

**RAYLI TAŞITLAR İÇİN HAVA
SÜSPANSİYON KÖRÜĞÜ TASARIMI,
PROTOTİP İMALATI VE MEKANİK
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

Burhan SARIOĞLU



T.C
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RAYLI TAŞITLAR İÇİN HAVA SÜSPANSİYON KÖRÜĞÜ TASARIMI,
PROTOTİP İMALATI VE MEKANİK PERFORMANSLARININ
BELİRLENMESİ**

Burhan SARIOĞLU

Doç. Dr. Ali DURMUŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2013
Her Hakkı Saklıdır
TEZ ONAYI

Burhan SARIOĞLU tarafından hazırlanan "RAYLI TAŞITLAR İÇİN HAVA SÜSPANSİYON KÖRÜĞÜ TASARIMI, PROTOTİP İMALATI VE MEKANİK PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ali DURMUŞ

Başkan: Doç. Dr. Ali DURMUŞ İmza
U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR İmza
U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ersen YILMAZ İmza
U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
10/05/2013

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullandığım verilerde herhangi bir tahribat yapmadığımı,
- ve bu tez herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

10/05/2013

Burhan SARIOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RAYLI TAŞITLAR İÇİN HAVA SÜSPANSİYON KÖRÜĞÜ TASARIMI,
PROTOTİP İMALATI VE MEKANİK PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Burhan SARIOĞLU

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Ali DURMUŞ

Bu çalışmada, raylı taşıtlardaki süspansiyon sistemlerinin bir parçası olan hava süspansiyon körüğünün tasarımı ve prototip imalatı yapılmıştır. Üretilen körüklerin ilgili standartlar göz önünde bulundurularak fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Hava süspansiyon körüğünün imalatında kullanılan üretim makineleri ve test makineleri de çalışma kapsamında tasarlanıp imal edilmiştir. Bu üretim makineleri ve test makineleri, karayolu taşıtlarındaki hava süspansiyon körüklerinin üretiminde kullanılan makinelere ve test yöntemlerine göre önemli farklılıklar göstermektedir. Raylı taşıt körüğünün üretilmesi ve test edilebilmesi için çalışma kapsamında tasarlanan ve imal edilen makineler kullanılmıştır. Bu körükler için vulkanizasyon preslerinin, kalıpların, konfeksiyon makinesinin ve uygun test makinelerinin tasarlanması, üretilmesi ve tedarik edilmesi çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizde sözü edilen üretim hatlarına ve test imkânlarına sahip bir firma/kurum bulunmamaktadır. Bu sebeple; raylı taşıtlarda kullanılan hava süspansiyon körükleri de hali hazırda ülkemizde üretilmemektedir. Bu körükler ithal girdi olarak temin edilmektedir. Çalışma kapsamında ithalat yoluyla temin edilen söz konusu körüklerin, tamamen ülkemizin öz kaynakları kullanılarak tasarlanması ve üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede ilgili sektörde dışa bağımlılık azaltılmıştır. Çalışma ülkemizde demiryollarının yaygınlaştırılması ve raylı taşıt kullanımının artırılması faaliyetlerine de katkı sağlamıştır. Aynı zamanda, raylı taşıtlar için üretilen hava süspansiyon körükleri dış pazara da sunulacağından, ülkemizin ihracat kapasitesinin artmasına katkı sağlanacaktır.

Üretilen körüğün mekanik performanslarının belirlenmesine yönelik çalışma kapsamında tasarımı ve imatları gerçekleştirilen/tedarik edilen Patlatma Test Makinesi, Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılmıştır. İmal edilen hava süspansiyon körüklerinin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla patlatma, taşıma genişleme ve ömür testleri gerçekleştirilmiştir. Testler sonrasında, körüğe ait patlatma basıncı, taşıma yükü değeri, körüğün yatay ve düşey yay katsayısı değerleri, tekrarlı yükleme durumunda kuvvet değerlerindeki değişimler belirlenmiştir. Ayrıca körüğün taşıma yükü ve yatay yer değiştirme değerleri altında boyutsal değişimleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Raylı taşıt, hava süspansiyon körüğü, raylı taşıt körüğü, körük üretim makineleri, körük test makineleri, körük test yöntemleri.

2013, x + 99 sayfa.

