

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



**AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA VİSKOZ SÖNÜMLEME
YAPABİLEN HAVA KÖRÜĞÜ TASARIMI VE PROTOTİP
İMALATI**

Yüksek Lisans Tezi

Tolga ORAL

Danışman
Prof. Dr. Naci KURGAN

SAMSUN
2024

TEZ KABULU VE ONAYI

Tolga ORAL tarafından, **Prof. Dr. Naci KURGAN** danışmanlığında hazırlanan “**Ağır Ticari Araçlarda Viskoz Sönümleme Yapabilen Hava Körüğü Tasarımı ve Prototip İmalatı**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 24.07.2024 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Anabilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Naci KURGAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Mahmut Can ŞENEL Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mekanik Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğretim Üyesi Batuhan ÖZAKIN Samsun Üniversitesi Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

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

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

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

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

12/06/2024

Tolga ORAL

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA VİSKOZ SÖNÜMLEME YAPABİLEN HAVA KÖRÜĞÜ TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 12/06/2024 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 6

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

12/06/2024

Prof. Dr. Naci KURGAN

ÖZET

AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA VİSKOZ SÖNÜMLEME YAPABİLEN HAVA KÖRÜĞÜ TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

Tolga ORAL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Haziran/2024

Danışman: Prof. Dr. Naci KURGAN

Günümüzde ağır vasıta araçların süspansiyon sistemlerinde yay ve yük taşıma elemanı olarak hava körükleri, titreşim sönümleme elemanı olarak ise amortisörler kullanılmaktadır. Ağır vasıta araçta bulunan aks sistemi, zemin bozuklukları veya başka sebeplerden dolayı yukarı ve aşağı yönde düzensiz hareketler gerçekleştirmesi sırasında süspansiyon sistemi üzerinde bulunan hava körükleri de esneme ve sıkışma hareketleri gerçekleştirir. Bu hareketler esnasında, elastomer yapıları sayesinde az miktarda da olsa sönümleme kuvveti oluştururlar. Fakat bu sönümleme kuvveti tek başına yeterli değildir. Süspansiyon sisteminde sönümleme görevini üstlenen asıl eleman amortisörlerdir. Fakat, amortisörler zaman içerisinde yağ sızıntısı ve mekanik arızalar nedeniyle kritik fonksiyonlarını kaybettiklerinden dolayı görevlerini yerine getiremeyebilirler. Bu çalışmada hava körüklerine yüksek sönümleme kabiliyeti kazandırılması hedeflenmiştir. Ayrıca bazı süspansiyon sistemlerinde amortisör elemanlarının tamamen sistemden çıkartılarak sadece hava körükleri ile sönümleme yapılabilmesi hedeflenmiştir. Böylelikle hava körüklerine yüksek sönümleme kabiliyeti kazandırmanın yanında, amortisörlerin de sistemden çıkartılmasıyla maliyetinde, bakım sürelerinde ve süspansiyon ağırlığında azalma elde edilecektir.

Hava körüklerinin aks üzerindeki dinamik çalışma koşullarında meydana gelen hareketler sonucunda hava körüğü içerisinde bulunan sıkışmış hava, körük haznesinden piston haznesine ve tam tersi yöne geçmeye çalışırken kısıtlanır ve sönümleme kuvveti oluşturulur. Bu akış kısıtlamasını gerçekleştirecek elemanın özelliklerinin doğru seçilmesi önemlidir. Akış kısıtlayıcı eleman olarak gözenekli bir yapı kullanıldığında, hava akışının bir dirençle karşılaşması sonucu hava körüğünün dinamik hareketi ile sönümleme kuvveti oluşturulabilir. Bu çalışmada, viskoz sönümleme yapabilen (veya viskoz sönümleme kabiliyetine sahip) bir hava körüğü tasarımı yapılmıştır. Akış kısıtlayıcı elemanın porozite oranındaki değişimin sönümleme karakteristiğine etkileri test edilmiştir ve tasarlanan sistemin sönümleme karakteristiğinin belirlenebilmesi için karakterizasyon testleri uygulanmıştır. Ayrıca, uygulanan testlerin karşılaştırılmalı sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak standart bir hava körüğünün oluşturduğu ortalama 0,6 kN değerinde sönümleme kuvvetinden yaklaşık 3 kat daha fazla olan 1,8 kN sönümleme kuvveti elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Amortisör, Akış kısıtlayıcı, Hava körüğü, Porozite oranı, Süspansiyon sistemi, Titreşim, Viskoz sönümleme

ABSTRACT

DESIGN AND PROTOTYPE PRODUCTION OF AIR SPRING CAPABLE OF VISCOUS DAMPING IN HEAVY COMMERCIAL VEHICLES

Tolga ORAL

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Master, June/2024

Supervisor: Prof. Dr. Naci KURGAN

Currently, in the suspension systems of heavy vehicles, air springs are used as spring and load carrying elements and shock absorbers are used as vibration damping elements. As the axle system in the vehicle moves up and down due to ground disturbances or other reasons, the air springs also perform extending and compression movements. In the meantime, thanks to their elastomer structure, they create a small amount of damping force. But this damping force alone is not enough. The main element that undertakes the damping task in the suspension system is the shock absorbers. However, shock absorbers may not be able to fulfill their duties as they lose their critical functions due to oil leakage and mechanical failures over time. In this study, it is aimed to provide high damping capability to air springs. In addition, in some suspension systems, it is aimed to remove the shock absorber elements completely from the system and damping can be done only with air springs. Thus, in addition to providing high damping capability to the air springs, a reduction in cost, maintenance time and suspension weight will be achieved by removing the shock absorbers from the system.

As a result of the movements of the air springs under dynamic operating conditions on the axle, the compressed air in the air spring is restricted and damping force is generated while trying to pass from the bellows chamber to the piston chamber and vice versa. It is important to correctly select the properties of the element that will realize this flow restriction. When a porous structure is used as the flow restricting element, the damping force can be generated by the dynamic movement of the air spring as a result of the air flow encountering a resistance. In this study, a viscous damping (or viscous damping capable) air spring is designed. The effects of changing the porosity ratio of the flow restrictive element on the damping characteristics are tested and characterization tests are performed to determine the damping characteristics of the designed system. Also, the comparative results of the tests are evaluated. As a result, a damping force of 1.8 kN was obtained, which is about 3 times higher than the average damping force of 0.6 kN generated by a standard air springs.

Keywords: Air spring, Flow restrictor, Porosity ratio, Suspension system, Shock absorber, Vibration, Viscous damping

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca verdiği bütün desteklerden dolayı sayın hocam Prof. Dr. Naci KURGAN’a, deneysel çalışmalarımda imkanlarını kullanmama izin veren Sampa Otomotiv Ar-Ge mekanik test laboratuvarı ekibine ve her türlü destekleri için Sampa Otomotiv İleri Ürün Geliştirme ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Tolga ORAL

İÇİNDEKİLER

TEZ KABULU VE ONAYI.....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. HAVA KÖRÜKLERİ.....	7
2.1 Hava Körüklerinin Çeşitleri ve Elemanları	9
2.1.1 Silindirik Tip Hava Körükleri.....	9
2.1.2 Katlı Tip Hava Körükleri.....	10
2.1.3 Kabin Tipi Hava Körükleri.....	11
2.1.4 Koltuk Tipi Hava Körükleri	12
2.2 Hava Körüklerinin Üretim Yöntemleri	14
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	19
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
4.1 Materyal	22
4.1.1 Katı Model Oluşturulması	22
4.1.2 Malzeme Seçimi	22
4.2 Yöntem	26
4.2.1 Akış Kısıtlayıcı Elemanın Özelliklerinin Belirlenmesi	27
4.2.2 Karakterizasyon Testlerinin Belirlenmesi	30
4.2.2.1 Farklı Porozite Oranlarına Göre Sönümlleme Profili Karşılaştırılması. 31	
4.2.2.2 Yüksek Çalışma Frekanslarında Sönümlleme Profili Belirlenmesi . 33	
4.2.2.3 Uzun Döngülü Çalışmada Sıcaklık Artışının Belirlenmesi	33
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	35
5.1 Sönümlleme Profili Karşılaştırma Prosedürü Test Bulguları.....	35
5.2 Yüksek Çalışma Frekansında Sönümlleme Profili Test Bulguları.....	41
5.3 Uzun Döngülü Çalışma Esnasında Sıcaklık Artışı Test Bulguları.....	42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ.....	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

mm	: Milimetre
kN	: Kilonewton
N	: Newton
ε	: Porozite oranı
V	: Hacim
V_d	: Dolu hacim
V_p	: Gözenekli hacim
v	: Hız
λ	: Periyot başına yer değiştirme
f	: Frekans
F_d	: Sönümlleme kuvveti
b	: Sönümlleme katsayısı
P	: Basınç
T	: Sıcaklık
P_s	: Şartlandırıcı basıncı
P_c	: Filtre çıkış basıncı
Q_c	: Filtre çıkış debisi
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat

KISALTMALAR

V1	: Körük lastiği içerisindeki boşluğun hacmi
V2	: Plastik piston içerisindeki boşluğun hacmi
NR	: Doğal kauçuk
SBR	: Stiren bütadien kauçuk
MPa	: Megapaskal
PA	: Poliamid
GF	: Glass fiber (cam fiber)
HB	: Brinell sertliği
ShA	: Shore A kauçuk sertlik birimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Sabit yay oranlı bir yaprak yay montajı (Bennett, 2018).....	2
Şekil 1.2. Amortisör, aks ve hava körüğü bulunan bir süspansiyon sistemi (Sampa Otomotiv, tarihsiz).....	3
Şekil 1.3. Tek tüplü bir amortisörün iç yapısı, tarihsiz (Anonim, tarihsiz).....	4
Şekil 1.4. Çift tüplü bir amortisörün iç yapısı (Anonim, 2015).....	5
Şekil 1.5. Süspansiyon sisteminden şasiye iletilen kuvvet şeması (Park, 2019).....	6
Şekil 2.1. Seviye kontrol valf mekanizması (Pahl, 2016).....	7
Şekil 2.2. Süspansiyon sistemlerinde kullanılan hava körükleri (Anonim, 2023).....	8
Şekil 2.3. Silindirik tip hava körüğü elemanları.....	9
Şekil 2.4. Katlı tip hava körüğü elemanları.....	10
Şekil 2.5. Tek, çift ve üç katlı hava körükleri (Sampa Otomotiv, tarihsiz).....	11
Şekil 2.6. Kabin (Sleeve) tip hava körüğü elemanları (ZF, 2019).....	11
Şekil 2.7. Araç üzerinde oluşan titreşim (gri) ve hareket sönümlemesi (turuncu).....	12
Şekil 2.8. Koltuk mekanizmasında kullanılan bir hava körüğü (Continental, tarihsiz).....	13
Şekil 2.9. Bir hava körüğünün konstrüksiyonu (Firestone, tarihsiz).....	14
Şekil 2.10. Kord bezinin yapısı (MEGEP, 2008).....	15
Şekil 2.11. (a) Vulkanize olmamış kauçuk, (b) vulkanize olmuş kauçuk (Andre ve Aboelkheir, 2022).....	16
Şekil 2.12. Vulkanizasyon presleri (Sampa Otomotiv, tarihsiz).....	16
Şekil 2.13. (1) işlem başlangıcı; (2) sıvama esnası; (3) işlemin tamamlanması (Uslu, 2014).....	17
Şekil 2.14. Enjeksiyon yöntemi ile parça üretme şeması (Borche, tarihsiz).....	18
Şekil 2.15. Hava körüklerinde kullanılan metal (sol) ve plastik (sağ) pistonlar (Sampa Otomotiv, tarihsiz).....	18
Şekil 4.1. Modellenen hava körüğünün elemanları.....	22
Şekil 4.2. Kaynak işlemine hazır üst ve alt piston.....	23
Şekil 4.3. Döndürme kaynağı makinesi ve aparatları.....	24
Şekil 4.4. Vulkanizasyon presinden çıkan hava körüğü lastiği.....	25
Şekil 4.5. Gözenekli akış kısıtlayıcı elemanlardan geçen hava hareketleri.....	26
Şekil 4.6. Bakır partiküllerinden sinterlenmiş gözenekli akış sınırlayıcı eleman (Carbos, tarihsiz).....	27
Şekil 4.7. Yoğunluk ölçüm cihazı.....	28
Şekil 4.8. Akış kısıtlayıcı elemanların çıkış debisi ve basıncı ölçüm test düzeneği.....	29
Şekil 4.9. Akış kısıtlayıcı elemanların çıkış debisi ve basıncı ölçüm test şeması.....	29
Şekil 4.10. Sinterlenmiş filtrelerin piston üzerindeki konumu.....	30
Şekil 4.11. Hava körüğünün test düzeneğine bağlanması.....	31
Şekil 4.12. Sıcaklık artış test düzeneği.....	34
Şekil 5.1. Numune 1 ile üretilen hava körüğünün test sonucu grafiği.....	35
Şekil 5.2. Numune 2 ile üretilen hava körüğünün test sonucu grafiği.....	36
Şekil 5.3. Numune 3 ile üretilen hava körüğünün test sonucu grafiği.....	37
Şekil 5.4. Numune 4 ile üretilen hava körüğünün test sonucu grafiği.....	38
Şekil 5.5. Numune 5 ile üretilen hava körüğünün test sonucu grafiği.....	39
Şekil 5.6. Testlerde kullanılan numunelerin genel test sonuçları.....	40
Şekil 5.7. Sabit deplasmanlı harekette elde edilen sönümlleme kuvvetleri.....	41
Şekil 5.8. Uzun döngülü çalışmada sıcaklık ve kuvvet artışı grafiği.....	42

TABLÖLAR DİZİNİ

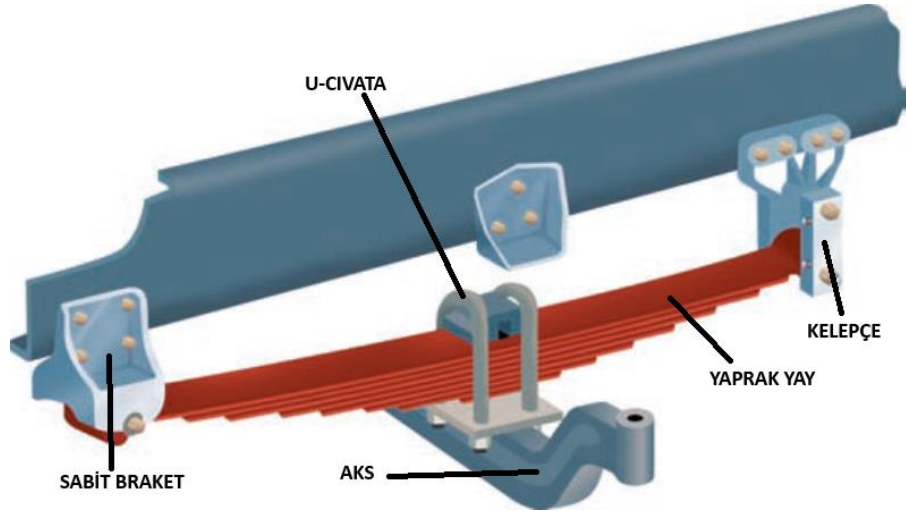
Tablo 4.1. DD11 (1.0332) çeliğinin özellikleri (Anonim, tarihsiz)	22
Tablo 4.2. PA 6.6 GF30 Malzeme Özellikleri (Anonim, tarihsiz).....	23
Tablo 4.3. NR + SBR kauçuk karışımı özellikleri	24
Tablo 4.4. Çalışma kapsamında test edilecek filtrelerin porozite oranları.....	28
Tablo 4.5. Akış kısıtlayıcı numunelerin sabit basınçlı akışta çıkış debi ve basınç değerleri .	30
Tablo 4.6. Sönümleme karşılaştırma test prosedürü	32
Tablo 4.7. Yüksek çalışma frekansı test prosedürü.....	33
Tablo 4.8. Uzun döngülü çalışma test prosedürü.....	34
Tablo 5.1. Numune 1 sönümleme kuvveti test sonuçları	35
Tablo 5.2. Numune 2 sönümleme kuvveti test sonuçları	36
Tablo 5.3. Numune 3 sönümleme kuvveti test sonuçları	37
Tablo 5.4. Numune 4 sönümleme kuvveti test sonuçları	38
Tablo 5.5. Numune 5 sönümleme kuvveti test sonuçları	39

1. GİRİŞ

Günümüzde ulaşım sektörü, giderek artan yük ve mesafe taleplerine karşılık vermek üzere teknolojik açıdan karmaşık ve optimize edilmiş çözümler arayışındadır. Bu bağlamda, ağır vasıta araçlarının süspansiyon sistemleri ve süspansiyon sistemlerinin üzerinde bulunan bileşenler, taşımacılık endüstrisindeki önemli unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler, araçların performansını, güvenliğini ve sürüş konforunu artırmak adına kritik roller üstlenmektedir.

