip imdat yayının kuvvet (N) ve strok (mm) verilerinin gösterimi Şekil 5.11’de görülmektedir. İmdat yayı blok halindeyken (0 strok) maksimum kuvvet 13453 N değeri ölçülmekte, strok arttıkça (imdat yayı üzerindeki basınç azaldıkça) kuvvet azalmaktadır. Ağır ticari araçların frenleme sürecinde fren körüklerinde otuz tip imdat yayının kullanılması halinde; yay açıklığı 20 mm ile 45 mm arasında stroğa ulaştığında, 11770 N ile 9760 N arasında kuvvet ölçümü yapılmıştır. Yayın stroğu arttıkça kuvvet değeri azalmıştır ve strok tamamen açıldığında kuvvet değeri 0 N

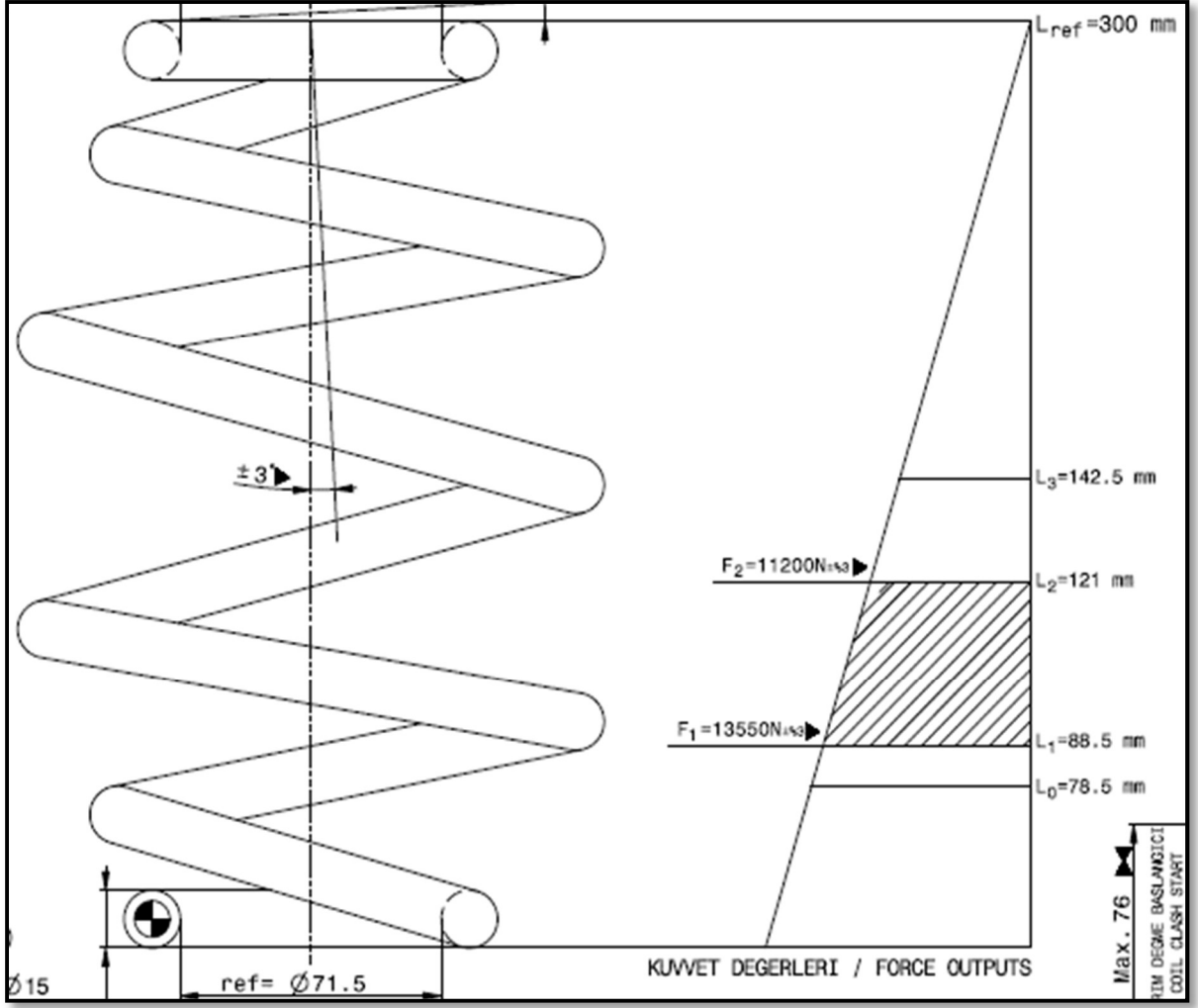
olmuştur. EK 1-Tablo 8’de kuvvet-strok verilerinin loadcell ölçüm sisteminden çıkan sonuçları detaylı olarak excel formatında raporlanmıştır. Sarmal imdat yayının sıkıştırılması sürecinde imdat yay bölümünde bulunan düşük basınçlı havanın servis bölümüne tahliye edilmesi veya sarmal imdat yayının açılması sürecinde imdat yay bölümü için gereken besleme basıncının dahili havalandırma uygulamasıyla sağlandığı, performans grafiğinin DIN 74060 (havalı frenleme sistem standartlarına) göre tanımlı alanın içerisinde kalması sebebiyle doğrulanmıştır.



Şekil 5.11. Otuz tip imdat yayı performans grafiği

Şekil 5.12’de otuz tip imdat yayının kuvvet ve strok verilerini gösteren teknik resim datası bulunmaktadır. İmdat yayının $L_0 = 78,5$ mm stroğunda 200 saat basılı tutulduktan sonra, blok durumundan L_1 stroğuna geldiğinde kuvvet (N) ≥ 12770 N’den büyük olması ve L_2 stroğuna geldiğinde ise kuvvet (N) ≥ 9910 N’den büyük olması frenleme açısından gerekmektedir

(L_1 'deki kuvvet ≥ 12770 N, L_2 'deki kuvvet ≥ 9910 N). Otuz tip imdat yayı için bu kriterleri ölçüm sonuçlarının sağladığı deneysel çalışmada saptanmıştır.