ABSTRACT

Msc Thesis

DESIGN OF AIR SUSPENSION FOR RAILWAY VEHICLES, PROTOTYPE MANUFACTURING AND DETERMINATION OF THE MECHANICAL PERFORMANCE

Burhan SARIOĞLU

Uludag University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali DURMUŞ

In this study, the design and prototype production of air spring has been effectuated; which is a part of the suspension systems of rail vehicles. The physical and mechanical properties of produced air springs were determined taking into account the relevant standards. In the scope of work, the production and testing machines that are used for manufacturing of air springs were also designed and manufactured. These production machines and testing machines show significant differences according to the ones that are used for the production of the air springs of road vehicles and their test methods. In order to manufacture and test the air springs, the machines that were designed and produced in the scope of this work has been used. For these air springs; designing, producing and supplying of vulcanizing presses, molds, confection machines and appropriate test machines were carried out with in the scope of work.

There are no companies mentioned in our country have the means to production lines and testing machines. For this reason, the air springs used in rail vehicles are not being produced in our country. This springs are available as imported inputs. The scope of work, the design and production of springs that supplied by imports has been effectuated by using completely the resources of our country. In this way, dependence were reduced on the sector concerned. This study had contributed to spread of railways and increased the use of rail vehicles activities in Turkey. At the same time by exporting of air springs to foreign markets, this will make a contribution for increasing export capacity of our country.

In scope of the work for determining mechanical performance of produced air spring, The Explode Test Machine, The Conveying-Widening and Life Test Machines were used. For analysing the mechanical properties of produced air springs; explode, conveying-widening and life tests has been effectuated. After the tests, explode pressure of air springs, value of carrying load, horizontal and vertical spring coefficient values of air springs, the changes of the value of force in case of repeatedly loading were determined. Moreover, the value of carrying capacity of the air springs and the dimensional changes with in the horizontal displacement values were determined.

Key Words: Rail vehicle, air spring, rail vehicle air spring, air spring production machines, air spring test machines, air spring test procedures.

2013, x + 99 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Demir yolu taşımacılığının güvenli, ekonomik, hızlı ve konforlu olmasından dolayı raylı taşıtların üretimi ve geliştirilmesi önem arz etmektedir. Türkiye’de, demir yollarının yaygınlaştırılmasına yönelik olarak yatırımların arttığı son yıllarda yerli kaynaklar kullanılarak raylı taşıtların üretimine ve bu alanda gerçekleştirilen Ar-Ge faaliyetlerine önem verilmektedir. Bu çalışmada raylı taşıtlarda ikincil süspansiyon sistemi olarak kullanılan hava süspansiyon körüklerinin tasarımı ve prototip imalatı yapılmıştır. Özel olarak imal edilen test makineleri kullanılarak körüklerin patlatma basıncı, taşıma yükü, yay katsayıları, boyutsal değişimleri gibi mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Tez çalışmam boyunca her konuda desteğini ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Ali DURMUŞ ' a çok teşekkür ederim.

Uludağ Üniversitesinde görev yapan; Yrd. Doç. Dr. Elif ERZAN TOPÇU ve Yrd. Doç. Dr. Zeliha KAMIŞ KOCABICAK hocalarıma çok teşekkür ederim.

Hava süspansiyon körüklerinin üretiminde ve testlerin yapılmasında her türlü imkânı sağlayan Aktaş Hava Süspansiyon Sistemleri San. ve Tic. A.Ş.’ne teşekkür ederim.

Katma değeri yüksek ticarileşen bir ürünün elde edildiği bu proje sayesinde başarılı bir Üniversite-sanayi iş birliğinin yapıldığı düşünülmektedir. Bu çalışma 00853.STZ.2011–1 kodlu “Raylı Taşıtlar İçin Hava Süspansiyon Köprü Tasarımı, Prototip İmalatı ve Mekanik Performanslarının Belirlenmesi” adlı San-Tez projesi kapsamında yapılmıştır. Bu sebeple T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü’ne teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca bana her türlü konuda destek ve yardımcı olan, yaptıklarımın arkasında duran ve sevgilerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bana karşı anlayış ve yardımını esirgemeyen sevgili eşime teşekkür ederim.