Ağır vasıta araçların süspansiyon sistemleri, bu araçların üzerinde oluşan titreşimleri etkili bir şekilde sönmölemek ve yük taşıma kapasitesini optimize etmek amacıyla tasarlanmıştır. Aracın şasisini destekleme ve akslarla şasi arasında bir bağlantı kurma görevleri vardır. Yol şartlarındaki değişikliklere uyum sağlamak, lastik aşınmasını minimize etmek, lastiklerin yol ile olan bağlantılarını sürdürebilmelerini sağlamak ve sürücünün kontrolünü artırmak gibi fonksiyonları ile süspansiyon sistemleri, ağır vasıta araçlarının güvenilirliği ve performansı açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Ağır vasıta araçların süspansiyon sistemleri genel olarak yaprak yaylı ve hava körüklü olarak iki kategoriye ayrılır.

Yaprak yay, Şekil 1.1'de gösterildiği gibi bir çelik plaka veya bir dizi sıkıştırılmış çelik plakadan oluşur. Bugün kamyonlarda kullanılan yaprak yayların çoğu, yay çeliğinden üretilmektedir. Yay çeliği, temperlenmiş, yani ısıtılmış işlem uygulanmış orta alaşımlı çeliktir. Bu işlem, yaprak yay plakasına kalıcı olarak deforme olmadan önemli ölçüde esneklik sağlamak amacıyla yapılır. Yaprak yaylar, tek bir yapraktan veya birlikte sıkıştırılmış bir dizi yapraktan oluşabilir. Yaprak yaylar sabit oranlıdır. Tipik bir sabit oranlı yaprak yay, U-cıvatalar ile bir aks yuvasına monte edilir. Yayın ön ucu sabit bir braketle cıvatalarla sabitlenir. Yayın arka ucu ise, yay kelepçesi olarak bilinen esnek bir braketle cıvatalar ile monte edilir. Bu kelepçe, yayın aşağı ve yukarı yönde hareket etmesine izin verir (Sanders, 1934).



Şekil 1.1. Sabit yay oranlı bir yaprak yay montajı (Bennett, 2018)

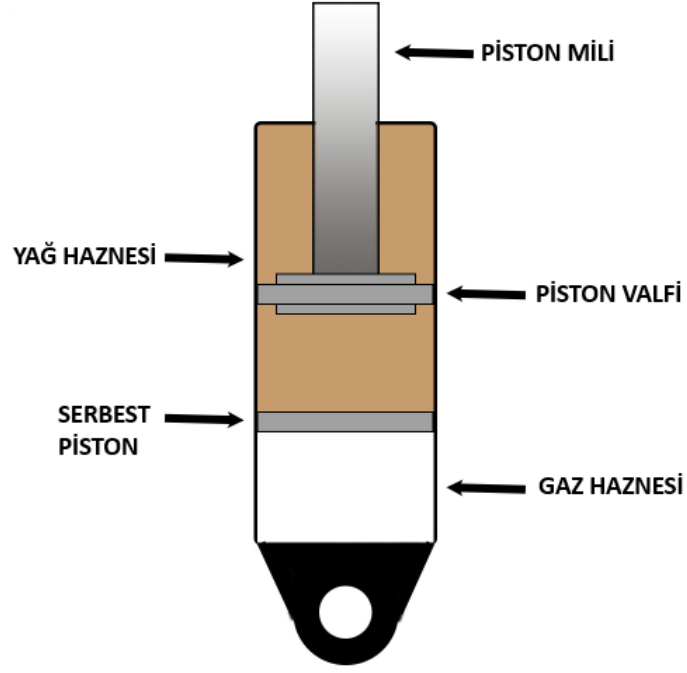
Hava körüklü bir ağır vasıta süspansiyon sisteminde Şekil 1.2’de gösterildiği gibi aks, amortisörler ve hava körükleri gibi birçok eleman beraber çalışmaktadır. Bu sistem üzerindeki her bir elemanın üstlendiği görev farklıdır. Süspansiyon sistemindeki hava körükleri, mekanik yaprak tipi yayların yerini alabilir veya birlikte kullanılabilir. Hava körükleri, yoldan gelen şoklarının kamyon şasisine, yüke ve sürücüye iletilmesini minimize eder. Hava körüklü süspansiyon sistemi, yük koşullarına otomatik olarak uyum sağlar ve hafif veya hiç yük olmadığında düşük yay oranlı bir süspansiyon, ağır yükler olduğunda ise yüksek yay oranlı bir süspansiyon sağlar. Bu özelliği tanımlamak için adaptif süspansiyon terimi sıklıkla kullanılır. Hava körüklerinin başlıca dezavantajı, süspansiyon titreşimlerini sönmüleme yeteneğinin çok düşük olmasıdır. Bu nedenle, yardımcı sönmüleme mekanizmaları olarak amortisörler kullanılır (Bennett, 2018).



Şekil 1.2. Amortisör, aks ve hava körüğü bulunan bir süspansiyon sistemi (Sampa Otomotiv, tarihsiz)

Amortisörler, yol darbelerinin ve titreşimlerinin minimize edilerek sürüş konforunun ve güvenliğinin artırılması için kullanılan bileşenlerdir. Ağır vasıtalarda kullanılan amortisörler, çeşitli tiplerde ve işlevlerde olabilir.

Tek tüplü amortisörler Şekil 1.3'te gösterildiği gibi içlerinde tek bir tüp barındıran ve pistonun bu tüp içinde hareket ettiği amortisörlerdir. Bu tür amortisörler, genellikle yüksek performans gerektiren uygulamalarda tercih edilir. İçerisinde pistonun hareket ettiği bir çalışma tüpü ve bu tüp içinde sıkıştırılmış gaz olarak genellikle nitrojen kullanılır. Piston hareket ettikçe yağ ve gaz arasındaki basınç farkı sayesinde sönümleme sağlanır. Isı dağılımı daha etkindir, daha hassas ve hızlı tepki verir. Ayrıca, montaj pozisyonuna karşı duyarlılıkları düşüktür. Üretim maliyeti daha yüksektir ve dış darbelere karşı daha hassastır.



Şekil 1.3. Tek tüplü bir amortisörün iç yapısı, tarihsiz (Anonim, tarihsiz)

Çift tüplü amortisörler Şekil 1.4’te gösterildiği gibi iç içe geçmiş iki tüpten oluşur. İç tüp, pistonun hareket ettiği çalışma tüpüdür ve dış tüp ise yedek sıvıyı barındırır. İç tüp içinde piston ve çalışma sıvısı bulunur. Dış tüp ise fazla sıvıyı depolar ve ısıyı dağıtır. Tek tüplü amortisörlere göre daha düşük maliyetlidir ve darbelere karşı daha dayanıklıdır. Isı yönetimi iç tüpe göre daha iyidir. Performansları, tek tüplü amortisörlere kıyasla daha düşüktür ve tepki süreleri biraz daha yavaştır.



Şekil 1.4. Çift tüplü bir amortisörün iç yapısı (Anonim, 2015)

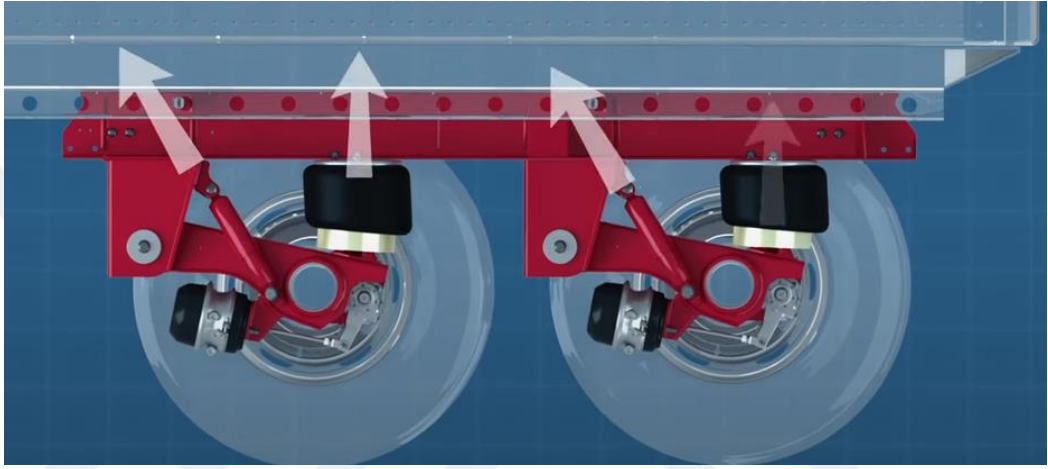
Amortisörler, içerisinde bulunan hidrolik yağın özelliğine, ortam sıcaklığına, piston valfinin geçirgenliğine ve çalışma hızlarına göre farklı sönümlleme kuvvetleri oluşturabilirler (Reimpell vd., 2000).

Bu çalışma, literatürde bilinen hava körüklerinden farklı olarak, hava körüğünde kauçuk lastik bölgesinin iç hacmi ile piston iç hacmi arasında gözenekli akış kısıtlayıcı elemana sahip olması sayesinde hava körüklerine yüksek sönümlleme kuvveti üretebilme ve yüksek çalışma frekanslarında bu kuvveti sabit tutma özelliği kazandırmak ile ilgilidir. Bu durum, süspansiyon sisteminde amortisör kullanımının elimine edilmesi ile daha az maliyetli olacak şekilde hem hazneler arası laminar bir hava akışı sağlanarak hem de hava körüklerine sistem gereksinimlerini karşılayacak miktarda viskoz sönümlleme kuvveti özelliği kazandırılmasını da sağlayabilmektedir.

Ağır ticari araçların süspansiyon sistemlerinde kullanılan amortisör elemanının zaman içerisinde fonksiyonel özelliğini kaybetmesi sürüş güvenliği ve konforu için

büyük bir dezavantaj yaratmaktadır. Amortisörün içerisinde bulunan hidrolik yağın zamanla özelliğini kaybetmesi, sızdırma durumundan dolayı yağ miktarının azalması ve diğer mekanik arızalar amortisörler üzerinde bakım yapılmasını gerektirmektedir.

Ayrıca, Şekil 1.5'te amortisörler aks üzerinde belirli bir açıda çalıştığı için iletilen kuvvetin yönü tek bir doğrultuda olmamaktadır. Bu durum araç tarafından taşınan yükler ve sürücü konforu açısından olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu sebeplerden dolayı amortisörün kullanım ömrü düşmekte ve tüm süspansiyon sistemi negatif olarak etkilenmektedir.

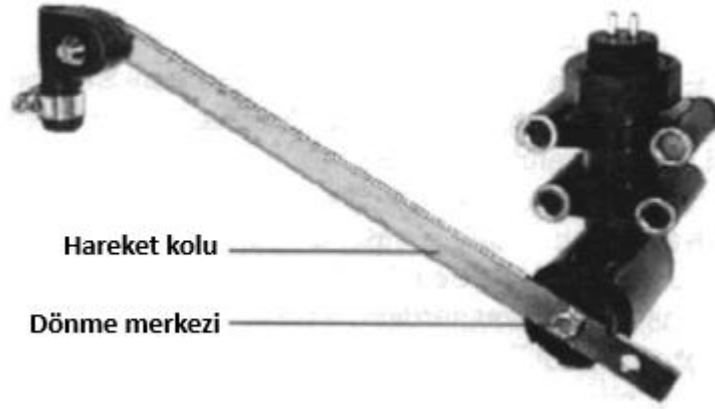


Şekil 1.5. Süspansiyon sisteminden şasiye iletilen kuvvet şeması (Park, 2019)

2. HAVA KÖRÜKLERİ

Hava körükleri, ilk olarak sürücünün ve aracın güvenliği, ikinci olarak yolculuk konforu gibi temel faktörler açısından çok önemli elemanlardır. Hava körükleri, bir aracın süspansiyon sistemine entegre edilen ve içindeki hava basıncı miktarına göre eksenel ve radyal yönlerde şekil değiştirip yük taşıyabilen elemanlardır. Hava körüklerinin içerisindeki hava basıncı ayarlanarak aracın sürüş yüksekliği ve sertliği kontrol edilir.

Hava körükleri, genellikle kauçuk veya sentetik malzemelerden yapılmıştır. Dolayısıyla iç basınç miktarına göre şekil değiştirebilirler ve bu miktara göre yay oranları değişiklik gösterebilir. İçlerine hava doldurulması veya boşaltılması yoluyla farklı yükleme kondisyonlarında şasinin yer ile olan mesafesinin korunmasına olanak sağlar. Bu durum, sürüş koşullarına ve yük miktarına göre araçta bulunan seviye kontrol valfleri ile otomatik olarak ayarlanabilir. Üst segment binek araçların süspansiyon sistemlerinde de kullanılabilirler. Sürücü veya araç içi sistemler tarafından kontrol basınç kontrolleri gerçekleştirilebilir.



Şekil 2.1. Seviye kontrol valf mekanizması (Pahl, 2016)

Hava körükleri, özellikle yük taşıma kapasitesi yüksek olan ağır vasıta araçları için önemlidir. Araç şasisinde çok fazla yer kaplamamaları ve olağanüstü yük taşıma kapasiteleri sayesinde bu elemanlar, aracın yük taşıma kapasitesini artırarak taşımacılık verimliliğini optimize etmeye yardımcı olur. Aynı zamanda, değişen yük durumlarına hızla uyum sağlayabilme yetenekleri sayesinde sıkça tercih edilmektedirler (Pahl, 2016).



Şekil 2.2. Süspansiyon sistemlerinde kullanılan hava körükleri (Anonim, 2023)

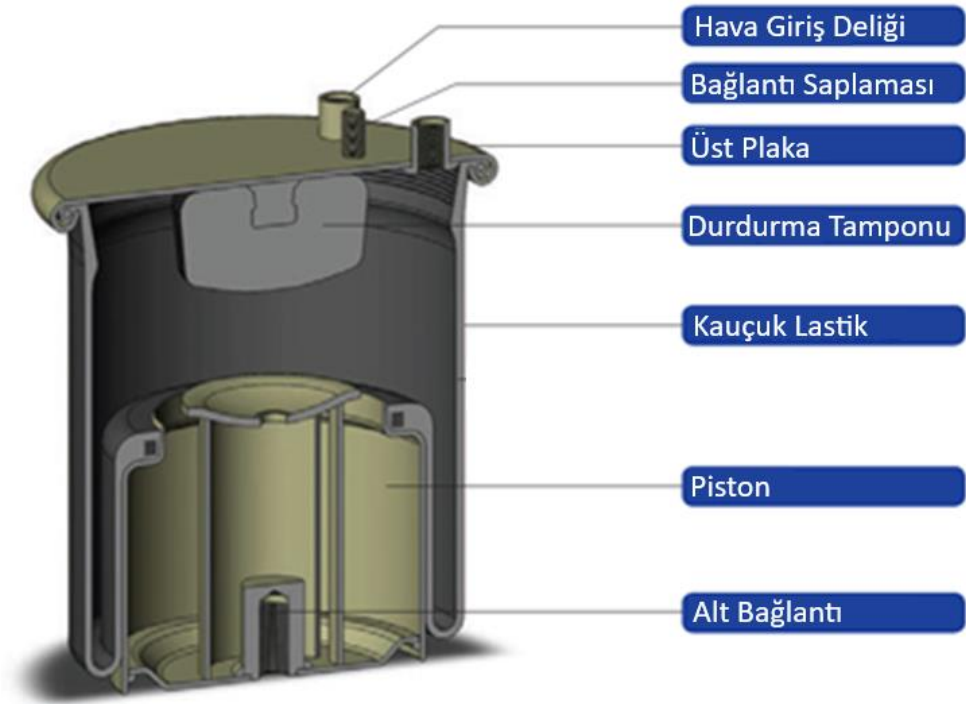
Hava körükleri, ağır vasıta araçların zeminden yüksekliğini düzenleyerek yük indirme ve yükleme işlemlerini kolaylaştırır ve aynı zamanda aracın genel performansını ve güvenliğini artırır. Bu nedenle hava körükleri, süspansiyon sistemlerinde önemli ve geliştirilmeye açık bir teknolojik bileşen olarak öne çıkmaktadır.

2.1 Hava Körüklerinin Çeşitleri ve Elemanları

Piyasada kullanım ve üretim alanlarına göre farklı hava körüğü tipleri bulunmakta olup, her biri kendi tipine özel uygulamalara sahiptir. Yaygın olarak silindirik, katlı, kabin ve koltuk tipi hava körükleri kullanılmaktadır.