Şekil 5.12. Otuz tip imdat yayı sarım teknik datasının strok kuvvetleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Trafik kazaları sebebiyle hayatlarını yitiren insanların sayısı her geçen gün arttığı bilinmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre her yıl yaklaşık 1,3 milyon kişi; ülkemizde ise son 3 yılın ortalaması dikkate alındığında 5.152 kişi trafik kazalarında hayatını kaybetmektedir. Ülkemizde 2022 yılında ölümlü ve yaralanmalı trafik kazasına neden olan toplam 235.176 kusur incelendiğinde; %86,8'inin sürücü, %9,5'inin yaya, %2,1'inin taşıt, %1,2'sinin yolcu ve %0,4'ünün ise yol kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Özellikle ağır ticari araçların sebebiyet verdiği kazaların maddi ve manevi tahribatları binek araçlara göre daha fazladır. Bu kazaların sebeplerinden başlıcaları sürücüdenden kaynaklı hatalar ya da aşırı hız olarak kayıtlara geçmiş olsa da diğer neden sürücülerin araç kontrolünü sağlayamayıp istenilen sürede araçları durduramamalarıdır. Bu da fren sisteminin öneminin hayati derecede olduğunu göstermektedir. Frenleme performansını, fren sistem elemanları ve tekerlek-yol şartları gibi faktörler doğrudan etkilemektedir. Ticari araçlarda fren performansını ve sürekliliğini etkileyen önemli faktörlerden biri kuvvet-strok eğrileridir. Ağır ticari araçların fren performansları, kuvvet-strok eğrilerine göre değerlendirilmiş ve detaylı incelenmiştir.

Bu çalışmada, ağır ticari araçların havalı fren sistemindeki fren körüğünün alt bileşeni olan imdat yayı üzerine korozyon etkisi ve çözümüne yönelik dahili havalandırma tekniği araştırılmıştır. Aynı zamanda, korozyonu önlemek için dahili havalandırma tekniğinin kullanımı sonucundaki performans özelliklerinin incelenmesi ve kayıt altına alınması amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının sayısal verileri değerlendirildiğinde; fren körüğünün (silindirin) alt bileşenlerinin korozyona maruz kalmaması için; fren körüğüne atmosferden her türlü korozif maddenin girişini engellemek amacıyla, dahili havalandırma tekniği uygulamasıyla birlikte başarılı sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir.

Yapılan analizlerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Sarmal yay sarımlarının kapalı uç kısımlarının fren silindiri içerisinde frenleme sürecinde birbirine temasıyla birlikte elektro-statik toz boyanın aşınması sonucu, ortamda bulunan çamurlu suyun korozif etkisiyle korozyon çukurlarının oluşmaya başladığı görsel olarak tespit edilmiştir.
- Korozyon nedeniyle; çeliğin çap kalınlığının kaybı (yaklaşık 1-1,5 mm), yapısal kuvvet performansında güç/dayanım kaybı ve özellikle aşınmış bölgelerde kalıcı deformasyona (yay düzeyinde çatlaklar ve kırılmalar) uğradığı belirlenmiştir.

- Dahili havalandırma sistemi uygulaması sonucu körüğün imdat yayının bulunduğu bölümünde koroziif madde olmaması sebebiyle sarmal yay yüzeyinde oksitlenme tespit edilmemiştir. Bu durum yaşlanma sürecini pozitif etkilemiştir.
- Sarmal imdat yay çapları 13,5 mm, 14,25 mm, 15,2 mm ve 15 mm olan 4 farklı ürün ile çalışma yapılmış ve performans isterleri havalı frenleme sistem standartlarına (DIN 74060) göre tanımlı alanın içerisinde kalması sebebiyle sağlanmıştır.
- Fren silindirinde; basınçlı havanın tahliye edilmesiyle birlikte, sarmal imdat yayı mekanik olarak blok durumdan, sarmalların açılması pozisyonuna geçmesi sürecinde, imdat odasındaki besleme basıncını yenecek yaklaşık olarak 1-2 bar düzeyindeki atm basıncının dahili havalandırma sisteminde bulunan valf vasıtasıyla elde edildiği görülmüştür.
- Sarmal imdat yayının sıkıştırılması sürecinde ise imdat yay bölümünde bulunan düşük basınçlı 1-2 barlık havanın, dahili havalandırma sisteminde bulunan alüminyum tapanın hava tahliye delikleri vasıtasıyla, tahliye havası servis bölümüne yönlendirilmiştir.
- Dahili havalandırma sistemi uygulamasıyla birlikte, sarmal imdat yayının ömür süreci (1.500.000 cycle) döngüsü boyunca kalıcı deformasyon (kırılma, ezilme, çatlama, vb.) oluşmadığı; performans ölçümü yapılarak, kuvvet değerlerinin min. ve max. sınırları aralığında olduğu tespit edilmiştir.

İmdat yay yüzeyinde korozyon oluşumunu dahili havalandırma sistemiyle önleyici faktörler değerlendirilirken, diğer fonksiyonel komponentlerde de iyileştirmeler yapılarak olası korozyonun imdat yayı yüzeyinde kalıcı deformasyonu oluşmadan önlenabilir. Uygulama aşamasında farklı tip (kalınlıkta ve boyda) imdat yaylarının da kullanılmasıyla elde edilecek veriler analiz edilebilir.

Tüm bu değerlendirmeler sonucunda ağır ticari araçların performans verilerine etki eden korozyonun dahili havalandırma uygulamasına benzer çalışmalarla (koroziif maddelerin fren silindiriyle temasını izole edecek), gelecekte üzerine düşünülmesi ve detaylı testler yapılarak incelenmesi durumunda başarılı sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Wang, Y., Soutis, C., Yar, M., Zhou, X., (2018). Modelling corrosion effect on stiffness of automotive suspension springs, School of Materials, University of Manchester, Manchester, UK.
2. Zhu, Y., Wang, Y., Huang, Y., (2014). Failure analysis of a helical compression spring for a heavy vehicle's suspension system, Faculty of Remanufacturing Engineering, Academy of Armored Force Engineering, China.
3. Hernandez, A.P. (2016). An investigation of automotive springs: ageing effects. A Thesis Submitted to The University of Manchester for the degree of Master of Philosophy in the Faculty of Sciences & Engineering, Manchester, UK, 23-27.
4. Yar, M., Wang, Y., Zhou, X., Soutis, C., (2018). Corrosion behaviour of an industrial shot-peened and coated automotive spring steel AISI 9254, Corrosion Science & Engineering, School of Materials, The University of Manchester, Manchester, UK.
5. Khalifeh, A., (2019). Stress corrosion cracking damages, Department of Materials Science and Engineering, School of Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.
6. Ramarathnam, S., Dhar, S., Darbha, S., Rajagopal, K., (2011). Development of a model for an air brake system with leaks and a scheme for the estimation of the steady-state pushrod stroke, Department of Mechanical Engineering, Texas A&M University, USA.
7. Yi, L., Qiang, Z., Bin, B., (2014). The study of automobile brake chamber performance test system, College of Metrology & Measurement Engineering, China JiLiang University, China.
8. He, R., Jing, Z., (2019). Study on braking stability of commercial vehicles: an optimized air brake system, School of Automotive and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, China.
9. Subramanian, S., Darbha, S., Rajagopal, R., (2006). A diagnostic system for air brakes in commercial vehicles, Department of Mechanical Engineering, Texas A&M University, USA.
10. Toklucu, M., Neşeli, S., (2020). Design of sealing tester for heavy vehicle air brake systems, Department of Automotive Engineering, Faculty of Technology, Selçuk University, Turkey.
11. Kaplan, S., (2014). Ağır vasıta havalı fren sistemleri, standart testleri ve güvenlik kriterleri yönünden değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 115-121.