Burhan SARIOĞLU

10/05/2013

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Raylı Taşımacılığın Önemi	4
2.2. Raylı Sistemler	6
2.3. Raylı Sistemlerde Meydana Gelen Titreşimler	9
2.4 Raylı Sistem Standartları	12
2.4.1. BS-EN14817: Demiryolu Uygulamaları: Süspansiyon Elemanları, Hava Yay Denetim Elemanları	13
2.4.2. BS-EN 13913: Demiryolu Uygulamaları: Lastik Süspansiyon Elemanları, Elastomer Tabanlı Mekanik Parçalar	15
2.4.3. TS EN 13597: Demiryolu Uygulamaları: Lastikli Amortisör Sistemler, Pnömatik Amortisör Yayları İçin Lastik Diyaframlar	16
2.5. Raylı Taşıt Süspansiyon Sistemi	18
2.5.1. Aktif, Pasif ve Yarı Aktif Süspansiyon Sistemleri	21
2.5.2. Havalı Süspansiyonun Yaylı Süspansiyona Göre Avantajları	22
2.5.3. Havalı Süspansiyonun Yaylı Süspansiyona Göre Dezavantajları	24
2.5.4. Hava Süspansiyon Körükleri	25
2.5.5. Hava Süspansiyon Körüğünde Kullanılan Kauçuk Malzemeler	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM	50
3.1. Kauçuk Bileşimleri ve Kauçuk Test Cihazı	51
3.1.1. Kauçuk Pres Analizörü	53
3.2. Körük Üretiminde Kullanılan Makineler	54
3.2.1. Vulkanizasyon Presi	54
3.2.2. Konfeksiyon Makinesi	57
3.3. Körük Test Makineleri	60
3.3.1. Patlatma Test Makinesi	60
3.3.2. Taşıma Genişleme ve Ömür Test makinesi	62
3.3.2.1. Hava Sızdırmazlık Testi	65
3.3.2.2. Taşıma - Genişleme Testi	65
3.3.2.3. Düşey Yay Katsayısı Tespiti	66
3.3.2.4. Yatay Yay Katsayısı Tespiti	66
3.3.2.5. Boyut Ölçümleri	67

3.3.2.6. Ömür Testi	67
3.4. Hava Süspansiyon Körüğü Dinamik Model Benzetim Çalışmaları	68
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	70
4.1. Hazırlanan Kauçuk Karışımlarının Pişirme Eğrisi Sonuçları	71
4.1.1. C1 Karışımı Pişirme Eğrisi Sonuçları	71
4.1.2. C2 Karışımı Pişirme Eğrisi Sonuçları	73
4.1.3. C3 Karışımı Pişirme Eğrisi Sonuçları	75
4.2. Üretilen Hava Körüğüne ait Patlatma Test Sonuçları	77
4.3. Üretilen Hava Körüğüne ait Hava Sızdırmazlık Test sonuçları	79
4.4. Üretilen Hava Körüğüne ait Taşıma Genişleme Test Sonuçları	80
4.5. Üretilen Hava Körüğüne ait Düşey Yay Katsayısı Testi Sonuçları	81
4.6. Üretilen Hava Körüğüne ait Yatay Yay Katsayısı Testi Sonuçları	82
4.7. Üretilen Hava Körüğüne ait Boyut Ölçüm Sonuçları	83
4.8. Üretilen Hava Körüğüne ait Ömür Test Sonuçları	85
4.9. Üretilen Hava Süspansiyon Körüğü Dinamik Davranış Eğrileri	87
5. SONUÇ	88
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	98
TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYINLAMA İZİN FORMU	99

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
λ	Dalga boyu
L	Ön boji ile arka boji arasındaki mesafe
n	Pozitif tam sayı
P	Basınç
ΔP	Basınç değişimi
\emptyset	Çap
R	Yarıçap
H	Yükseklik
k_1	Hava körüğünün yaylılık katsayısı (N/mm)
k_2	Ek hacmin yaylılık kat sayısı (N/mm)
k_3	Alan değişiminin yaylılık katsayısı (N/mm)
c	Orifis sönümlenme katsayısı
n	Politropik kat sayı
A_e	Efektif alan (m^2)
P_0	Başlangıç mutlak basıncı (N/ m^2)
V_r	Ek tank hacmi (m^3)
V_b	Hava körüğünün hacmi (m^3)
R_f	Akış direnç katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
ρ_0	Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
S'	Elastik tork
S''	Viskos tork
TS 2	Vulkanizasyonun ilk başladığı yani çapraz bağlanmanın ilk başladığı süre(saniye)
TC 90	Vulkanizasyonun tamamlandığı süre(saniye)
F	Yük (kN)
f	Frekans (Hz)

Kısaltmalar**Açıklama**

AGT	Automated Guideway Transit
PRT	Personel Rapid Train
BS-EN	British Standart European Norm
TS-EN	Türk Standardı Avrupa Normu
PID	Proportional Integral Derivative
ERRAC	The European Rail Research Advisory Council
IFAC	International Federation of Accountants
NR	Doğal Kauçuk
SBR	Strien Bütadien Kauçuk
BR	Bütadien Kauçuk
CR	Kloropren Kauçuk
RPA	Rubber Process Analyzer