2.1.1 Silindirik Tip Hava Körükleri

Silindirik tip hava körükleri, genellikle ağır ticari araçların dorselerinde kullanılan yay oranlarına göre belirli bir sertlik derecesine sahip ve yük taşıyan önemli bileşenlerdir. Bu hava körükleri, ağır vasıtalardan hafif ticari araçlara kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Özellikle esneklik, dayanıklılık ve performans açısından sağladığı avantajlarla dikkat çekerler. Şişirildiğinde, kauçuk lastik alt taraftaki pistonu doğru uzandır ve yük taşıyarak araca destek sağlar. Boyutları diğer körük tiplerine göre daha büyük olduğu için çok yüksek taşıma kapasitelerine ulaşabilirler.

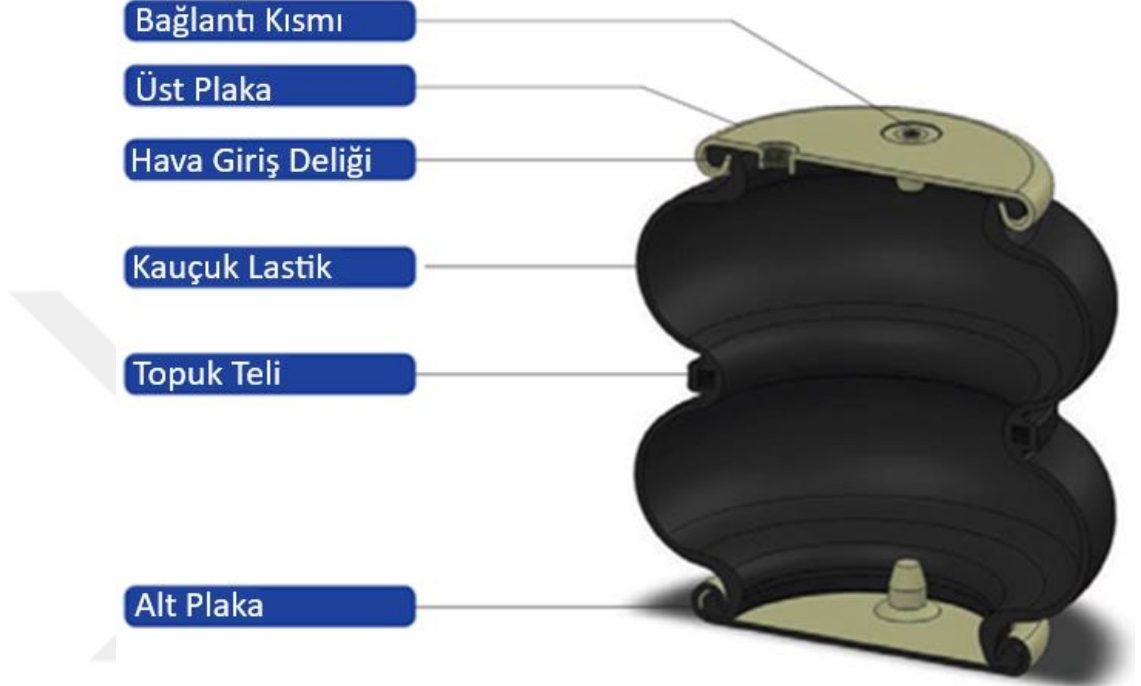


Şekil 2.3. Silindirik tip hava körüğü elemanları

Genellikle kamyonlar, otobüsler ve ticari araçlarda yaygın olarak kullanılır. Şasi üzerine üst plaka ile bağlantı yapılır. Silindirik ve konik kauçuk lastik olmak üzere iki farklı versiyonu bulunmaktadır.

2.1.2 Katlı Tip Hava Körükleri

Aralarında boğumlar olan kıvrımlı veya katlı şekilde tasarlanmış bir yapıya sahiptir. Kıvrımlı şekli, daha geniş bir hareket aralığı ve esneklik sağlar. Ağır yük taşıyan kamyonlar, otobüsler ve endüstriyel uygulamalarda kullanılır. İyi bir taşıma kapasitesi sunar.



Şekil 2.4. Katlı tip hava körüğü elemanları

Bu körükler kompakt yapıları sayesinde şasi üzerinde yerden tasarruf sağlar, kullanımı kolaydır ve bakım maliyeti düşüktür. Şasi üzerinde oluşan titreşimleri önleyerek süspansiyonda yüksek performans gösterirler. Çok akslı araçlarda araç boşken tekerlekleri korumak için kaldırma körüğü olarak kullanılırlar. Yük kapasiteleri boyutlarına göre oldukça fazladır.

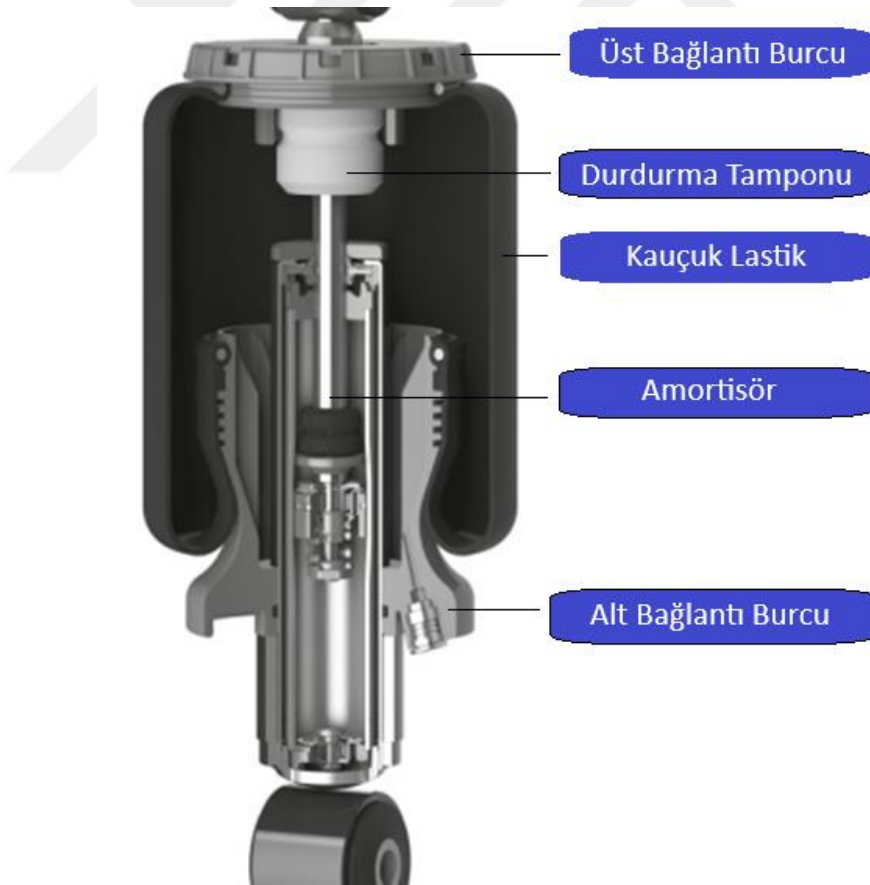
Bir veya birden fazla kat sayısına sahip olabilirler. Kat sayısının belirlenmesi, hava körüğünün kullanılacağı araçtaki yük, yer ve boy gereksinimleri gibi birçok farklı ihtiyaca göre değişebilir. Yay oranları genellikle diğer hava körüğü tiplerine göre daha yüksektir.



Şekil 2.5. Tek, çift ve üç katlı hava körükleri (Sampa Otomotiv, tarihsiz)

2.1.3 Kabin Tipi Hava Körükleri

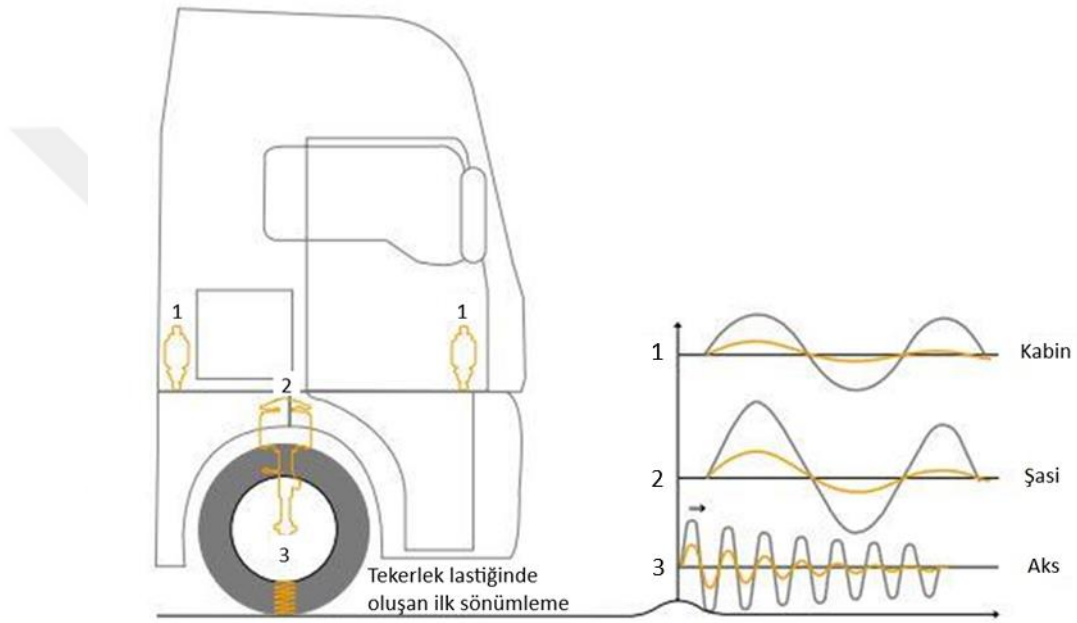
Silindir veya kılıf şeklinde tasarlanmıştır. Kompakt tasarımları sayesinde sınırlı alanlarda kullanım için uygundur. Amortisör ve körük yapısının beraber bulunabilmesi sayesinde taşıma kapasitesi ile sürüş konforu arasında iyi bir denge sağlar. Hafif kamyonetler ve bazı binek otomobillerde yaygın olarak kullanılır.



Şekil 2.6. Kabin (Sleeve) tip hava körüğü elemanları (ZF, 2019)

Olumsuz yol koşullarında, sürücü kabinine kadar ulaşan sarsıntı seviyesini azaltmak için kullanılırlar. Ağır ticari araçların kabinlerinin alt bölgelerinde dört adet olacak şekilde eski nesil helezon yayların yerine kullanılırlar. Amortisör elemanı ile entegre bir şekilde veya yalnızca hava körüğü olarak kullanılabilirler. Amortisörler ile birleşerek yerden kazanç ve konforda artış sağlamaktadırlar.

Şekil 2.7’de gösterilen eğriler, düzensiz yol yüzeyinden gelen titreşimleri ve sönüm elemanlarının sönümleme eğrilerini göstermektedir. Gri renkteki eğriler sönümlememiş, turuncu renkteki eğriler ise sönümlemiş eğrileri ifade etmektedir.



Şekil 2.7. Araç üzerinde oluşan titreşim (gri) ve hareket sönümlemesi (turuncu)

2.1.4 Koltuk Tipi Hava Körükleri

Koltuk tipi hava körükleri, ağır vasıta sürücülerinin konforunu artırmak ve uzun yolculuklarda oluşabilecek yorgunluğu minimize etmek amacıyla tasarlanmış özel süspansiyon bileşenleridir. Bu sistemler, Şekil 2.8’de görülebileceği gibi sürücü koltuklarının titreşimlerini ve yol darbelerini etkin bir şekilde sönümleyerek daha rahat bir sürüş deneyimi sunar. Özellikle kamyonlar, otobüsler ve diğer ticari araçlarda yaygın olarak kullanılır.

Bu körüklerin kullanıldığı sistemlerde, sürücünün ağırlığına ve yol koşullarına bağlı olarak hava basıncı ayarlanır. Bazı gelişmiş sistemler, sürücünün konforunu maksimize etmek için yol koşullarına ve sürüş dinamiklerine göre hava basıncını otomatik olarak ayarlar.

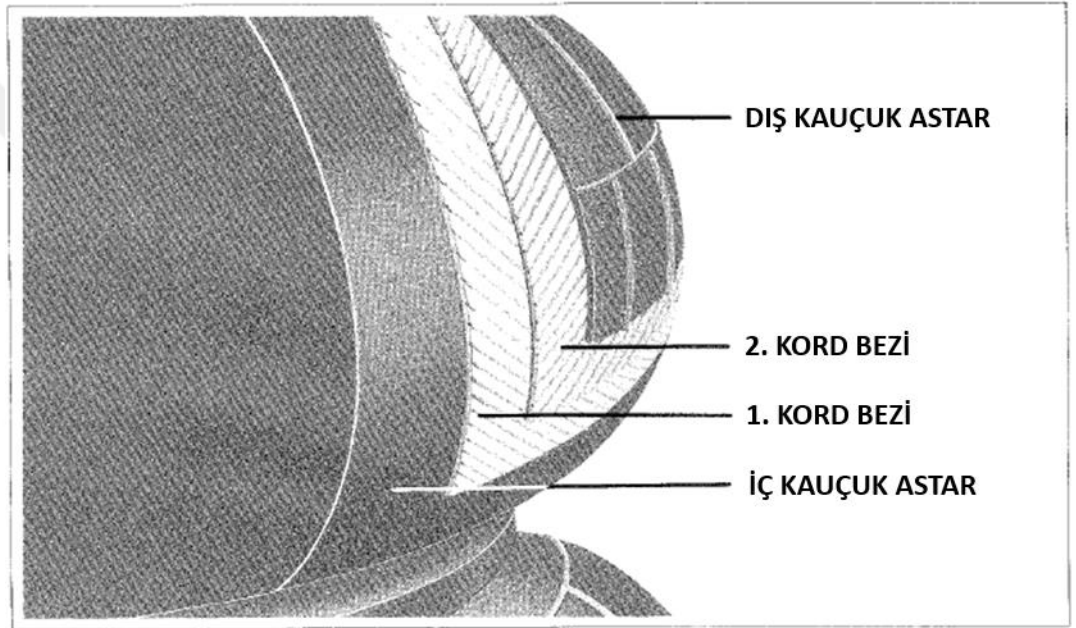


Şekil 2.8. Koltuk mekanizmasında kullanılan bir hava körüğü (Continental, tarihsiz)

2.2 Hava Körüklerinin  retim Yöntemleri

Bir  nceki bölümlerde hava körüklerinin amaçları, nerede kullanıldıkları ve hava k r   n  oluşturan elemanların açıklamalarından bahsedilmiştir. Bir hava körüğünün üretim yönteminin anlaşılabilmesi için öncelikle oluşturulacak konstrüksiyon belirlenmelidir.

Hava körüklerinin lastik kısmı genellikle dört ana katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar içeriden dışarıya doğru  ekil 2.9’da görülebileceği gibi sırasıyla i  kauçuk astar, birinci kauçuk kaplanmış kord bezi, ikinci kauçuk kaplanmış kord bezi ve dış kauçuk astar olarak söylenbilir.

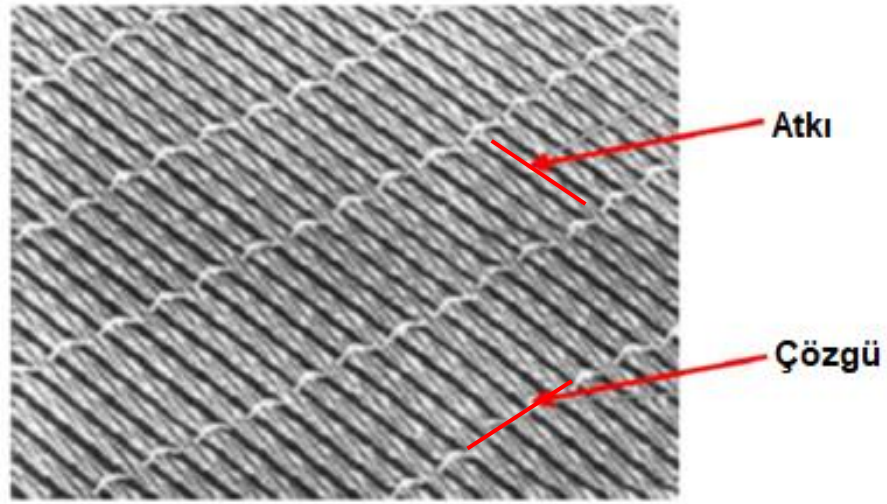


Şekil 2.9. Bir hava körüğünün konstrüksiyonu (Firestone, tarihsiz)

Uygun yapı ve katman sayısı belirlendikten sonra katmanları oluşturacak elemanların malzeme seçimleri oldukça önemlidir. Malzeme seçimi, hava körüğünün kullanım amacına ve çevresel koşullara bağlı olarak belirlenir. Genellikle kullanılan malzemeler arasında elastomerik bileşenler, kauçuk veya termoplastik elastomerler, takviye malzemeleri, polyester veya naylon ve metal bağlantı elemanları bulunur (Turna vd., 2018).