12. Çataltepe, V., (2008). Ticari araçlar için fren faktörlerinin deneysel ve teorik sonuçlarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze, Türkiye, 59-60.
13. Moody, D., (2009). Application pressure for an electronic brake system: estimation and implementation of a recursive filter, Uppsala University, İsveç.
14. Bowlin, C.L., Subramanian, S.C., Darbha, S., Rajagopal, K.R., (2006). Pressure control scheme for air brakes in commercial vehicles, Department of Mechanical Engineering, Texas A&M University, USA.
15. Güneyli, T., (2019). Ağır ticari araçlarda el freni devresinin elektriksel ve pnömatik sinyal ile birlikte kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 49-50.
16. Avunç, T., (2007). Ağır ticari araçların fren sistemi tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 87-89.
17. Aksu, B., (2020). Ağır vasıta fren sistemleri için ALB test cihazı tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye, 67-68.
18. Tüvtürk, (2016). Ağır vasıta fren sistemleri, İstanbul, Türkiye.
19. Taşıt fren sistemleri testi deney föyü (Hidrolik Servo Fren Sistemi), (2020). Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, İstanbul.
20. Martonovich, M., (2017). Measurement and performance analysis of pneumatic braking on heavy vehicles, Graduate School of the University of Colorado
21. https://www.youtube.com/watch?v=giq_L6ziaeo 08.10.2023
22. Tuna, Ş., (2006). Ağır vasıta fren sistemleri, TÜVTÜRK eğitim dokümanları öğrenci ders dökümü.
23. https://sgi.sk.ca/air-brake/-/knowledge_base/air-brake/brakes 08.10.2023
24. https://images.slideplayer.com/26/8878401/slides/slide_63.jpg 08.10.2023
25. <https://www.wabco.com.tr>, havalı fren sistemine ait çeşitli fren katalogları 08.10.2023
26. https://www.sgi.sk.ca/air-brake/-/knowledge_base/air-brake/relay-valve 08.10.2023
27. Tenşi, İ. (2013). Ağır vasıta fren sistemleri ve standard testleri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri, Kocaeli, Türkiye, 11-55.
28. <https://greatdane.com/air-disc-brakes-stop-vehicles-faster/> 08.10.2023
29. Göktan, A.G., (1995). Taşıt Frenleri, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
30. https://en.wikipedia.org/wiki/Drum_brake#/media/File:Tipologia_tamburo.svg 08.10.2023
31. <https://www.seekpng.com/ima/u2q8w7u2i1o0q8w7/> 08.10.2023
32. Automotive Handbook, (2000). Bosch, 5th editon,

33. Limpert, R., (1999). Brake design and safety, Second Edition, Warrendale Pensilvanya, USA.
34. <https://www.tyen-axle.com/semi-trailer-parts/brake-chamber/air-brake-chamber-t3030.html> 08.10.2023
35. <https://www.wabco-customercentre.com/catalog/> 08.10.2023
36. www.obitet.gazi.edu.tr/dersnotu/oto_sektor/korozyon_anlatimi 08.10.2023
37. Yalçın, H., GÜRÜ, M., (2002). Malzeme Bilgisi, Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye.
38. Şahin, S., (1997). Malzeme bilgisi, Ankara, Türkiye.
39. <https://stmcoatech.com/korozyon-turleri/> 08.10.2023
40. Kurgan, N., Hasar mekanizmaları, 19 Mayıs Üni, Makine Mühendisliği
41. Cirik, E., (2007). Anodik Oksidasyon İşleminin 7075-T6 Alüminyum Alaşımının Yorulma Davranışına Olan Etkisinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
42. www.enerjiplatformu.org 08.10.2023
43. <https://www.ddcoatings.co.uk/2276/what-is-pitting-corrosion> 08.10.2023
44. www.corrosion-doctors.org/Forms-pitting/Pitting, 08.10.2023
45. www.corrosion-doctors.org/Forms-pitting/shapes, 08.10.2023
46. Smialowska, Z.S., (1990). Inhibition of localized corrosion, Proceedings of The 7th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Italy, 979-997.
47. Thierry, D., Pélissier, K., (2020). Powder and high-solid coatings as anticorrosive solutions for marine and off shore Applications, A Review, French Corrosion Institute, France.
48. http://www.umtik2008.org/eski_kongreler/2000/eng/sessions-t.htm, 08.10.2023
49. Akkurt, M., (1997). Makine konstrüksiyonunda güvenilirliğin esasları, Makine Müh. Odası Yayını, No.106, İstanbul, Türkiye.
50. <https://ljcreate.com/automotive-technology/air-brake-tractor-trailer-system-trainer/> 08.10.2023

EKLER

EK 1-Tablo 1. On altı tip imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri

İMDAT YAYI STROK-KUVVET VERİLERİ							
Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)
0	9040	15,3	7926	31	6599	48,3	5303
0	9040	15,6	7900	31,3	6580	48,6	5278
0	9042	16	7874	31,5	6560	48,9	5278
0	9042	16,3	7848	31,8	6540	49,1	5253
0,1	9042	16,6	7822	32	6521	49,3	5229
0,5	9042	16,8	7796	32,3	6501	49,6	5204
0,9	9042	17	7796	32,5	6482	49,8	5180
1,4	9042	17,3	7770	32,8	6462	50,1	5154
1,8	9042	17,5	7745	33	6462	50,3	5154
2,1	9042	17,7	7720	33,3	6423	50,6	5130
2,3	9040	18	7694	33,5	6403	50,8	5105
2,5	9038	18,3	7668	33,8	6403	51	5081
2,8	9038	18,5	7668	34	6383	51,1	5056
3	9034	18,7	7643	34,3	6364	51,4	5031
3,3	9028	19	7618	34,6	6344	51,7	5031
3,6	9020	19,3	7594	34,9	6324	52	5006
3,8	9010	19,4	7569	35,1	6305	52,2	4980
4,1	8996	19,6	7545	35,5	6284	52,5	4955
4,4	8996	19,7	7520	35,7	6265	52,7	4930
4,6	8979	19,8	7496	36	6244	52,9	4904
4,9	8960	19,9	7471	36,3	6224	53,1	4878
5,1	8938	20,1	7448	36,6	6203	53,3	4852
5,4	8914	20,2	7423	36,8	6203	53,7	4826
5,7	8890	20,4	7400	37	6182	53,9	4826
6	8863	20,6	7375	37,3	6161	54,2	4798
6,2	8836	20,8	7352	37,5	6140	54,5	4771
6,4	8806	21,1	7327	37,8	6118	54,7	4742
6,5	8806	21,3	7304	38	6097	54,9	4714
6,7	8598	21,6	7304	38,3	6074	55,2	4685
6,8	8569	21,9	7280	38,6	6053	55,4	4685
7,1	8548	22,2	7256	38,8	6030	55,7	4655
7,3	8544	22,5	7232	39,1	6008	55,9	4426
7,7	8520	22,8	7208	39,4	5985	56,2	4389
8	8520	23,1	7185	39,7	5985	56,4	4351
8,4	8519	23,3	7161	39,9	5962	56,7	4351
8,7	8492	23,6	7138	40,1	5939	56,9	4312
8,9	8492	23,8	7115	40,4	5915	57,2	4270
9,1	8466	24,1	7092	40,7	5892	57,5	4227