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Hafif raylı sistem aracı	6
Şekil 2.2.	Ağır raylı sistem araçları (Banliyö, hızlı tren, metro)	7
Şekil 2.3.	PRT araçlarına bir örnek	7
Şekil 2.4.	Alttan asılı (Suspended) sistem	8
Şekil 2.5.	Aracın üzerine oturduğu üstten giden (Straddle) sistem	8
Şekil 2.6.	Maglev aracına ait bir örnek	9
Şekil 2.7.	Raylı sistem aracı titreşim modları	12
Şekil 2.8.	Klasik bir bojiye ait görünüm	19
Şekil 2.9.	Raylı taşıt süspansiyon sisteminin şematik gösterimi	20
Şekil 2.10.	Gelişmiş bir bojiye ait görünüm	20
Şekil 2.11.	Raylı taşıtlarda kullanılan süspansiyon sisteminin parçaları	21
Şekil 2.12.	Çeyrek taşıt modeli ile süspansiyon sistemi çeşitleri (a: Pasif, b: Aktif, c: Yarı aktif süspansiyon)	22
Şekil 2.13	Standart süspansiyon ve havalı süspansiyon arasındaki titreşim genliği karşılaştırması.	23
Şekil 2.14.	Bir hava süspansiyon körüğüne ait çalışma prensibinin şematik gösterimi: (a) Denge konumu, (b) Bası konumu, (c) Genişleme konumu	25
Şekil 2.15.	Körük bileşenleri görünümü	27
Şekil 2.16.	Kauçuk üretim tesisi şeması	29
Şekil 2.17.	Çapraz bağlanmış polimer yapısı	30
Şekil 2.18.	John Lewis tarafından bulunmuş ve patenti alınmış ilk hava süspansiyon körüğü	45
Şekil 3.1.	MonTech D-RPA 3000 Kauçuk Proses Analizörü	53
Şekil 3.2.	Vulkanizasyon presinin imalat görünümü	54
Şekil 3.3.	505±10 mm çapındaki roll tipi körüğü üretmek için uygun olan roll tipi vulkanizasyon kalıbının bilgisayar destekli tasarım görüntüsü	55
Şekil 3.4.	505±10 mm çapındaki roll tipi körüğü üretmek için uygun olan roll tipi vulkanizasyon kalıbının imalat görüntüsü	55
Şekil 3.5.	580±10 mm çapındaki roll tipi körüğü üretmek için uygun olan roll tipi vulkanizasyon kalıbının bilgisayar destekli tasarım görüntüsü	56
Şekil 3.6.	580±10 mm çapındaki roll tipi körüğü üretmek için uygun olan roll tipi vulkanizasyon kalıbının imalat görüntüsü	56
Şekil 3.7.	Konfeksiyon Makinesi kompleksine ait tasarım görüntüsü	57
Şekil 3.8.	Konfeksiyon Makinesi kompleksinin görünümü	58
Şekil 3.9.	Konfeksiyon Makinesinde iç kauçuk sarım işlemi	58
Şekil 3.10.	Konfeksiyon Makinesinde kord bezi ve dış kauçuk sarım işlemi	59
Şekil 3.11.	Sarım işlemi tamamlanan körüğün vulkanizasyon öncesinde telleme işlemi	59
Şekil 3.12.	Bir hava süspansiyon körüğünün bileşenleri	60