Kord bezi olarak tabir edilen yapı, hava körüğünün y k taşıma kapasitesine doğrudan etki eden ana elemandır. Bu iki kat bezlerin sarım açısına, kalınlığına ve ipleri arasındaki mesafeye göre hava körüğünün taşıma kapasitesi de i ir. Şekil 2.10’da görülebileceği gibi kord bezlerinin yapısında atkı ve   z   adı verilen iki

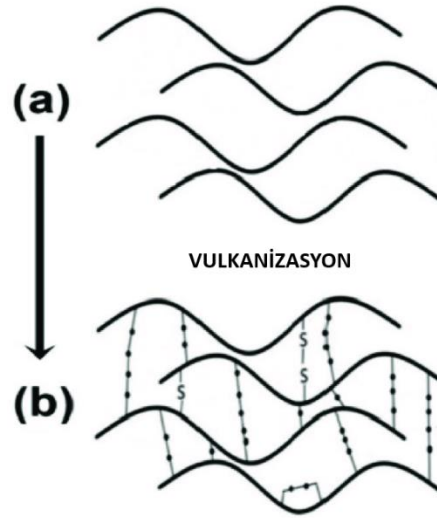
çeşit iplik bulunmaktadır. Atkı iplikleri, çözgü ipliklerinin bir arada tutulmasını sağlarken, çözgü iplikleri kuvvet iletimini sağlamaktadır.



Şekil 2.10. Kord bezinin yapısı (MEGEP, 2008)

Hava körüğünün konstrüksiyonu tamamlandıktan sonra uygun boyutlarda vulkanize edilmesi gerekmektedir.

Vulkanizasyon, Charles Goodyear tarafından 1839 yılında keşfedilen bir kimyasal ve teknik işlemdir. Bu süreçte, kauçuk veya benzeri polimerler, kükürt ya da diğer benzer maddeler eklenerek daha dayanıklı malzemelere dönüştürülür. Isı etkisiyle, kükürt atomları kauçuk molekülleri arasında çapraz bağlar veya "köprüler" oluşturur. Bu köprüler, polimer zincirlerini birbirine bağlayarak malzemenin esnekliğini ve dayanıklılığını artırır. Bu yöntemle üretilen körük lastikleri, kullanılan materyale kıyasla daha uzun ömürlü özelliklere sahiptir. Örneğin, bu kimyasal reaksiyon sonucunda elde edilen madde parçalanmalara karşı daha dayanıklı, daha esnek ve olumsuz hava koşullarına karşı daha dirençlidir. Ayrıca, fiziksel etkilere karşı oldukça dayanıklı olup, bu etkiler ortadan kalktığında ilk hallerine geri dönerler.



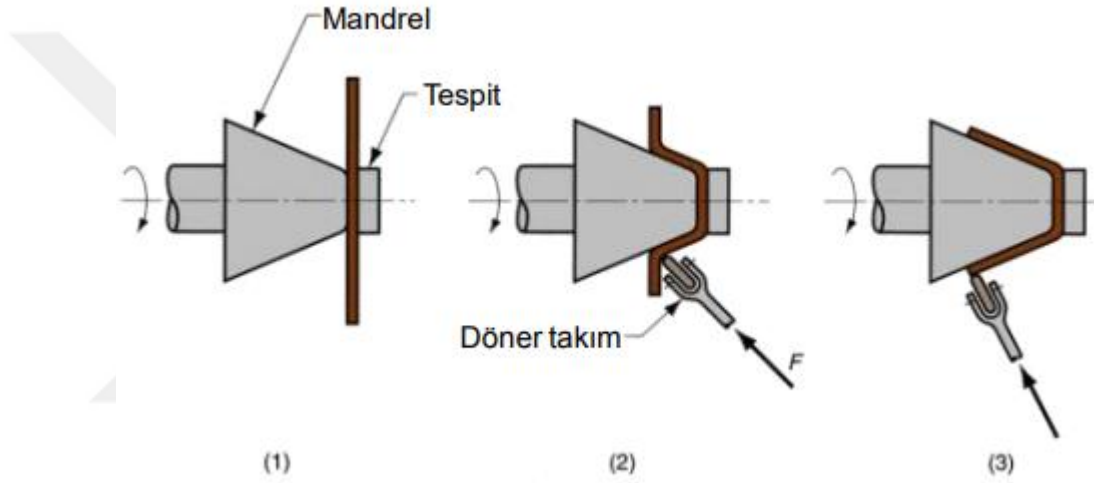
Şekil 2.11. (a) Vulkanize olmamış kauçuk, (b) vulkanize olmuş kauçuk (Andre ve Aboelkheir, 2022)

Kauçuk maddelerin esnekliği, üretim sürecinde oluşan kükürt köprülerine bağlıdır. Üretim sırasında ne kadar çok kükürt köprüsü oluşursa, ortaya çıkan madde o kadar esnek olur. Bu nedenle, üretilen maddenin esnekliği, üretim sırasında kullanılan kükürt miktarına ve vulkanizasyon işleminin süresine dolaylı olarak bağlıdır (Coran, 2013).



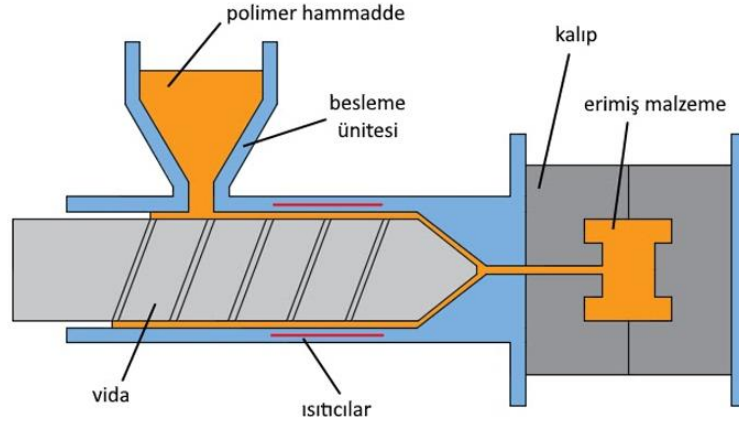
Şekil 2.12. Vulkanizasyon presleri (Sampa Otomotiv, tarihsiz)

Üst bağlantı plakaları, körüklerin bağlantı ve hava giriş-çıkış elemanlarının bulunduğu, hava körüğü ile şasi arasındaki bağlantıyı sağlayan parçalardır. Ayrıca, körük çeşidine göre alt ve üst tarafa koyulabilen, körüğü darbelere karşı da koruyan parçadır. Bu parça mukavemet açısından önemli olduğu için genellikle metal veya yüksek dayanımlı kompozit malzemelerden üretilir. Şekil 2.13'te gösterildiği gibi metal versiyonları genellikle önceden hazırlanmış sac plakaların sıvama yöntemi ile şekillendirilmesi ardından delme presleri ile bağlantı deliklerinin delinmesiyle üretilmektedir (Gülmez, 2011). Delinen bölgelere istenilen bağlantı elemanı kaynak yapılabilir. Kompozit versiyonları ise genellikle uygun bir kalıba enjeksiyon yöntemi ile üretilmektedir.



Şekil 2.13. (1) işlem başlangıcı; (2) sıvama esnası; (3) işlemin tamamlanması (Uslu, 2014)

Alt bağlantı pistonları ise genellikle plastik, çelik veya kompozit malzemelerden yapılan ve üzerindeki delikler veya saplamalar sayesinde hava körüğünün araç braketini üzerine bağlanabilmesini sağlayan elemanlardır. Plastik ve kompozit versiyonları enjeksiyon yöntemi ile üretilmektedir (Kuldaşlı, 2005).



Şekil 2.14. Enjeksiyon yöntemi ile parça üretme şeması (Borche, tarihsiz)

Alt bağlantı pistonları da seçilen malzemenin tipine göre farklı üretim yöntemleri ile üretilmektedir. Metal pistonlar genellikle sıvama ve kaynak işlemleri üretilirken alüminyum ve plastik versiyonları ise genellikle enjeksiyon yöntemi ile üretilmektedir. Şekil 2.15’te hava körüklerinde kullanılan metal ve plastik pistonlar gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Hava körüklerinde kullanılan metal (sol) ve plastik (sağ) pistonlar (Sampa Otomotiv, tarihsiz)

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Roebuck ve arkadaşları, ağır vasıta hava körüğüne giriş akış kısıtlaması olan ikincil bir hacim eklenmesini incelemişlerdir. Çalışmalarının amacı, böyle bir modifikasyonun geleneksel hava körüğü ve hidrolik damper kombinasyonunun yerini alabilecek bir süspansiyon ünitesi üretilip üretemeyeceğinin belirlenebilmesidir. Körüğün, ek hacmin ve ayarlanabilir akış kısıtlamasının matematiksel bir modeli geliştirilmiş ve bir test düzeneği oluşturmuşlardır. Sonuçlar, her durumda optimum sönümleme sağlayacak bir akış kısıtlamasının bulunabileceğini göstermiştir. Sistemin sönümleme oranını da incelemişler ve Avrupa Birliği yol dostu testi için gereken minimum oranın %73'ünü sağladığını göstermişlerdir (Roebuck vd., 2011).

Berg, genel üç boyutlu hareketler için doğrusal olmayan bir hava körüğü modeli incelemiştir. Doğrusal olmama, kauçuk malzemelerin sürtünme davranışından ve hava körüğü ile ek hava rezervuarı arasındaki borudaki hava akışından, özellikle de hava körüğü ile ek hava rezervuarı arasındaki açıklık ile sağladığını ifade etmiştir. Model; elastik, sürtünme ve viskoz kuvvetlerin süperpozisyonuna dayanmaktadır. Belirli bir ön yük için modelin yatay ve dikey hareketler için sırasıyla 6 ve 7 parametresi vardır. Model ve ölçüm sonuçları arasında yaptığı karşılaştırmalar, çok çeşitli durumlar için iyi bir uyum göstermektedir. Modelin gerçek ve hesaplama arasında makul bir dengeyi temsil ettiğini ve raylı araç dinamiği analizinde uygun bir araç olması gerektiğini göstermiştir (Berg, 1999).

Westnedge ve Keeler, US8540222B2 numaralı Amerikan patent dokümanında, özellikle ağır ticari araçlarda kullanılan aks veya süspansiyon sistemleri üzerine monte edilen hava körüğü ile ilgili çalışmışlardır. Patent dokümanına göre, hava körüğünün işlevselliğini en üst düzeye çıkarmak amacıyla, akışkan iletimi için körük haznesi ile piston haznesi arasında bir açıklık bulunması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu tasarım sayesinde, hava körüğündeki gaz ve akışkan hareketi optimize edilmektedir. Söz konusu patent dokümanında belirtilen açıklık belirli bir yüzey alanına sahiptir. Bu yüzey alanı ile, hava körüğünün sönümleme karakteristiğini en iyi şekilde optimize etmeyi amaçlamışlardır. Yani, akışkanın hareketi ve gaz basıncının kontrolü bu tasarım detaylarına göre düzenlenmektedir. Ancak, patent dokümanında belirtildiği üzere, bu özel sönümleme karakteristiği her zaman aynı değildir. Özellikle yüksek frekansta meydana gelen hareketlerde, havanın akışkanlığını koruma yeteneğinin azalmakta ve hazneler arası hava geçişlerinde

türbülanslı hareketler olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durumun hava körüğünün sönümleme karakteristiğini olumsuz etkileyerek hem performansının düştüğünü hem de ömrünün azaldığını görmüşlerdir (Westnedge ve Keeler, 2013).

Fulton ve arkadaşları, US9744824B2 numaralı Amerikan patent dokümanında, ağır ticari araç aks/süspansiyon sistemlerinde kullanılan sönümleme özelliğine sahip hava körüğü ve amortisör kombinasyonu ile ilgili çalışmışlardır. Burada bahsedilen sönümleme özelliğine sahip hava körüğü ve amortisör çalışabilir bir şekilde aks/süspansiyon sistemine bağlıdır. Sönümleme özelliğine sahip hava körüğü aks/süspansiyon sistemine özellikle birincil frekans aralığı olan 0 Hz ile 6 Hz aralığındaki frekans değerlerinde çalışmasını sağlar. Amortisör kullanımı sayesinde aks/süspansiyon sistemine özellikle ikinci frekans aralığı olan 0 Hz ile 13 Hz arasında çalışmasını sağlayarak sönümleme karakteristiği optimize edilmektedir. Bu dokümanda ağır ticari araçların pnömatik süspansiyon sisteminde amortisör elemanı kullanılmaktadır. Amortisörün zaman içerisinde fonksiyonel özelliğini kaybettiği bilindiği için aracın sürüş güvenliği ve konforunda bazı dezavantajlar oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca amortisörün içerisinde bulunan yağın zamanla özelliğini kaybetmesi ve amortisörün sızdırması gibi özelliklerinden dolayı bakım yapılmasını gerektirmektedir. Ayrıca amortisör kullanımının pnömatik süspansiyon sisteminde belirli bir açıda çalışması sebebiyle sistemin kullanım ömrünün azaldığını gözlemlemişlerdir (Fulton vd., 2017).

Hayes ve arkadaşları, US7644943B2 numaralı Amerikan patent dokümanında, araç süspansiyon sistemlerine yönelik bir hava körüğü düzenlemesi hakkında çalışmıştır. Bu düzenleme, hava körüğünün ve sönümleyici tertibatının, hava körüğünün hareketine bağlı olarak akışkanın akış yolu boyunca laminar bir hava akışını sürdürmek üzere hava odaları arasında bulunan bir gözenekli akış kontrol cihazı ile ilişkilendirilmesini içermektedir. Bu dokümanda anlatılan gözenekli yapıya sahip hava sınırlandırıcı, elektronik olarak kontrol edilmekte ve birden fazla gaz odasına bağlanabilme kabiliyetine sahip bir şekilde tasarlanmıştır. Bu düzenleme kompleks bir yapıya sahiptir ve elektronik kontrol ünitesi ürünün maliyetini artırmakta, değiştirilme sıklığını ve bakım maliyetlerini yükseltmektedir. Aynı zamanda harici bir enerji kaynağına bağlı olarak sönümleme yapılabilir. Bu durumun da aracın daha çok enerji tüketmesine sebep olduğunu gözlemlemişlerdir (Hayes vd., 2023).

Tavella, GB1231766A numaralı patent dokümanında, sönümleme özelliği kazandırılmış bir hava körüğü üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada hava körüğüne ek bir oda daha oluşturulup, körük ile bu odanın arasına esnek bir disk sabitlenmiştir. Körük içindeki basınç ve oluşturulan ek oda içindeki basınç eşit olmadığı durumda yüksek basınçtan alçak basınca hava akışı olurken bu esnek disk şekil değiştirip havanın ufak boşluklardan geçerek sönümleme kuvveti oluşturmasını sağlamıştır. Basınç farkı eşitlendiğinde ise esnek diskin ilk haline geri geldiğini görmüştür. Bu çalışmada esnek disk elastik bir malzemeden yapıldığı için zaman içinde etkisi altında kaldığı basınç ile plastik şekil değişimine uğrayarak istenilen sönümleme profilinin elde edilmemesine sebep olmaktadır (Tavella, 1970).