9,4	8464	24,4	7068	41	5869	57,8	4182
9,5	8464	24,7	7046	41,2	5846	58	4134
9,7	8438	24,9	7046	41,4	5822	58,2	4084
9,9	8438	25,1	7023	41,7	5798	58,4	4084
10,1	8410	25,5	7000	42	5774	58,5	4032
10,3	8383	25,8	6978	42,3	5750	58,6	3976
10,6	8355	26	6955	42,5	5726	58,6	3917
10,8	8328	26,3	6934	42,8	5726	58,7	3854
11,1	8300	26,6	6911	43	5702	58,8	3789
11,4	8273	26,9	6890	43,3	5677	59	3704
11,8	8246	27,1	6868	43,5	5652	59,3	3581
12,2	8219	27,4	6846	43,8	5628	59,5	3581
12,6	8191	27,7	6825	44	5602	59,8	3412
12,9	8165	28	6825	44,3	5578	60,1	3209
13,1	8137	28,2	6803	44,7	5553	60,2	2972
13,3	8137	28,4	6761	45,3	5528	60,5	2725
13,5	8111	28,7	6740	45,7	5503	60,8	2480
13,8	8084	29	6720	46,2	5478	61	2480
14	8058	29,2	6699	46,5	5478	61,2	2241
14,2	8031	29,5	6679	46,7	5453	61,4	2005
14,4	8005	29,8	6659	47	5402	61,7	1774
14,6	8005	30,1	6659	47,3	5378	61,9	1545
14,8	7978	30,4	6639	47,6	5352	62,2	1322
						62,5	1104
						64,3	78

EK 1-Tablo 2. On altı tip imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri

İMDAT YAYI STROK-KUVVET VERİLERİ							
Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)
-0,1	9300	16,8	7937	33,5	6621	51,2	5344
0	9300	17,1	7903	33,8	6596	51,4	5314
0	9300	17,3	7903	34,2	6571	51,7	5283
0	9300	17,5	7870	34,4	6546	51,9	5252
0	9300	17,8	7835	34,7	6522	52	5252
0	9300	18,3	7801	34,9	6522	52,3	5221
0,4	9300	18,5	7768	35,2	6498	52,5	5034
1,2	9300	18,8	7734	35,5	6475	52,9	5002
2,1	9300	19	7734	35,8	6451	53,2	5002
2,8	9300	19,4	7701	36,1	6451	53,6	4971
3	9300	19,7	7668	36,3	6428	53,8	4938
3,1	9300	19,8	7634	36,6	6405	54,1	4906
3,5	9300	20	7634	36,9	6405	54,2	4906

3,5	9300	20,2	7602	37,2	6382	54,4	4873
3,7	9300	20,4	7568	37,4	6360	54,7	4839
4	9299	20,6	7536	37,6	6337	55	4805
4,4	9295	20,8	7536	37,8	6315	55,3	4805
4,8	9288	21	7505	38,1	6292	55,6	4770
5,1	9288	21,2	7472	38,3	6292	55,9	4733
5,2	9277	21,4	7440	38,6	6270	56,1	4696
5,4	9263	21,8	7408	38,8	6246	56,4	4696
5,6	9244	22	7408	39,1	6224	56,7	4658
5,9	9221	22,3	7377	39,4	6224	56,8	4618
6,2	9221	22,6	7346	39,7	6201	57,1	4576
6,5	9194	22,8	7314	39,9	6177	57,3	4576
6,8	9164	23,1	7285	40,1	6154	57,6	4533
7	9164	23,4	7285	40,3	6129	57,9	4488
7,3	8951	23,8	7284	40,7	6129	58,2	4442
7,5	8908	24	7254	40,9	6106	58,4	4442
7,8	8862	24	7254	41,3	6080	58,6	4394
8,2	8815	24,5	7254	41,6	6055	58,7	4344
8,6	8766	24,8	7224	41,9	6029	58,8	4344
8,9	8766	25	7223	42,2	6029	59	4291
9,2	8714	25,3	7223	42,5	6003	59,1	4235
9,4	8669	25,6	7194	42,8	5975	59,4	4176
9,8	8643	25,8	7193	43	5975	59,8	4114
10	8618	26,1	7164	43,3	5948	59,8	4114
10,1	8618	26,4	7163	43,6	5919	59,9	4049
10,3	8589	26,6	7163	43,8	5891	60	3979
10,6	8557	26,8	7135	44,1	5862	60	3906
10,9	8525	27	7105	44,4	5862	60,4	3906
11,3	8525	27,3	7076	44,9	5833	60,6	3831
11,5	8491	27,6	7048	45,4	5805	60,8	3744
11,7	8456	27,9	7019	46	5774	61,2	3613
12	8423	28,2	6991	46,3	5774	61,3	3613
12,3	8423	28,5	6991	46,4	5745	61,6	3430
12,7	8388	28,8	6963	46,8	5714	61,7	3200
12,9	8353	29,1	6935	47	5684	61,9	2951
13,2	8318	29,4	6907	47,3	5654	62,3	2951
13,4	8284	29,7	6881	47,6	5654	62,6	2704
13,6	8284	30	6881	47,8	5622	63,1	2459
13,9	8248	30,3	6853	48	5592	63,4	2217
14,2	8214	30,6	6827	48,3	5592	63,6	2217
14,6	8214	30,9	6800	48,5	5530	63,7	1980
14,9	8180	31,2	6774	48,8	5530	63,9	1746
15,1	8144	31,5	6774	49,1	5498	64,2	1746
15,3	8110	31,7	6748	49,4	5468	64,4	1518
15,4	8110	32	6722	49,8	5437	64,8	1295
15,6	8076	32,3	6696	50,2	5437	65,1	1079

15,8	8041	32,5	6696	50,4	5406	65,4	1079
16	8006	32,8	6671	50,7	5376	67,3	67
16,2	8006	33	6646				