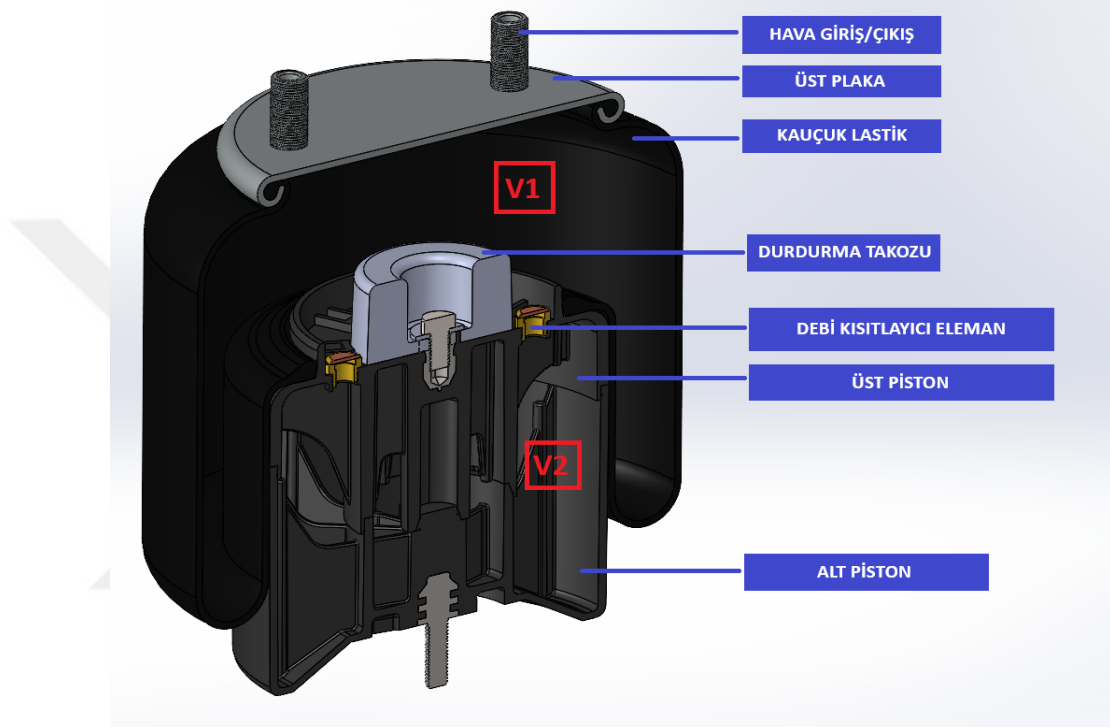


4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

4.1.1 Katı Model Oluşturulması

Bu çalışmada, SOLIDWORKS yazılımı ile içerisinde iki adet hacim tutabilecek oda bulunan bir süspansiyon hava körüğü modellenmiş ve parçaları Şekil 4.1'de gösterildiği gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Modellenen hava körüğünün elemanları

4.1.2 Malzeme Seçimi

Hava körüğündeki üst plaka DD11 (1.0332) kalite 4 mm kalınlığında sac malzeme kullanılarak sırası ile sıvama ve delme presleri ile üretilmiştir.

Tablo 4.1. DD11 (1.0332) çeliğinin özellikleri (Anonim, tarihsiz)

Özellik	Birim	Değer
Çekme Mukavemeti	MPa	440
Min. Akma Mukavemeti	MPa	220
Kopma Uzaması	%	28
Sertlik	HB	110

Üst ve alt piston parçaları, %30 cam elyaf takviyeli poliamid 6.6 malzeme

kullanılarak plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmiştir.

Tablo 4.2. PA 6.6 GF30 Malzeme Özellikleri (Anonim, tarihsiz)

Özellik	Birim	Değer
Çekme Mukavemeti	MPa	91
Elastisite Modülü	MPa	5500
Kopmadaki Şekil Değiştirme	%	< 14
Erime Sıcaklığı	°C	254
Çalışma Sıcaklığı	°C	110-180



Şekil 4.2. Kaynak işlemine hazır üst ve alt piston

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, üretilen üst ve alt piston parçaları döndürme kaynağı (spin welding) yöntemi ile birleştirilmiştir.

Döndürme kaynağı (spin welding), termoplastik malzemelerin birleştirilmesi için kullanılan bir sürtünme kaynak yöntemidir. Bu yöntem, kaynak yapılacak iki parça arasındaki sürtünme kuvvetini kullanarak malzemeyi eritip birleştirmeyi sağlar. Döndürme kaynağı, özellikle silindirik veya dairesel geometrilere sahip parçaların kaynaklanmasında oldukça etkilidir. Döndürme kaynağı, temel olarak bir parçanın sabit tutulması ve diğer parçanın yüksek hızda döndürülerek sabit parça ile sürtünme oluşturması prensibine dayanır. Bu sürtünme sonucu oluşan ısı, termoplastik

malzemeyi eriterek bir kaynak oluşturur. Parçalar birleştikten sonra dönme durdurulur ve parçalar soğutularak sağlam bir birleşim elde edilir (Troughton 2008).

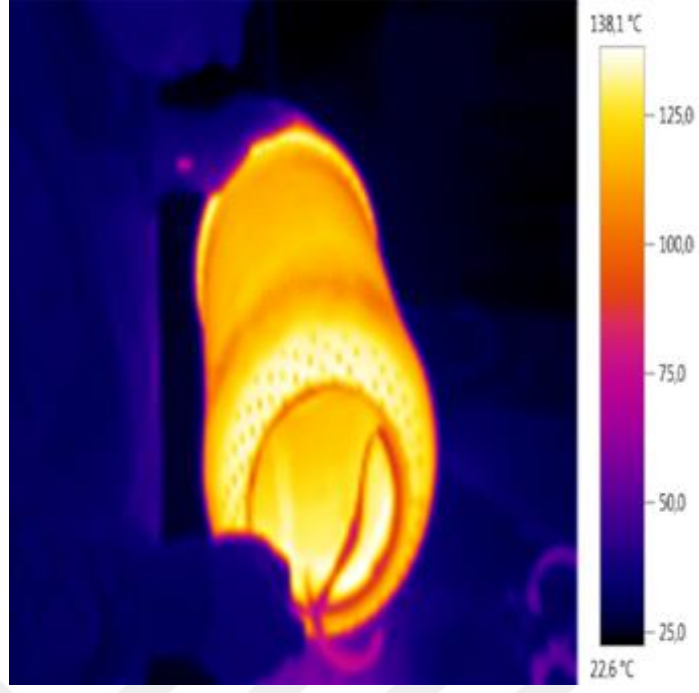


Şekil 4.3. Döndürme kaynağı makinesi ve aparatları

Kauçuk lastik kısmı iki kat NR+SBR kauçuk kaplamalı poliamid kord bezi takviyesi ve iki kat NR + SBR kauçuk astar katman olmak üzere toplam dört kat olarak üretilmiştir.

Tablo 4.3. NR + SBR kauçuk karışımı özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Sertlik	ShA	50
Çekme Mukavemeti	MPa	20
Kopma Uzaması	%	Min. 500
Yırtılma Mukavemeti	MPa	35
Çalışma Sıcaklık Aralığı	°C	-40 ile +90
Termal Bozulma Sıcaklığı	°C	200

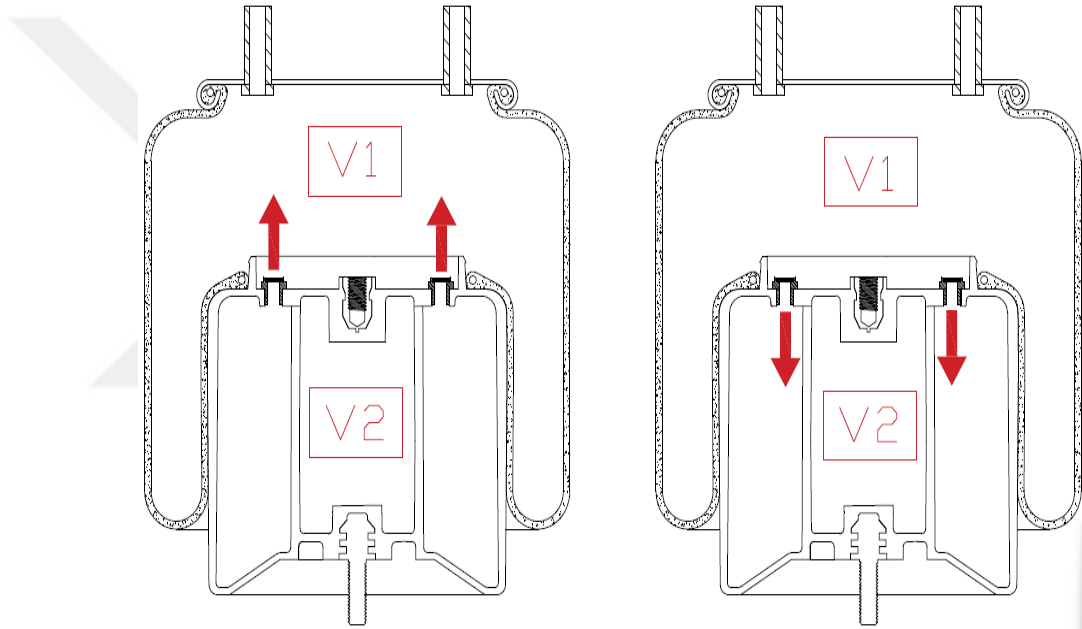


Şekil 4.4. Vulkanizasyon presinden çıkan hava körüğü lastiği

Akış kısıtlayıcı elemanın gövdesi ve sinterlenmiş parçaları sırası ile pirinç ve bakır olarak seçilmiştir. Cıvatalar ve saplamalar standart olarak 10.9 kalite kullanılmıştır.

4.2 Yöntem

Bu çalışma, Şekil 4.5'te gösterildiği gibi V1 ve V2 bölmeler arasında laminar bir hava akışı sağlamak ve bazı süspansiyon sistemlerinde amortisör kullanımını ortadan kaldırarak, daha düşük bir maliyetle hava körüğüne süspansiyon sistemi için gerekli miktarda viskoz sönümleme kuvveti sağlamakla ilgilidir. Tekniğin bilinen durumundaki hava körüklerinden farklı olarak bu çalışmada, körük bölgesi iç hacmi (V1) ile piston bölgesi iç hacmi (V2) arasında gözenekli bir hava akışı kısıtlayıcı eleman bulunmaktadır. Bu eleman, sisteme sadece bölmeler arasında laminar hava akışını sağlamakla kalmaz; aynı zamanda hava körüğüne sistem için gerekli miktarda viskoz sönümleme kuvveti oluşturma yeteneği de kazandırır.



Şekil 4.5. Gözenekli akış kısıtlayıcı elemanlardan geçen hava hareketleri

Bu çalışma kapsamında tasarlanan hava körüğünün Şekil 4.5'te gösterildiği gibi sönümleme gerçekleştirebilmesi için hava körüğünün içindeki basınçlı havanın V1 ve V2 arasından geçişinin kısıtlanması gerekmektedir. Basınç farkı eşitlendiğinde sistem dengeye gelir ve sönümleme kuvveti oluşmaz (Li vd., 2018). Akış kısıtlayıcı elemanın porozite oranındaki değişimine bağlı olarak, hava körüğünün dinamik çalışma hareketi sırasında ürettiği sönümleme kuvvetinin değeri ve farklı çalışma frekanslarındaki sönümleme profili değişmektedir. Bu nedenle akış kısıtlayıcı elemanın porozite oranının istenilen uygulamaya göre belirlenmesi çok önemlidir.

4.2.1 Akış Kısıtlayıcı Elemanın Özelliklerinin Belirlenmesi

Sinterlenmiş gözenekli filtreler, benzersiz özellikleri nedeniyle farklı endüstrilerde ve uygulamalarda çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bu filtreler, gözenekli bir yapı oluşturmak için tipik olarak metaller veya polimerler olmak üzere toz malzemelerin preste basınç altında sıkıştırılması ve sonrasında sinterlenmesi ile elde edilirler. Sinterleme, katı bir malzeme kütlesini eritmeden ısı veya basınçla sıkıştırma ve oluşturma işlemidir. Sinterlenmiş gözenekli filtrelerin kullanım amacı; kullanılan malzemeye, porozite oranına ve amaçlanan uygulamaya bağlıdır. Bu filtreler çok yönlü fonksiyonel özelliklere sahip olmakla birlikte, dayanıklılıkları, yüksek sıcaklıklara ve aşındırıcı ortamlara karşı dirençleri ve özelleştirilebilir gözenek yapıları nedeniyle değerli makine elemanlarıdır (Heikkinen ve Harley 2000).



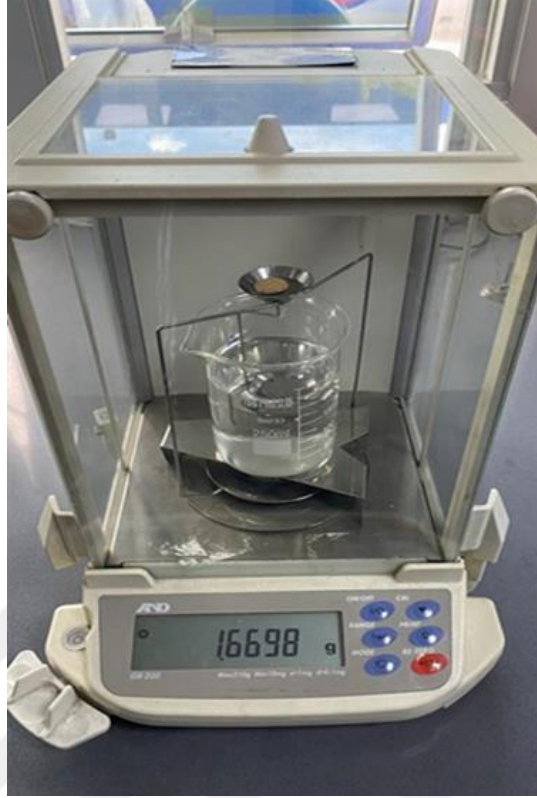
Şekil 4.6. Bakır partiküllerinden sinterlenmiş gözenekli akış sınırlayıcı eleman (Carbos, tarihsiz)

Şekil 4.6’da gösterildiği gibi sinterlenmiş disk şeklindeki filtre kısmı istenilen ölçülerdeki kalıplarda ve tanecik boyutlarında üretilmektedir. Disk ölçüleri sabit tutularak tanecik boyutlarındaki değişimle farklı porozite oranları elde edilebilmektedir. Sinterlenmiş filtrelerin porozite oranlarının tespit edilebilmesi için aynı ölçülerdeki dolu disk hacmi ve poröz disk hacminin bulunması gerekmektedir (Ornetzeder ve Laher 2020).

$$\varepsilon\% = \frac{V_d - V_p}{V_d} \times 100 \quad (4.1)$$

şeklinde hesaplanır. Porozite oranları Şekil 4.7’de gösterilen yoğunluk ölçüm cihazı ile tespit edilmektedir. Akışkan olarak saf su kullanılmıştır. Her bir

sinterlenmiş filtrenin gözenekli hacimleri ve dolu hacimleri bulunduktan sonra elde edilen veriler Tablo 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.7. Yoğunluk ölçüm cihazı

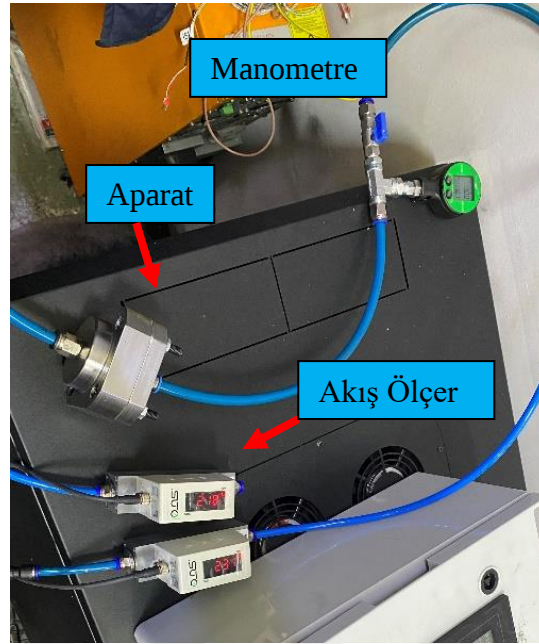
Tablo 4.4. Çalışma kapsamında test edilecek filtrelerin porozite oranları

Numune	V_d	V_p	% ϵ
Numune 1	0,7287	0,4435	39,1
Numune 2	0,3529	0,2042	42,1
Numune 3	0,7287	0,4975	31,7
Numune 4	0,3529	0,1815	48,6
Numune 5	0,3529	0,4170	35,6

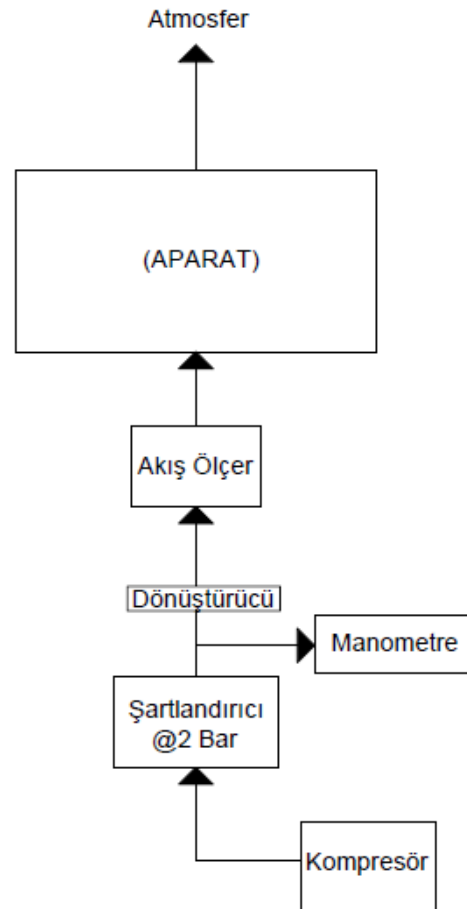
Porozite oranları belirlenen numunelerin sabit basınçlı bir akışta çıkış basınçlarını ve debilerini tespit edebilmek için Şekil 4.8’de gösterilen ekipmanlar kullanılarak Şekil 4.9’da gösterilen test şemasına uygun testler gerçekleştirilmiştir. Bu test şeması ISO 4022 standardından türetilmiştir.

Yapılan bu testin çalışma prensibi, normal şartlarda şartlandırıcıdan 2 Bar basınç değerine ayarlanmış havanın debisinin, aparat içerisine takılan farklı porozite oranına sahip numuneler içerisinden geçtikten sonraki çıkış basıncı ve debisinin bir

manometre ve akış ölçer yardımı ile ölçülmesidir.



Şekil 4.8. Akış kısıtlayıcı elemanların çıkış debisi ve basıncı ölçüm test düzeneği



Şekil 4.9. Akış kısıtlayıcı elemanların çıkış debisi ve basıncı ölçüm test şeması

Farklı porozite oranına sahip numunelerin çıkış basınç ve debi değerleri karşılaştırma amaçlı Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Akış kısıtlayıcı numunelerin sabit basınçlı akışta çıkış debi ve basınç değerleri

Numune	P_s (Bar)	P_c (Bar)	Q_c (L/dk)
Numune 1	2	1,2	272
Numune 2	2	1,1	282
Numune 3	2	1,6	250
Numune 4	2	0,8	315
Numune 5	2	1,4	261

4.2.2 Karakterizasyon Testlerinin Belirlenmesi

Üretilen hava körüğünün plastik piston parçasının üzerine Şekil 4.10'da gösterildiği gibi iki adet eş sinterlenmiş filtre yerleştirilmiştir. Sızdırmazlık sağlanması için somun kısımlarının altına o-ring eklemiştir.



Şekil 4.10. Sinterlenmiş filtrelerin piston üzerindeki konumu

Hava körüğünün diğer elemanları da montajlandıktan sonra test edilmeye hazır ürün, Şekil 4.11'deki test sistemine bağlanmıştır. Daha sonra yapılacak testlerin prosedürleri belirlenmiştir. Belirlenen test prosedürleri Tablo 4.6, Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Hava körüğünün test düzeneğine bağlanması

Test prosedürleri belirlenirken, hava körüğünün araç üzerinde dinamik çalışma koşulları göz önüne alınmıştır. Bu çalışma kapsamındaki testler, MTS Flextest yazılımı kullanılarak, 100 kN kuvvet ve 250 mm toplam deplasman kapasiteli bir aktüatör ile gerçekleştirilmiştir.

4.2.2.1 Farklı Porozite Oranlarına Göre Sönümleme Profili Karşılaştırılması

Bu test prosedürünün tasarlanıp uygulanma amacı, her bir farklı porozite oranına sahip akış kısıtlayıcı numunenin, aynı hava körüğüne montajlanıp sönümleme profillerindeki farklılıkların tespit edilmesidir.

Test sistemine bağlanan hava körüğünün montaj yüksekliği belirlenirken, aks üzerine montajlandığında sürüş yüksekliğinin optimum olacağı durum düşünülmüştür. Çalışma deplasmanı belirlenirken, sönümleme eğilimli hava körüğüne sürekli olarak zorlanmış kuvvet verileceği için kullanılan test ekipmanına ve ürüne zarar gelmemesi amacıyla uygun bir aralık belirlenmiştir. Testin döngü sayısı belirlenirken; hava körüğüne ait kauçuk lastiğin koşullandırılması adına 9 döngü ve ardından 1 test döngüsü olacak şekilde belirlenmiştir. Bu testin yapılma

amacı, numuneleri karşılaştırmak olduğu için çalışma frekansı aralığı 1 Hz'den 5 Hz'e kadar belirlenmiştir. Ağır vasıta araçlarda hava körüklerinin maksimum çalışma basınçları genellikle 7 Bar olduğu için test basıncı 7 Bar olarak belirlenmiştir. İzobarik basınçlandırma koşulu, regülatör kullanılarak hava körüğünün içerisindeki basınç miktarını hava körüğünün her yüksekliğinde aynı tutmak anlamına gelmektedir.

Tablo 4.6. Sönümleme karşılaştırma test prosedürü

Özellik	Birim	Değer
Montaj Yüksekliği	mm	300
Deplasman	mm	±50
Döngü Sayısı	-	10
Çalışma Frekansı	Hz	1-5
Çalışma Basıncı	Bar	7
Basınçlandırma Koşulu	-	İzobarik

Test sonuçlarında sönümleme katsayısı (b) ve hız değerleri (v) bulunmuştur. Test sonuçlarında sönümleme katsayısı ve hız değerleri bulunduğunda, sönümleme kuvveti (F_d) aşağıdaki hesaplama ile bulunabilir.

$$F_d = bv \quad (4.2)$$

Hız değeri, test prosedüründeki toplam deplasman değerinin bir periyottaki hareketinin frekans değeri ile çarpılmasıyla hesaplanır. Her bir döngüdeki toplam yer değiştirme, deplasman değerinin iki katına eşittir.

$$v = \lambda f \quad (4.3)$$

Burada λ her bir periyot için toplam yer değiştirme ve f frekans değeridir.

4.2.2.2 Yüksek Çalışma Frekanslarında Sönümleme Profiline Belirlenmesi

Bu test prosedürünün tasarlanıp uygulanma amacı, uygun sönümleme kuvveti profili oluşturan numune belirlendikten sonra araç üzerinde oluşabilecek maksimum titreşim frekansındaki sönümleme eğrilerinin tespit edilebilmesidir. Ayrıca test sonucunda, standart hava körüğünün içinde oluşturulan hacim bölgeleri arasında iki adet gözenekli akış kısıtlayıcı eleman yerine, iki adet 5 mm çapında sabit açıklık bulunan hava körüğünün de karşılaştırılması yapılmıştır.

Ağır vasıta araçlarındaki hava körüklerinin maksimum çalışma frekansı, 10-20 Hz arasında değişmektedir. Bu frekans aralığı, hava körüğünün titreşimleri etkin bir şekilde sönümlemesi ve araç dinamiğini koruması için yeterlidir (Kuzyshyn vd. 2023).

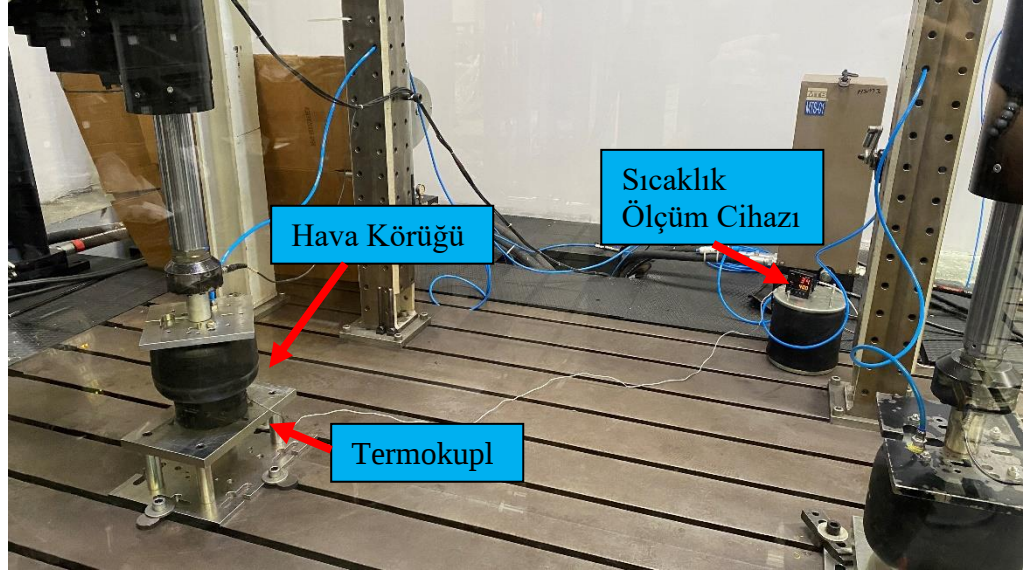
Test sistemine bağlanan hava körüğünün çalışma frekansı, test ekipmanının kapasitesi düşünülerek maksimum 13 Hz olarak belirlenmiştir. Çalışma frekansı yüksek değerlere çıkacağı için deplasman miktarı ± 10 mm olarak belirlenmiştir. 1 Hz frekanstan 13 Hz frekansa kadar her bir çalışma frekansında 50 döngü yapılacaktır.

Tablo 4.7. Yüksek çalışma frekansı test prosedürü

Özellik	Birim	Değer
Montaj Yüksekliği	mm	300
Deplasman	mm	± 10
Döngü Sayısı	-	50
Çalışma Frekansı	Hz	1-13
Çalışma Basıncı	Bar	7
Basınçlandırma Koşulu	-	İzobarik

4.2.2.3 Uzun Döngülü Çalışmada Sıcaklık Artışının Belirlenmesi

Hava körüğünün iç bölmesinde bir sönümleme kuvveti oluşturulacağı için dinamik çalışma esnasında normalde olduğundan daha fazla sıcaklık artışı olacaktır. Bu test prosedürünün tasarlanıp uygulanma amacı; çalışma esnasında meydana gelen sıcaklık artışının, hava körüğü montajı üzerinde bulunan herhangi bir bileşene maksimum sıcaklıkta zarar gelip gelmeyeceğini tespit etmek ve ayrıca sıcaklık artışına bağlı kuvvet artışını da tespit etmektir.



Şekil 4.12. Sıcaklık artış test düzeneği

Şekil 4.12'deki gibi tasarlanan bu test, çalışma frekansı 5 Hz değerinde sabit tutulurken hava körüğünün pistonu üzerindeki sıcaklık artışı sabit duruma gelene kadar devam ettirilmiştir. Sıcaklığın sabit duruma gelmesi yaklaşık 2000 döngüde tamamlanmıştır.

Tablo 4.8. Uzun döngülü çalışma test prosedürü

Özellik	Birim	Değer
Montaj Yüksekliği	mm	300
Deplasman	mm	± 50
Döngü Sayısı	-	2000
Çalışma Frekansı	Hz	5 Hz
Çalışma Basıncı	Bar	7
Basınçlandırma Koşulu	-	İzobarik
Başlangıç Sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$	30

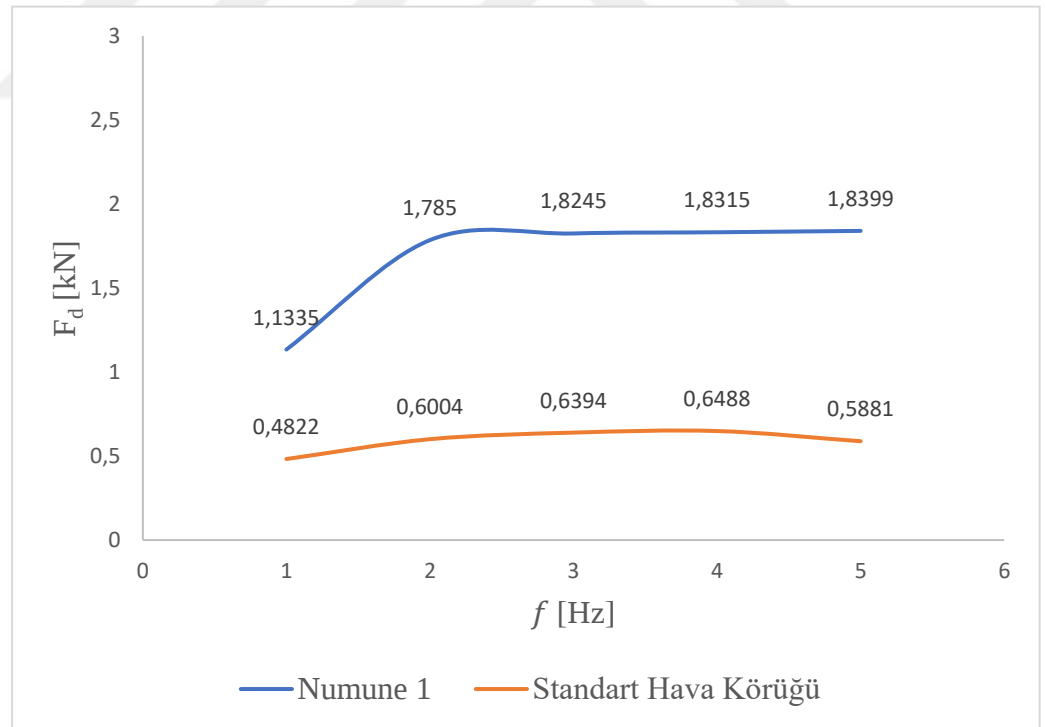
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Sönümleme Profili Karşılaştırma Prosedürü Test Bulguları

Porozite oranı %39,1 olan numune 1 filtreleri kullanılarak üretilen hava körüğünün test bulguları incelendiğinde, çalışma frekansı 2 Hz değerindeyken optimum sönümleme profiline ulaşılmaktadır. Çalışma frekansı 5 Hz değerine gelene kadar ortalama olarak optimum sönümleme profilinde devam etmektedir. Şekil 5.1.'de gösterildiği gibi bu durum optimum profil elde edildikten sonra ekstra bir sertleşme veya yumuşama meydana gelmediğini göstermektedir.

Tablo 5.1. Numune 1 sönümleme kuvveti test sonuçları

f (Hz)	v (mm/sn)	b (kN.sn/mm)	F_d (kN)
1	200	0,0057	1,1335
2	400	0,0045	1,7850
3	600	0,0030	1,8245
4	800	0,0022	1,8315
5	1000	0,0016	1,8399

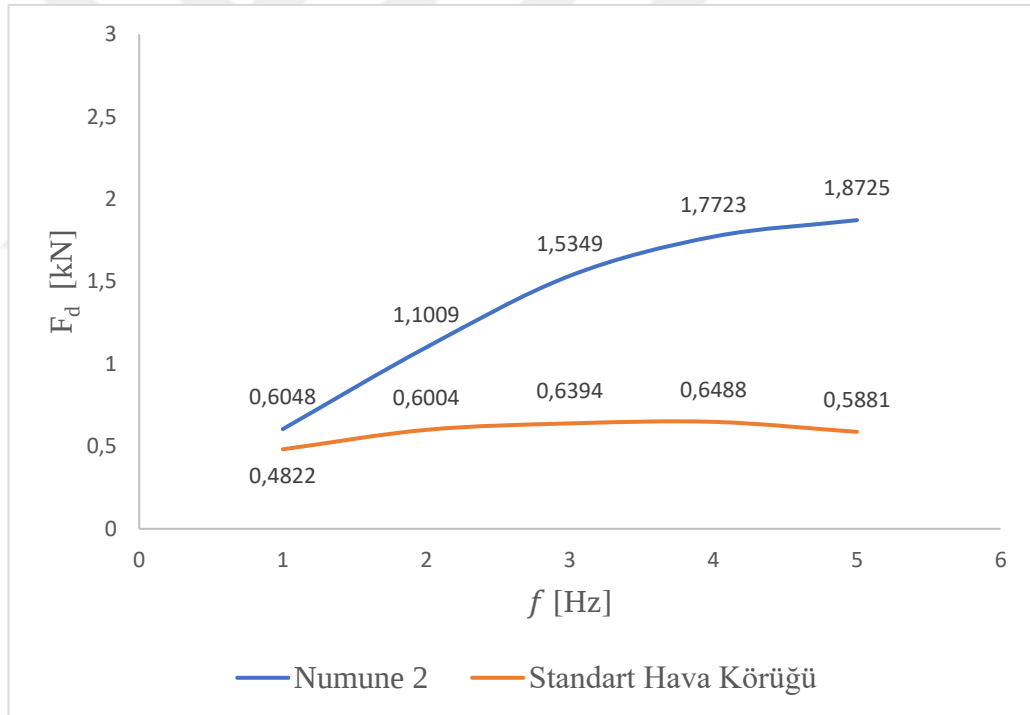


Şekil 5.1. Numune 1 ile üretilen hava körüğünün test sonucu grafiği

Porozite oranı %42,1 olan numune 2 filtreleri kullanılarak üretilen hava körüğünün test bulguları incelendiğinde, 1 Hz çalışma frekansında daha düşük bir sönümlenme kuvveti ile başlayıp çalışma frekansı arttıkça sürekli yükselen bir sönümlenme kuvveti profili elde edilmiştir. Şekil 5.2’de gösterildiği gibi burada sürekli sertleşen bir süspansiyon profili elde edilmiştir. Fakat düşük çalışma frekanslarındaki sönümlenme kuvvetleri Numune 1’e göre daha düşük kalmıştır.