EK 1-Tablo 3. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri

İMDAT YAYI STROK-KUVVET VERİLERİ							
Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)
0	10695	18,13	9268	35,71	7827	52,36	6504
0,02	10696	18,38	9248	35,92	7810	52,73	6483
0,03	10696	18,83	9227	36,18	7776	53	6464
0,08	10695	19,06	9206	36,53	7760	53,18	6424
0,65	10696	19,28	9185	36,95	7742	53,21	6443
1,38	10696	19,43	9164	37,19	7725	53,8	6404
1,46	10696	19,71	9122	37,47	7709	54,07	6364
1,76	10696	20,02	9102	37,68	7692	54,25	6344
1,94	10696	20,26	9080	37,89	7660	54,46	6324
2,79	10696	20,46	9060	38,04	7643	54,73	6304
3,02	10694	20,73	9038	38,38	7626	55,2	6283
3,14	10690	21,11	8996	38,66	7611	55,36	6264
3,57	10674	21,58	8975	38,9	7594	55,53	6243
3,95	10674	21,85	8954	39,22	7577	55,68	6202
4,11	10649	22,12	8933	39,47	7545	56,04	6180
4,36	10631	22,38	8911	39,78	7528	56,3	6160
4,73	10612	22,65	8869	40,1	7512	56,49	6138
5,1	10590	22,82	8849	40,41	7496	56,81	6116
5,41	10565	23,05	8827	40,64	7479	56,94	6094
5,61	10540	23,41	8806	40,83	7462	57,22	6048
5,88	10512	23,67	8786	41,11	7447	57,44	6025
6,16	10279	23,96	8764	41,41	7413	57,78	6001
6,41	10243	24,29	8744	41,71	7397	58,09	5976
6,64	10221	24,59	8702	42	7380	58,47	5952
7,25	10196	24,81	8682	42,2	7363	58,56	5927
7,67	10167	25,08	8661	42,43	7346	58,71	5901
7,85	10166	25,29	8641	42,62	7329	58,96	5849
8,12	10140	25,55	8620	42,92	7312	59,18	5821
8,37	10139	25,81	8600	43,12	7278	59,44	5795
8,4	10113	26,15	8580	43,5	7260	59,73	5766
8,82	10112	26,41	8519	43,92	7226	59,82	5738
9,35	10088	26,71	8499	44,21	7208	60,01	5709
9,55	10086	27,11	8479	44,49	7191	60,34	5680
9,74	10036	27,5	8459	44,85	7172	60,71	5456
10,07	10010	27,83	8440	45,16	7154	60,89	5420
10,36	9986	28,09	8419	45,31	7137	61,06	5383

10,58	9960	28,41	8399	45,59	7118	61,24	5342
10,89	9936	28,65	8360	45,94	7082	61,63	5302
11,13	9911	29,06	8340	46,28	7063	61,87	5259
11,48	9886	29,33	8321	46,3	7045	61,94	5214
11,69	9838	29,61	8301	46,6	7026	62,14	5118
12,06	9813	29,87	8263	47,02	7006	62,4	5066
12,33	9788	30,12	8243	47,28	6988	62,53	5010
12,63	9765	30,46	8225	47,59	6968	62,74	4952
12,94	9741	30,76	8205	47,74	6929	62,85	4826
13,19	9717	30,98	8186	47,96	6909	63,06	4826
13,53	9693	31,17	8168	48,21	6890	63,09	4609
13,89	9646	31,53	8148	48,53	6869	63,13	4684
14,08	9623	31,83	8111	48,8	6849	63,2	4524
14,33	9600	32,13	8092	49,02	6829	63,23	4423
14,71	9576	32,35	8075	49,12	6808	63,46	4306
14,93	9553	32,62	8056	49,49	6788	63,56	3998
15,18	9530	32,95	8038	49,71	6747	63,72	3998
15,42	9508	33,23	8020	50,15	6727	63,84	3586
15,65	9463	33,46	7984	50,55	6686	64,04	3344
15,9	9440	33,7	7967	50,62	6666	64,29	3082
16,46	9419	33,91	7949	50,97	6645	64,55	2807
16,69	9397	34,18	7931	51,33	6625	64,59	2528
16,92	9375	34,46	7914	51,55	6605	64,85	2255
17,14	9354	34,79	7896	51,79	6584	64,91	1990
17,52	9332	35,07	7878	51,97	6564	65,16	1475
						65,52	1229
						66,61	86

EK 1-Tablo 4. Yirmi dört tip (normal) imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri

İMDAT YAYI STROK-KUVVET VERİLERİ							
Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)
-0,02	10716	16,55	9436	33,22	8021	50,93	6745
-0,02	10716	16,83	9436	33,5	8001	51,2	6722
-0,02	10716	17,09	9389	33,79	7981	51,46	6700
-0,01	10717	17,36	9389	34,06	7961	51,73	6677
0	10717	17,66	9366	34,31	7940	52,03	6655
0,08	10716	17,95	9320	34,54	7920	52,26	6632
0,58	10716	18,17	9320	34,81	7900	52,53	6610
1,13	10716	18,47	9273	35,1	7880	52,69	6587
1,77	10716	18,72	9250	35,39	7861	52,92	6564
2	10716	19,03	9227	35,7	7821	53,17	6519
2,38	10716	19,45	9204	35,97	7802	53,48	6496
2,68	10713	19,64	9181	36,23	7782	53,83	6474

3,04	10713	19,82	9158	36,52	7763	54,18	6451
3,45	10702	20,03	9135	36,83	7743	54,45	6428
3,71	10692	20,29	9112	37,16	7724	54,77	6405
3,93	10692	20,49	9089	37,46	7705	55,02	6382
4,15	10665	20,69	9067	37,76	7686	55,27	6359
4,42	10665	20,92	9044	38,07	7667	55,53	6336
4,7	10626	21,15	9021	38,35	7648	55,81	6313
4,99	10603	21,44	8998	38,64	7629	56,1	6289
5,25	10603	21,7	8953	38,9	7610	56,35	6266
5,55	10552	21,93	8953	39,19	7591	56,63	6243
5,85	10524	22,22	8907	39,47	7572	56,91	6220
6,13	10495	22,47	8907	39,7	7553	57,18	6196
6,38	10291	22,77	8862	39,99	7534	57,46	6173
6,63	10255	23,06	8840	40,29	7515	57,74	6149
6,86	10240	23,37	8817	40,57	7496	57,99	6126
7,17	10233	23,67	8795	40,87	7477	58,32	6102
7,43	10212	23,95	8772	41,16	7458	58,6	6078
7,71	10210	24,22	8750	41,46	7439	58,95	6054
8	10185	24,5	8728	41,75	7420	59,24	6030
8,28	10185	24,73	8705	41,99	7401	59,43	6005
8,51	10160	25,04	8683	42,23	7382	59,68	5981
8,7	10159	25,29	8661	42,47	7344	59,92	5956
8,89	10133	25,52	8639	42,7	7344	60,13	5930
9,13	10133	25,79	8617	42,98	7305	60,38	5904
9,47	10108	26,06	8595	43,26	7286	60,63	5877
9,8	10082	26,29	8573	43,51	7266	60,88	5849
10,1	10056	26,54	8551	43,78	7247	61,1	5791
10,38	10031	26,81	8529	44,01	7227	61,4	5596
10,59	10005	27,05	8507	44,23	7208	61,68	5558
10,9	9979	27,28	8485	44,59	7188	61,95	5519
11,2	9954	27,55	8463	45,16	7169	62,24	5478
11,51	9928	27,85	8442	45,69	7149	62,51	5436
11,85	9903	28,16	8420	46,11	7129	62,85	5391
12,13	9877	28,49	8398	46,37	7109	63,14	5345
12,42	9852	28,8	8377	46,62	7089	63,42	5297
12,65	9826	29,1	8355	46,88	7068	63,61	5246
12,92	9801	29,37	8334	47,18	7048	63,88	5192
13,16	9776	29,67	8313	47,45	7027	64,08	5135
13,39	9750	29,93	8270	47,68	7006	64,29	5075
13,63	9725	30,21	8270	47,92	6985	64,43	5010
13,91	9676	30,49	8228	48,18	6964	64,48	4941
14,22	9676	30,73	8228	48,43	6943	64,56	4867
14,55	9651	31,01	8186	48,66	6921	64,67	4788
14,82	9627	31,32	8166	48,9	6900	64,79	4581
15,12	9602	31,59	8145	49,17	6878	65	4581
15,38	9554	31,83	8124	49,56	6856	65,17	4255