Tablo 5.2. Numune 2 sönümlenme kuvveti test sonuçları

f (Hz)	v (mm/sn)	b (kN.sn/mm)	F_d (kN)
1	200	0,0030	0,6048
2	400	0,0028	1,1009
3	600	0,0026	1,5349
4	800	0,0022	1,7723
5	1000	0,0019	1,8725

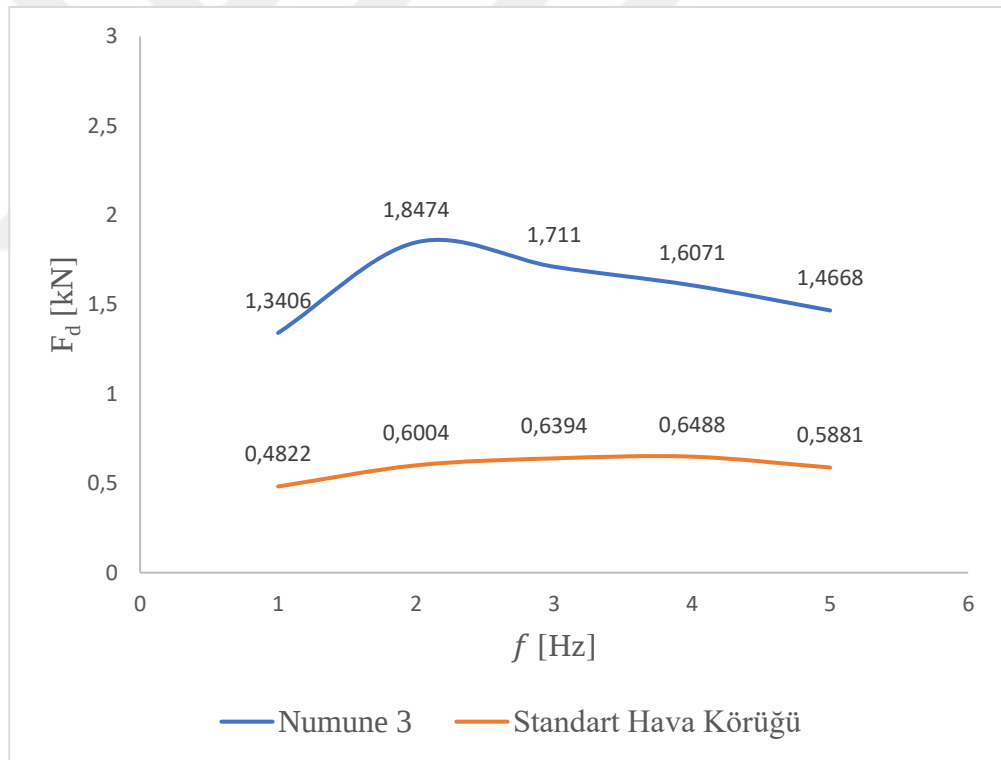


Şekil 5.2. Numune 2 ile üretilen hava körüğünün test sonucu grafiği

Porozite oranı %31,7 olan numune 3 filtreleri kullanılarak üretilen hava körüğünün test bulguları incelendiğinde, sönümlleme kuvveti 2 Hz çalışma frekansında en yüksek değeri görüp çalışma frekansı arttıkça sönümlleme kuvvetinde sürekli bir düşüş meydana gelmiştir. Bu durumda Şekil 5.3'te gösterildiği gibi 2 Hz çalışma frekansına kadar sertleşen sonrasında sürekli yumuşayan bir süspansiyon profili elde edilmiştir.

Tablo 5.3. Numune 3 sönümlleme kuvveti test sonuçları

f (Hz)	v (mm/sn)	b (kN.sn/mm)	F_d (kN)
1	200	0,0067	1,3406
2	400	0,0046	1,8474
3	600	0,0029	1,7110
4	800	0,0020	1,6071
5	1000	0,0015	1,4668

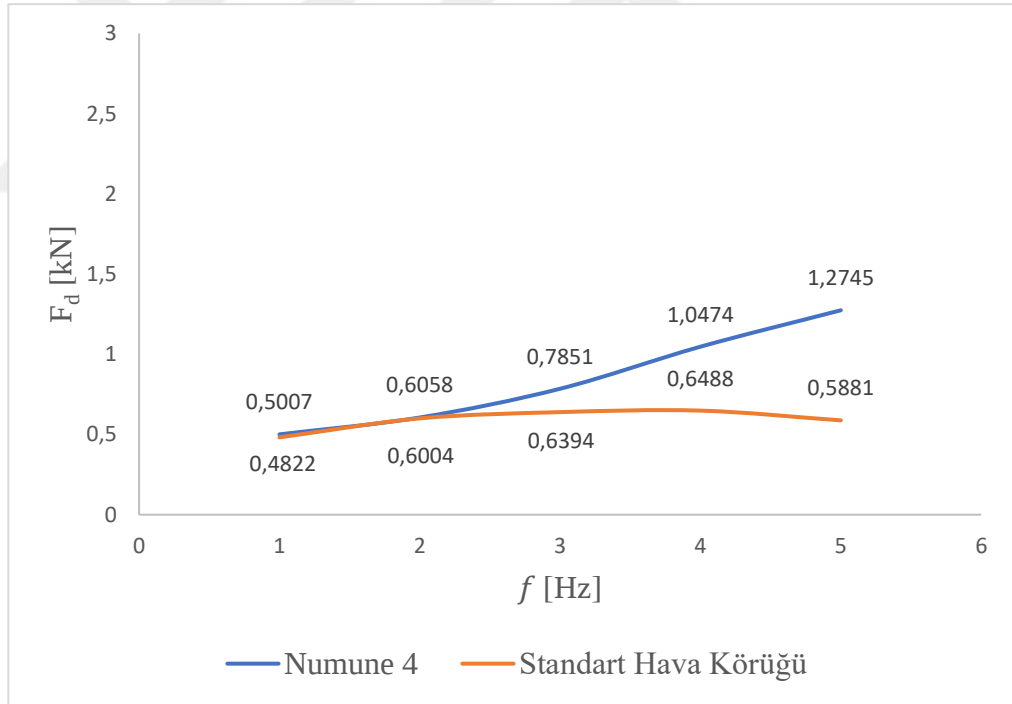


Şekil 5.3. Numune 3 ile üretilen hava körüğünün test sonucu grafiği

Porozite oranı %48,6 olan numune 4 filtreleri kullanılarak üretilen hava körüğünün test bulguları incelendiğinde, 1 Hz çalışma frekansında oldukça düşük bir sönümleme kuvveti elde edilmiştir. Çalışma frekansı arttıkça sönümleme kuvveti de artmıştır. Ancak diğer numunelerin sönümleme profillerine göre daha düşük bir sönümleme kuvveti elde edilmiştir. Şekil 5.4'te gösterildiği gibi burada sürekli sertleşen fakat sönümleme kuvveti diğer numunelere göre daha düşük kalan bir profil elde edilmiştir.

Tablo 5.4. Numune 4 sönümleme kuvveti test sonuçları

f (Hz)	v (mm/sn)	b (kN.sn/mm)	F_d (kN)
1	200	0,0025	0,5007
2	400	0,0015	0,6058
3	600	0,0013	0,7851
4	800	0,0013	1,0474
5	1000	0,0013	1,2745

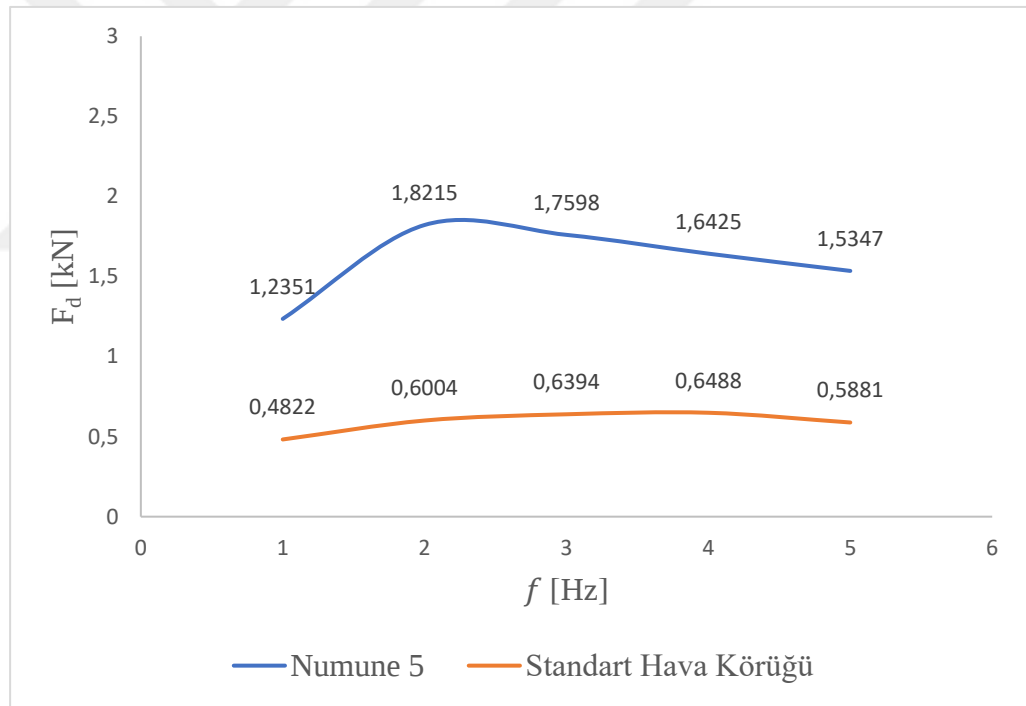


Şekil 5.4. Numune 4 ile üretilen hava körüğünün test sonucu grafiği

Porozite oranı %35,6 olan numune 5 filtreleri kullanılarak üretilen hava körüğünün test bulguları incelendiğinde, porozite oranı %31,7 olan numune 3'teki gibi 2 Hz çalışma frekansında maksimum sönümleme kuvveti elde edilmiştir. Çalışma frekansı arttıkça sönümleme kuvvetinde düşüş gözlemlenmiştir. Şekil 5.5'de gösterildiği gibi bu durum 2 Hz çalışma frekansından yukarıdaki değerlerde sürekli yumuşayan bir süspansiyon oluşturur.

Tablo 5.5. Numune 5 sönümleme kuvveti test sonuçları

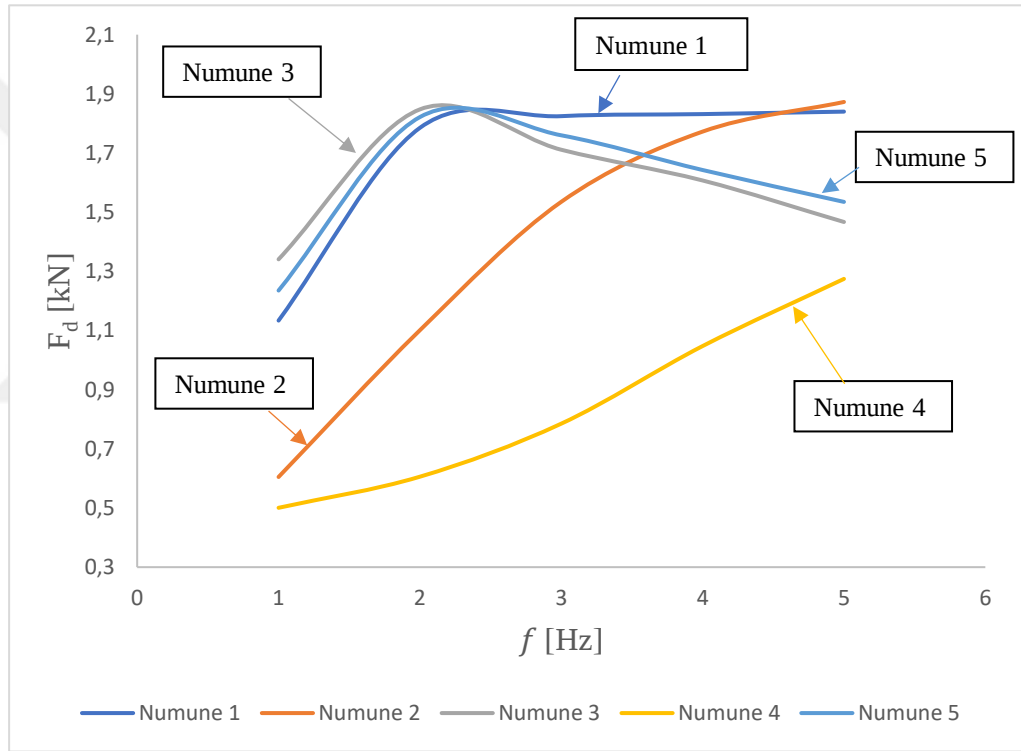
f (Hz)	v (mm/sn)	b (kN.sn/mm)	F_d (kN)
1	200	0,0061	1,2351
2	400	0,0045	1,8215
3	600	0,0029	1,7598
4	800	0,0020	1,6425
5	1000	0,0015	1,5347



Şekil 5.5. Numune 5 ile üretilen hava körüğünün test sonucu grafiği

Yüksek çalışma frekanslarında, çok sert veya sürekli sertleşen bir süspansiyon profili oluşması titreşim etkilerinin doğrudan parçalara zarar vermesine neden olurken; çok yumuşak veya sürekli yumuşayan bir süspansiyon profili oluşması ise yeterli miktarda titreşim sönümleyemeyerek aynı sonuca sebep olabilir.

Şekil 5.6'daki genel test sonuçları değerlendirildiğinde, akış kısıtlayıcı elemanların porozite oranındaki artış, sistem düşük frekanslarında çalıştığında sönümleme kuvvetinin daha düşük bir miktarda başlamasına neden olurken; çalışma frekansı arttığında sürekli bir artış görülmektedir. Porozite oranındaki azalma ise düşük çalışma frekanslarında sistemde yüksek sönümleme kuvveti oluşturmakta; ancak çalışma frekansı arttıkça sönümleme kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır.



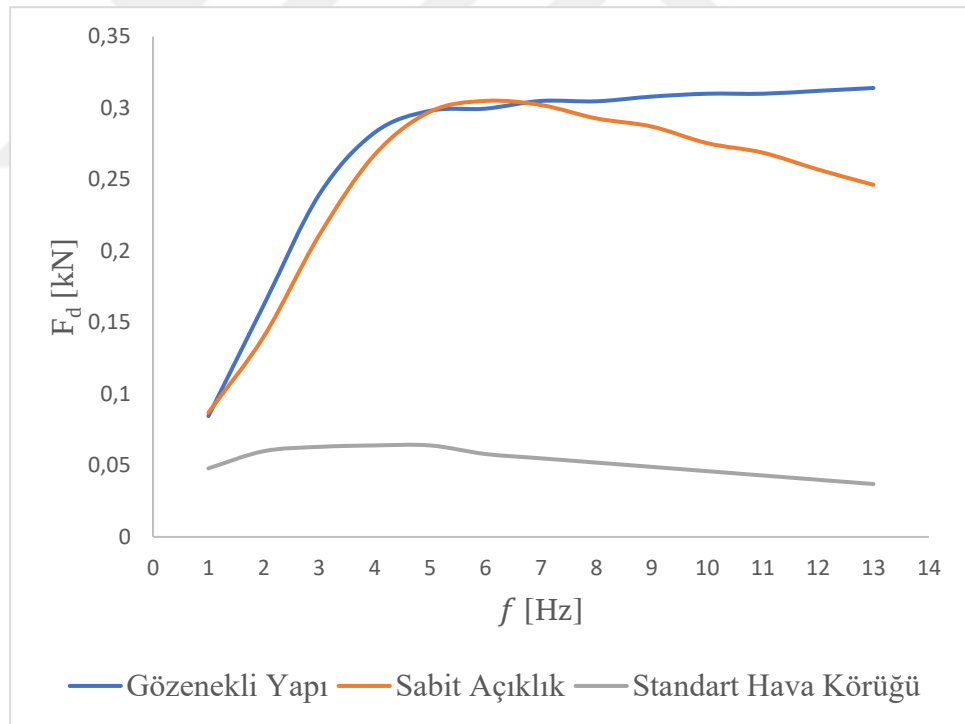
Şekil 5.6. Testlerde kullanılan numunelerin genel test sonuçları

Bu bilgiler doğrultusunda çalışmanın geri kalanına sönümleme profilinin optimum değere en erken gelip daha sonra artan çalışma frekanslarıyla bu profilin değişmediği “Numune 1” ile üretilen hava körüğüyle devam edilmiştir.