15,64	9554	32,12	8103	49,83	6834	65,42	4042
15,89	9506	32,41	8083	50,13	6812	65,64	3796
16,12	9506	32,72	8062	50,38	6790	65,91	3515
16,34	9483	32,99	8042	50,63	6767	66,12	3214
						66,36	2915
						69,85	109

EK 1-Tablo 5. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri

İMDAT YAYI STROK-KUVVET VERİLERİ							
Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)
-0,01	13483	17,09	12174	34,39	10772	52,3	9555
-0,01	13483	17,38	12153	34,61	10755	52,61	9537
0,04	13483	17,73	12132	34,84	10738	52,97	9520
0,09	13483	18	12112	35,06	10721	53,27	9485
0,15	13483	18,29	12070	35,31	10687	53,44	9485
0,46	13483	18,7	12050	35,62	10670	53,66	9450
1,19	13483	19,11	12029	35,87	10653	53,87	9433
2,31	13483	19,5	12009	36,23	10637	54,15	9415
2,5	13482	19,69	11988	36,58	10620	54,4	9398
2,51	13482	19,83	11968	36,98	10586	54,72	9380
2,9	13482	20,03	11948	37,23	10570	55,07	9363
3,23	13475	20,22	11907	37,57	10553	55,32	9345
3,52	13475	20,34	11887	37,92	10536	55,57	9310
3,94	13458	20,45	11867	38,24	10503	55,72	9292
4,16	13445	20,65	11847	38,49	10486	56,06	9275
4,32	13429	20,84	11827	38,75	10470	56,3	9257
4,55	13409	21,05	11807	38,98	10453	56,58	9240
4,89	13387	21,27	11767	39,22	10437	56,77	9222
5,18	13363	21,52	11747	39,45	10403	56,97	9205
5,52	13337	21,92	11727	39,67	10387	57,17	9187
5,7	13283	22,3	11707	39,93	10370	57,43	9170
5,97	13254	22,71	11687	40,26	10353	57,72	9135
6,15	13224	23,11	11647	40,67	10336	58	9117
6,39	13067	23,37	11647	41,07	10320	58,33	9081
6,69	13021	23,65	11607	41,39	10286	58,63	9081
7,13	13013	23,93	11587	41,72	10269	58,93	9045
7,48	12999	24,25	11567	42,03	10252	59,32	9027
7,8	12988	24,45	11548	42,32	10235	59,54	9009
8,08	12985	24,68	11528	42,57	10218	59,91	8990
8,33	12966	24,97	11488	42,82	10201	60,17	8971
8,59	12965	25,18	11468	43,18	10183	60,51	8933
8,89	12923	25,41	11448	43,47	10149	60,75	8933

9,14	12923	25,67	11429	43,67	10132	61,07	8894
9,4	12881	25,9	11409	43,85	10115	61,29	8874
9,69	12859	26,14	11370	44,07	10097	61,55	8854
10,07	12837	26,39	11350	44,29	10080	61,83	8834
10,27	12815	26,67	11331	44,52	10063	62,07	8814
10,49	12793	26,99	11311	44,91	10029	62,33	8794
10,75	12771	27,35	11273	45,33	10012	62,62	8773
11,07	12749	27,78	11253	45,77	9995	63	8732
11,29	12705	28,16	11234	46,21	9977	63,28	8732
11,51	12683	28,51	11215	46,54	9960	63,44	8691
11,83	12661	28,88	11178	46,8	9943	63,57	8670
12,17	12639	29,22	11159	47,12	9926	63,74	8650
12,41	12617	29,48	11141	47,38	9909	63,88	8630
12,6	12595	29,74	11123	47,75	9876	63,98	8610
12,74	12573	30,01	11105	48	9859	64,09	8590
12,97	12530	30,28	11086	48,19	9842	64,19	8570
13,21	12509	30,55	11069	48,61	9825	64,23	8525
13,49	12488	30,81	11033	48,85	9792	64,26	8193
13,79	12466	31,1	11015	49,15	9775	64,35	8019
14,1	12445	31,29	10998	49,26	9758	64,4	7802
14,33	12403	31,53	10980	49,57	9741	64,5	7541
14,61	12403	31,75	10963	49,76	9724	64,62	7235
14,96	12361	31,99	10945	49,98	9708	64,75	6884
15,36	12340	32,23	10910	50,22	9691	65,03	6046
15,74	12319	32,48	10893	50,41	9674	65,38	5563
15,97	12298	32,73	10876	50,75	9657	65,72	5052
16,27	12278	33,14	10858	51,01	9623	66,06	4534
16,44	12257	33,51	10841	51,27	9606	66,22	4016
16,58	12236	33,88	10806	51,57	9589	66,38	3499
16,85	12194	34,19	10806	51,84	9572	66,58	2992
						66,75	2064
						69,35	91

EK 1-Tablo 6. Yirmi dört tip (uzun) imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri

İMDAT YAYI STROK-KUVVET VERİLERİ							
Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)
-0,26	13294	17,96	12067	35,34	10659	52,48	9446
-0,05	13294	18,2	12067	35,57	10639	52,67	9426
-0,02	13294	18,4	12017	35,89	10619	52,89	9407
0	13296	18,71	11993	36,13	10601	53,28	9387
0,09	13293	19,13	11967	36,39	10582	53,64	9368

0,87	13293	19,35	11943	36,7	10562	53,89	9348
1,17	13292	19,57	11918	36,92	10544	54,11	9328
1,46	13291	19,76	11894	37,27	10525	54,32	9310
1,75	13290	20	11869	37,51	10506	54,64	9290
2,1	13290	20,3	11845	37,82	10487	54,83	9270
2,4	13289	20,55	11820	38,08	10469	55,1	9251
2,66	13288	20,85	11796	38,36	10432	55,34	9232
3,13	13286	21,11	11772	38,69	10413	55,58	9213
3,31	13282	21,43	11748	38,96	10396	55,85	9193
3,6	13277	21,67	11724	39,25	10377	56,06	9173
3,83	13270	21,92	11699	39,54	10359	56,22	9155
4,09	13260	22,19	11676	39,78	10342	56,59	9135
4,48	13249	22,44	11652	40,06	10324	56,91	9116
4,72	13235	22,76	11629	40,34	10306	57,07	9097
5,2	13219	23,03	11604	40,62	10289	57,51	9078
5,48	13200	23,3	11581	40,97	10271	57,76	9059
5,66	13180	23,62	11558	41,22	10253	57,82	9040
5,92	13158	23,93	11535	41,52	10236	58,19	9002
6,27	13134	24,27	11488	41,8	10219	58,46	8983
6,56	13109	24,54	11488	42,07	10201	58,69	8963
6,93	13053	24,88	11442	42,33	10184	58,9	8944
7,33	13024	25,16	11420	42,52	10149	59,13	8924
7,65	12934	25,43	11397	42,79	10149	59,4	8904
7,96	12904	25,74	11376	43,09	10115	59,68	8884
8,22	12876	25,97	11353	43,46	10097	60,04	8863
8,46	12848	26,29	11331	43,75	10080	60,2	8842
8,71	12844	26,56	11309	44,06	10062	60,43	8821
9,06	12821	26,87	11287	44,29	10045	60,65	8800
9,46	12820	27,12	11266	44,62	10028	60,95	8778
9,7	12795	27,34	11244	44,85	10010	61,19	8756
9,9	12770	27,54	11201	45,09	9992	61,46	8735
10,15	12745	27,91	11180	45,44	9974	61,64	8713
10,49	12720	28,24	11160	45,78	9956	61,97	8692
10,82	12696	28,56	11139	46,13	9938	62,22	8670
11,34	12672	28,8	11119	46,37	9920	62,4	8648
11,55	12647	29,08	11098	46,55	9901	62,57	8627
11,7	12624	29,41	11078	46,83	9883	62,67	8605
11,93	12575	29,76	11059	47,05	9865	62,68	8585
12,16	12575	30,09	11039	47,22	9846	62,78	8564
12,66	12528	30,41	11020	47,65	9828	62,79	8500
12,97	12528	30,64	11001	48,05	9809	62,83	8544
13,17	12481	30,88	10981	48,19	9790	62,89	8057
13,43	12457	31,21	10963	48,37	9771	63,03	7612
13,79	12433	31,56	10944	48,6	9734	63,04	8057
14,08	12410	31,81	10924	49,01	9715	63,08	8500
14,43	12386	32,04	10906	49,33	9695	63,13	7326

14,68	12362	32,16	10887	49,58	9677	63,26	6999
14,9	12338	32,42	10868	49,84	9658	63,32	6634
15,24	12314	32,77	10831	50,08	9638	63,6	6229
15,59	12289	33	10831	50,43	9620	63,92	5793
15,84	12265	33,29	10793	50,68	9581	64,09	5324
16,01	12241	33,68	10793	51	9581	64,29	4828
16,25	12216	33,96	10755	51,26	9542	64,4	4318
16,54	12192	34,24	10735	51,51	9542	64,53	3803
16,89	12166	34,48	10716	51,81	9504	64,67	3289
17,19	12142	34,69	10697	52,01	9484	64,77	2790
17,69	12117	34,95	10677	52,16	9465	65,11	2331
						65,31	1916
						66,93	65

EK 1-Tablo 7. Otuz tip imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri

İMDAT YAYI STROK-KUVVET VERİLERİ							
Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)
-0,04	13409	17,36	11987	34,29	10585	51,65	9211
0	13411	17,53	11969	34,5	10568	51,85	9194
0,04	13410	17,85	11951	34,79	10535	52,21	9176
0,05	13408	18,15	11933	35,07	10518	52,55	9158
0,86	13407	18,42	11897	35,35	10485	52,89	9123
1,93	13406	18,7	11879	35,65	10468	53,03	9105
2,53	13405	18,94	11861	35,93	10451	53,22	9070
2,61	13404	19,15	11825	36,18	10435	53,47	9052
2,89	13403	19,44	11807	36,48	10402	53,84	9034
3,13	13400	19,67	11770	36,7	10386	54,15	9016
3,28	13396	19,93	11752	37,01	10369	54,46	8980
3,48	13389	20,11	11734	37,23	10337	54,78	8962
3,76	13366	20,35	11698	37,49	10320	55,01	8945
4,12	13349	20,64	11680	37,77	10304	55,27	8909
4,41	13330	20,92	11662	38,03	10272	55,47	8891
4,66	13307	21,14	11627	38,33	10255	55,66	8873
4,84	13254	21,4	11609	38,6	10239	55,96	8838
5,11	13226	21,65	11591	38,91	10223	56,3	8820
5,33	13197	21,93	11573	39,2	10191	56,56	8802
5,76	13166	22,18	11538	39,41	10175	56,95	8784
5,95	12966	22,5	11520	39,77	10142	57,17	8749
6,14	12945	22,8	11486	40,05	10126	57,47	8731
6,34	12919	23,08	11468	40,38	10110	57,77	8713
6,75	12900	23,39	11451	40,64	10078	58	8696
7,16	12894	23,67	11434	40,91	10062	58,18	8660
7,43	12872	23,92	11400	41,17	10045	58,4	8642