5.2 Yüksek Çalışma Frekansında Sönümleme Profili Test Bulguları

1 numaralı numune kullanılarak üretilen hava körüğü, Tablo 4.7'deki test prosedürü ile test edilmiştir. Test bulguları incelendiğinde, çalışma deplasman aralığı daha düşük olduğu için sönümleme kuvveti ve bu kuvvetin optimum profile gelme frekansı bir önceki teste göre biraz daha farklıdır. Fakat sönümleme profili incelendiğinde optimum profil elde edildikten sonra 13 Hz yüksek frekans değerine kadar bu sönümleme profilinin stabil olarak kaldığı görülmüştür.

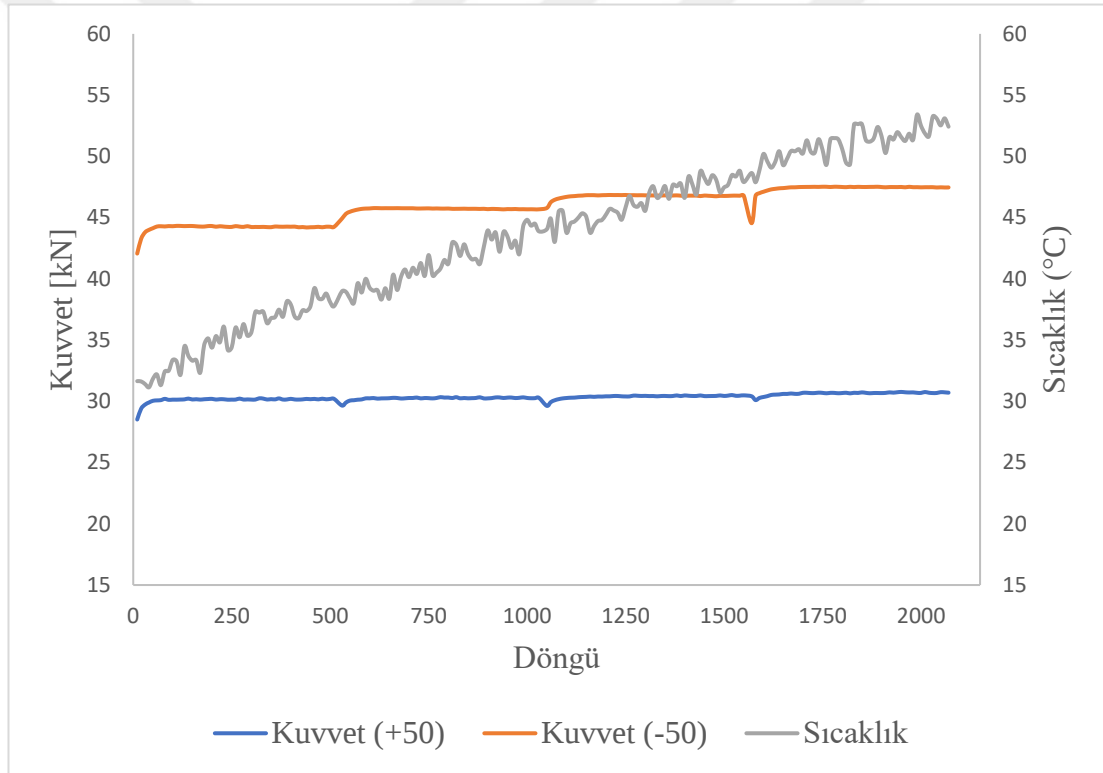
1 numaralı numunedeki gözenekli yapı bulunan hava körüğünün, standart hava körüğüne göre belirlenen prosedür şartları altında yaklaşık 6 kat daha fazla sönümleme kuvveti ürettiği tespit edilmiştir. Ayrıca Şekil 5.7'de gösterildiği gibi gözenekli bir yapı yerine sabit açıklık kullanılan hava körüğünün sönümleme profili incelendiğinde, en yüksek sönümleme kuvvetini gözenekli yapıda olduğu gibi yaklaşık 5 Hz değerinde yakalamıştır. Fakat çalışma frekansı yükseldikçe sönümleme kabiliyetini kaybetmeye başlamıştır.



Şekil 5.7. Sabit deplasmanlı harekette elde edilen sönümleme kuvvetleri

5.3 Uzun Döngülü Çalışma Esnasında Sıcaklık Artışı Test Bulguları

1 numaralı numune kullanılarak üretilen hava körüğü, Tablo 4.8'deki test prosedürü ile test edilmiştir. Test bulguları incelendiğinde, hava körüğü üzerindeki piston 1750 döngü tamamlandıktan sonra yaklaşık olarak 52 °C değerlerine yükselmiştir. Daha sonra 2000 döngü tamamlanana kadar sıcaklık artışı sabit duruma geçmiştir. Şekil 5.8'de görülebileceği gibi sıcaklığın ulaştığı maksimum değerde, hava körüğü üzerindeki hiçbir bileşen zarar görmemektedir ve olumsuz bir durum oluşmamaktadır. Grafikte kuvvet (+50) olarak belirtilen kuvvet değeri hava körüğü montaj konumundan +50 mm konumuna gittiğindeki kuvvet değeri iken kuvvet (-50) değeri ise hava körüğü montaj konumundan -50 mm konumuna gittiğindeki kuvvet değeridir.



Şekil 5.8. Uzun döngülü çalışmada sıcaklık ve kuvvet artışı grafiği

Bu testten elde edilen bir diğer sonuç ise ideal gaz denklemi (Denklem 5.1) prensipleri göz önünde bulundurularak, hacim değişimi sabit olduğu için sıcaklık arttığında iç basınç değeri de artarak hava körüğünün yük hücresine uyguladığı kuvvet değeri de artmıştır. Sıcaklık sabitlendikten sonra kuvvet artışı da sabitlenmiştir.

$$PV = T \quad (5.1)$$

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ağır vasıta araçların süspansiyon sistemlerinde kullanılan hava körüklerine eklenen akış kısıtlayıcı gözenekli elemanlar ile birtakım testler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sayısal bulgular; tablolar ve grafikler ile raporlanıp yorumlanmıştır.

Farklı porozite oranlarına sahip numuneler kullanıldığında hava körüklerinin sönümlleme profilindeki değişiklikler incelenmiştir. En optimum sönümlleme profilini oluşturan numune seçildikten sonra araç üzerindeki çalışma performansı belirlenmesi için yüksek çalışma frekanslı ve sıcaklık artışı testleri gerçekleştirilip sonuçlar incelenmiştir.

Yapılan bu deneysel ve karşılaştırma bazlı çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- ✓ Standart hava körüklerine göre yaklaşık 3 kat daha yüksek sönümlleme kuvveti profili oluşturan hava körükleri tasarlanmış ve prototip üretilmiştir.
- ✓ Çalışma frekansı arttıkça stabil kalabilen bir sönümlleme profiline sahip hava körükleri elde edilmiştir ve buna bağlı olarak patent başvurusu yapılmıştır.
- ✓ Hava körükleri ile yüksek sönümlleme kuvvetleri elde edilebildiği için bazı süspansiyon sistemlerinden amortisör elemanının çıkarılma ihtimali sağlanmıştır.

Sabit açıklık kullanılan sistemlerde ve çok düşük veya çok yüksek porozite oranına sahip akış kısıtlayıcı eleman kullanılan sistemlerde sönümlleme profili çalışma frekansı arttıkça artış veya azalış eğilimine geçmektedir. Bu durum süspansiyon sistemindeki elemanlar, taşınan yükler ve sürücü konforu açısından olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu durumda en uygun sönümlleme profili, en kısa sürede optimum sönümlleme kuvveti değerine ulaşip çalışma frekansı arttıkça bu profili sabit tutabilen profil olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Bennett, S. (2018). *Heavy Duty Truck Systems* (7th ed.). Cengage Learning, Inc..
- Coran, A.Y. (2013). *The Science and Technology of Rubber* (4th ed.). Academic Press.
- Reimpell J., Stoll H. ve Betzler J.W. (2000). *The Automotive Chassis* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Sampa Otomotiv. (tarihsiz). *Amortisör, aks ve hava körüğü bulunan bir süspansiyon sistemi*. Erişim tarihi: 1 Haziran, 2024, <https://www.sampa.com>
- Anonim. (tarihsiz). *Tek tüplü bir amortisörün iç yapısı*. What is a monotube shock?. Erişim tarihi: 25 Mayıs, 2024, <https://help.summitracing.com/knowledgebase/article/SR-05251/en-us>
- Anonim. (2015). *Çift tüplü bir amortisörün iç yapısı*. Internal components of the damper. Erişim tarihi: 26 Mayıs, 2024, <https://revolutionarywheels.blogspot.com/p/s.html>
- Park, J. (2019). *Süspansiyon sisteminden şasiye iletilen kuvvet şeması*. How the ZMD works. Erişim tarihi: 26 Mayıs, 2024, <https://www.trucknews.com/transportation/test-drive-hendrickson-zmd-suspension-delivers-shockingly-smooth-ride-without-shocks/1003123744/>
- Anonim. (2023). *Süspansiyon sistemlerinde kullanılan hava körükleri*. Steps for weighing a truck with airbag suspension. <https://loadsensescales.com/steps-for-weighing-a-truck-with-airbag-suspension/>
- Sampa Otomotiv. (tarihsiz). *Tek, çift ve üç katlı hava körükleri*. Erişim tarihi: 1 Haziran, 2024, <https://www.sampa.com>
- ZF. (2019). *Kabin (Sleeve) tip hava körüğü elemanları*. ZF Air spring module. https://press.zf.com/press/en/media/media_5831.html
- Continental. (tarihsiz). *Koltuk mekanizmasında kullanılan bir hava körüğü*. Air Spring Systems for Driver's Seats. Erişim tarihi: 3 Haziran, 2024, <https://www.continental-industry.com/en/solutions/suspension-anti-vibration/commercial-vehicles/cabin-interior/seat-air-springs>
- MEGEP. (2018). *Kord bezinin yapısı*. Kord Bezi. Ankara.
- Firestone. (tarihsiz). *Airide design guide*. Erişim tarihi: 12 Mayıs, 2024, <https://www.firestone.com>
- Pahl, H.J. (2016). *Air springs in commercial vehicles* (2nd ed.). CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Andre, F.R., Aboelkheir, M.G. (2022). Sustainable approach of applying previous treatment of tire wastes as raw material in cement composites: Review. *Materials Today*, 58(5), <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.456>
- Sampa Otomotiv. (tarihsiz). *Vulkanizasyon presleri*. Erişim tarihi: 3 Mart, 2024, <https://www.sampa.com>
- Borche. (tarihsiz). *Enjeksiyon yöntemi ile parça üretme şeması*. Plastik Enjeksiyon Prosesinin Aşamaları. Erişim tarihi: 7 Nisan, 2024, <https://www.borche.com.tr/kutuphane/oku/plastik-enjeksiyon-nedir>
- Sampa Otomotiv. (tarihsiz). *Hava körüklerinde kullanılan metal (sol) ve plastik (sağ) pistonlar*. Erişim tarihi: 10 Haziran, 2024. <https://www.sampa.com>
- Carbos. (tarihsiz). *Bakır partiküllerinden sinterlenmiş gözenekli akış sınırlayıcı eleman*. Sinter bronz filtre. Erişim tarihi: 15 Haziran, 2024. <http://www.carbos.com.tr/Default.asp?P=0&L=1&K=0&K1=60>
- Anonim. (tarihsiz). *DD11 (1.0332) çeliğinin özellikleri*. Erişim tarihi: 10 Mayıs, 2024, https://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=218
- Anonim. (tarihsiz). *PA 6.6 GF30 Malzeme Özellikleri*. Erişim tarihi: 10 Mayıs, 2024, <https://www.ensingerplastics.com/tr-tr/yari-mamul/plastikler/pa66-tecamid-66-gf30-black>
- Roebuck, R.L., Jones, A.R. ve Cebon, D. (2011). An investigation of air damping for heavy goods vehicles. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, 18(2), 115-134. <https://doi.org/10.1504/IJHVS.2011.040498>

- Berg, M. (1999). A Three-Dimensional Airspring Model with Friction and Orifice Damping. *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 33(1), 528-539. <https://doi.org/10.1080/00423114.1999.12063109>
- Westnedge, A.J. ve Keeler, M.J. (2013). *Air spring for a heavy-duty vehicle with damping features* (U.S. Patent No. 8,540,222). U.S. Patent and Trademark Office. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/045805880/publication/US8540222B2?q=US8540222B2>
- Fulton, S.R., Westnedge, A.J. ve Long, T.J. (2017). *Damping air spring and shock absorber combination for heavy-duty vehicle axle/suspension systems* (U.S. Patent No. 9,744,824). U.S. Patent and Trademark Office. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/055858881/publication/US9744824B2?q=US9744824B2>
- Hayes, B.W., Moulik, P.N. ve Kelsey S. (2010). *Gas spring assembly* (U.S. Patent No. 7,644,943). U.S. Patent and Trademark Office. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/040026719/publication/US7644943B2?q=US7644943B2>
- Tavella, C. (1970). *Damped pneumatic springs* (G.B. Patent No. 1,231,766). The Patent Office London. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/011143357/publication/GB1231766A?q=pn%3DGB1231766A>
- Gülmez, T. (2011) *İmal Usulleri*. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi (s. 20) Erişim: 2 Haziran 2024, <https://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch06-Sac%20PSV.pdf>
- Uslu, E. (2014). *Sac Malzemelerin Bükülmesinde Geri Yaylanma Davranışının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi (s.42), Elazığ
- Kuldaşlı, A.B. (2005). *Plastik Enjeksiyon Yöntemi ile Parça İmalatı, İmalat Hataları ve Hata Tespiti*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi (s.27-40), İstanbul
- Andre, F.R., Aboelkheir, M.G. (2022). Sustainable approach of applying previous treatment of tire wastes as raw material in cement composites: Review. *Materials Today: Proceedings*, 58(4), 1557-1565. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.456>
- Turna E., Kafkas F., Şeker U. ve Yücesu H. S. (2018). Kauçuk hava süspansiyon körüklerinin üretim yöntemi ve yorulma ömrünün ürün kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(4), 759-764. <https://doi.org/10.2339/politeknik.457954>
- Heikkinen M.S.A. ve Harley N.H. (2000). Experimental investigation of sintered porous metal filters. *Journal of Aerosol Science*, 31(6), 722-731. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(99\)00550-9](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(99)00550-9)
- Kuzyshyn A.Y., Sobolevska Y.H., Kostitsa S.A. ve Voznyak O.M. (2023). Research of the characteristics of an air spring under cyclic load. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1277(1), 1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1277/1/012010>
- Li W., Chen Y., Zhang S., Mao E., Du Y. ve Wen H. (2018). Damping characteristic analysis and experiment of air suspension with auxiliary chamber. *IFAC PapersOnLine*, 51(17), 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.082>
- Ornetzeder S. ve Laher M. (2020). *Industrial manufacturing technologies of porous transport layers for a proton exchange membrane electrolyser*. Yüksek Lisans Tezi. FH Burgenland University of Applied Science (s. 52), Avusturya
- Sanders, T.H. (1934). The Suspension of Road Vehicles. *Institution of Mechanical Engineers*, 28(2), 410-416. https://doi.org/10.1243/PIAE_PROC_1933_028_031_02
- Troughton M.J. (2008). *Handbook of plastics joining* (2nd ed.). William Andrew.
- Oral T. ve Kurgan N. (2024). Design and Verification of A Viscous Damping Air Spring For Heavy Duty Vehicles, 4.Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Çalışmaları Kongresi, 24-25 Mayıs, Ankara

ÖZGEÇMİŞ

Adı: Tolga

Soyadı: ORAL

Lisans Üniversite / Mezuniyet: Konya Teknik Üniversitesi / 9.10.2019

Lisansüstü Üniversite / Mezuniyet: Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Devam

İşyeri / Unvan: Sampa Otomotiv / İleri Ürün Geliştirme Uzmanı

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0009-0002-5240-3189

Yayınlar:

1. Oral T. ve Kurgan N. (2024). *Design and Verification of A Viscous Damping Air Spring For Heavy Duty Vehicles*, 4.Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Çalışmaları Kongresi, 24-25 Mayıs, Ankara