7,66	12869	24,16	11383	41,4	10013	58,66	8624
7,97	12852	24,44	11366	41,67	9996	58,98	8588
8,23	12815	24,74	11332	41,93	9980	59,22	8570
8,39	12797	25	11316	42,22	9964	59,5	8552
8,68	12779	25,28	11299	42,53	9930	59,82	8516
9,01	12760	25,5	11265	42,79	9914	60,25	8480
9,34	12723	25,76	11232	43,09	9897	60,55	8462
9,56	12705	26,07	11215	43,4	9863	60,71	8444
9,76	12686	26,35	11198	43,66	9847	60,98	8408
9,96	12667	26,7	11163	43,91	9830	61,22	8390
10,14	12629	27,01	11146	44,2	9796	61,55	8371
10,3	12610	27,31	11128	44,48	9780	61,96	8353
10,74	12591	27,63	11093	44,93	9763	62,2	8317
11,12	12572	27,92	11076	45,34	9746	62,41	8298
11,38	12534	28,21	11059	45,63	9713	62,51	8280
11,59	12515	28,46	11041	46,01	9696	62,64	8243
11,88	12496	28,7	11007	46,21	9679	62,81	8225
12,17	12457	29,03	10990	46,5	9662	63,02	8206
12,47	12438	29,32	10973	46,69	9628	63,2	8188
12,69	12400	29,57	10939	46,96	9594	63,37	8151
13,06	12380	29,84	10923	47,27	9577	63,51	8132
13,31	12361	30,12	10906	47,62	9560	63,56	8113
13,65	12323	30,4	10874	48,04	9525	63,65	8094
13,82	12304	30,62	10858	48,13	9508	63,69	8043
14,16	12284	30,89	10842	48,33	9491	63,73	7631
14,47	12265	31,21	10810	48,58	9456	63,76	7446
14,81	12227	31,52	10794	48,95	9439	63,95	6961
14,96	12208	31,78	10779	49,17	9421	64,05	6661
15,24	12189	32,1	10747	49,43	9386	64,21	6326
15,59	12152	32,37	10731	49,69	9369	64,42	5544
15,82	12133	32,57	10715	49,95	9351	64,57	5099
16,04	12114	32,87	10683	50,23	9334	65,05	4129
16,26	12096	33,19	10667	50,5	9299	65,4	3635
16,55	12059	33,5	10651	50,84	9282	65,64	3146
16,93	12041	33,75	10618	51,07	9264	65,83	2680
17,13	12023	34,02	10601	51,41	9246	66,09	1857
						66,36	1499
						67,82	71

EK 1-Tablo 8. Otuz tip imdat yayı strok-kuvvet performans grafiği verileri

İMDAT YAYI STROK-KUVVET VERİLERİ							
Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)	Strok (mm)	Kuvvet (N)
-0,12	13450	17,08	12074	33,65	10647	51,01	9272
-0,02	13450	17,24	12056	33,97	10631	51,27	9253
0	13453	17,58	12020	34,27	10598	51,58	9215
0,02	13452	17,89	12001	34,53	10582	51,78	9196
0,68	13449	18,2	11983	34,77	10566	52,04	9176
1,74	13448	18,47	11946	35,05	10533	52,26	9157
2,5	13447	18,71	11928	35,32	10517	52,59	9118
2,59	13446	18,99	11909	35,58	10500	52,96	9098
2,71	13446	19,16	11891	35,81	10468	53,21	9078
3,02	13441	19,35	11854	36,07	10451	53,43	9058
3,15	13436	19,59	11835	36,35	10435	53,71	9019
3,43	13428	19,76	11817	36,6	10401	53,9	8999
3,77	13417	19,99	11779	36,89	10385	54,21	8979
3,98	13385	20,2	11760	37,16	10368	54,52	8959
4,2	13363	20,4	11741	37,38	10352	54,78	8920
4,51	13339	20,67	11723	37,71	10318	54,98	8882
4,8	13313	20,95	11685	38	10301	55,3	8863
5,05	13256	21,2	11666	38,28	10285	55,48	8844
5,3	13226	21,45	11629	38,56	10251	55,82	8807
5,47	13027	21,76	11611	38,78	10235	56,11	8788
5,71	13001	22,04	11593	39,06	10218	56,45	8770
5,98	12973	22,28	11574	39,33	10185	56,73	8752
6,31	12952	22,58	11538	39,62	10169	56,98	8716
6,6	12947	22,84	11520	39,95	10152	57,21	8699
6,9	12930	23,05	11502	40,27	10119	57,56	8681
7,24	12923	23,3	11467	40,62	10103	57,84	8647
7,55	12902	23,61	11449	40,88	10087	58,09	8631
7,74	12900	23,92	11432	41,16	10054	58,4	8614
7,91	12864	24,21	11397	41,42	10038	58,6	8580
8,13	12846	24,54	11380	41,68	10021	58,92	8563
8,47	12828	24,85	11363	41,94	9988	59,27	8546
8,78	12791	25,12	11328	42,16	9972	59,65	8529
9	12773	25,37	11310	42,41	9955	59,75	8494
9,23	12755	25,68	11293	42,64	9922	59,99	8476
9,51	12737	25,96	11276	42,92	9906	60,19	8458
9,73	12701	26,23	11240	43,21	9889	60,43	8440
9,9	12683	26,49	11223	43,53	9856	60,72	8403
10,32	12665	26,78	11188	43,79	9839	61,01	8384
10,61	12647	27,1	11170	44,08	9822	61,25	8365
10,98	12611	27,34	11153	44,35	9805	61,57	8346
11,25	12593	27,59	11135	44,73	9771	61,93	8307

11,48	12574	27,89	11101	45,23	9754	62,1	8287
11,78	12556	28,19	11083	45,61	9737	62,39	8268
12,04	12520	28,47	11066	45,87	9703	62,69	8248
12,28	12501	28,72	11049	46,18	9686	62,97	8209
12,55	12464	29,01	11015	46,51	9669	63,17	8190
12,83	12446	29,26	10998	46,69	9634	63,25	8152
13,09	12427	29,51	10964	46,94	9617	63,28	8132
13,31	12409	29,77	10947	47,1	9600	63,43	8113
13,6	12372	30,01	10930	47,39	9582	63,53	8094
13,84	12353	30,35	10913	47,66	9547	63,62	8052
14,16	12335	30,64	10879	47,91	9530	63,76	7679
14,41	12316	30,84	10862	48,21	9512	63,78	8026
14,63	12279	31,07	10829	48,52	9494	63,81	7521
14,85	12260	31,35	10812	48,73	9458	63,81	7101
15,12	12241	31,66	10795	49,02	9440	63,85	6838
15,41	12223	31,91	10779	49,33	9422	63,94	6539
15,62	12185	32,17	10745	49,65	9385	64,26	5833
15,99	12167	32,49	10729	49,94	9366	64,56	5426
16,31	12148	32,78	10713	50,17	9348	64,73	4985
16,57	12130	33,14	10696	50,33	9310	65,03	4028
16,76	12093	33,39	10664	50,6	9291	65,25	3546
						65,57	3078
						67,88	83

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Recep ÖZTEMUR

Lisans: Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği – (2008 - 2012)

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği – (2010 - 2011)

Yüksek Lisans: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü – (2021 - 2024)

YAPILAN YAYINLAR:

- Öztemur, R., Sayın, C., Demir, A., “Ağır Ticari Araçların Fren Körüğündeki Korozyon Oluşumunun Azaltılmasına Yönelik Dahili Havalandırma Tekniği Uygulaması”, 2. Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, 16-17 Aralık 2023, İstanbul, Türkiye, 558-567.