Şekil 3.13.	Patlatma test makinesi tasarım görüntüsü	61
Şekil 3.14.	Patlatma test makinesi imalat görüntüsü	61
Şekil 3.15.	Taşıma Genişleme ve Ömür Test Makinesi	63
Şekil 3.16.	Körük boyutları ve Taşıma-Genişleme ve Ömür Test makinesi kullanılarak ölçülecek boy (H) ve yarıçap (R) değerleri.	64
Şekil 3.17.	Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesindeki körük boyut ölçüm sistemi	64
Şekil 3.18.	Nishimura hava körüğü modeli	68
Şekil 4.1.	Prototip olarak imal edilen 505 mm çapındaki roll tipi hava süspansiyon körüğü	77
Şekil 4.2.	Patlatma testi sırasında içine basınçlı su uygulanmış körük	78
Şekil 4.3.	A tipi körük patlama sonrasındaki körüğün hasar görünümü	78
Şekil 4.4.	B tipi körük patlama sonrasındaki körüğün hasar görünümü	79
Şekil 4.5.	Körük iç basıncına bağlı olarak taşıma yükünün değişimi	80
Şekil 4.6.	Körük iç basıncına bağlı olarak körüğün son çap ve son boyu değerinin değişimi	81
Şekil 4.7.	Raylı taşıt körüğünün düşey yay katsayısının hesaplanmasında kullanılan düşey yük-düşey yer değiştirme grafiği	82
Şekil 4.8.	Raylı taşıt körüğünün yatay yay katsayısının hesaplanmasında kullanılan yatay yük-yatay yer değiştirme grafiği	83
Şekil 4.9.	Yatay yer değiştirmeye bağlı olarak raylı taşıt körüğünün R1 ve R2 yarıçap değerlerinin değişimi.	84
Şekil 4.10.	Yatay yer değiştirmeye bağlı olarak raylı taşıt körüğünün H1 ve H2 yükseklik değerlerinin değişimi.	84
Şekil 4.11.	Ömür testi sırasında zamana bağlı olarak x,y ve z eksenlerindeki kuvvet değerlerindeki değişim	85
Şekil 4.12.	Ömür testi sırasında zamana bağlı olarak x,y ve z eksenlerindeki yer değiştirme değerleri	86
Şekil 4.13.	6,1 s lik bölüm için çizilen zaman-yer değiştirme grafiği	86
Şekil 4.14.	Hava körük sisteminin dinamik davranış eğrileri	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	İnsan vücudunun duyarlı olduğu frekanslar	10
Çizelge 2.2.	Temel karakteristikler	14
Çizelge 2.3.	İşlevsel karakteristikler	14
Çizelge 2.4.	BS-EN 13913' e göre ürünün temel karakteristikleri	16
Çizelge 2.5.	BS-EN 13913' e ürünün işlevsel karakteristikleri	16
Çizelge 2.6.	TS EN 13597'ye göre sistemin temel karakteristikleri	17
Çizelge 2.7.	TS EN 13597'ye ürünün işlevsel karakteristikleri	18
Çizelge 2.8.	Raylı taşıtlarda kullanılan mevcut körük tipleri	28
Çizelge 3.1.	Taşıma- Genişleme ve Ömür test makinesinde yapılan testler	62
Çizelge 4.1.	190 °C de C1 Karışımına ait RPA eğrisi (Pişme karakteristiği, minimum ve maksimum tork)	71
Çizelge 4.2.	C1 Karışımına ait Uzama-Mukavemet test raporu	72
Çizelge 4.3.	190 °C de C2 Karışımına ait RPA eğrisi (Pişme karakteristiği, minimum ve maksimum tork)	73
Çizelge 4.4.	C2 Karışımına ait Uzama-Mukavemet test raporu	74
Çizelge 4.5.	175 °C de C3 Karışımına ait RPA eğrisi (Pişme karakteristiği, minimum ve maksimum tork)	75
Çizelge 4.6.	C3 Karışımına ait Uzama-Mukavemet test raporu	76
Çizelge 4.7.	A ve B tipi körüklerin patlatma basınçları ve standart sapma değerleri	77
Çizelge 4.8.	Hava sızdırmazlık testine ait basınç ve yük değişimi	79

1.GİRİŞ

Bu çalışma, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü tarafından Sanayi Tezleri Programı (SAN-TEZ) kapsamında desteklenen 00853.STZ.2011-1 kod numaralı “Raylı Taşıtlar İçin Hava Süspansiyon Köprü Tasarımı, Prototip İmalatı ve Mekanik Performanslarının Belirlenmesi” adlı San-Tez projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Süspansiyon sistemleri kara yolu taşıtlarında olduğu gibi raylı taşıtlarda da sürüş konforu ve güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir. Tren, hızlı tren, metro, hafif raylı sistem, tramvay gibi raylı taşıtlarda kullanılan süspansiyon sistemleri birincil ve ikincil süspansiyon sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Birincil süspansiyon raylar üzerinde ilerleyen tekerlekler ile boji arasında, ikincil süspansiyon ise boji ile vagon arasında bulunmaktadır. Bu taşıtlarda ikincil süspansiyon sistemi olarak genellikle havalı körükler kullanılır. Bu şekilde bir sistemin kullanılmasıyla düşük frekans değerlerinde yüksek konfor, araç yükteyken veya yüksüzken aynı sürüş yüksekliği ve şok yalıtımının iyi olması sebebiyle de daha güvenli yolculuk sağlanabilir.

Raylı taşıt körüklerinin boyutları, karayolu taşıtlarında kullanılan körüklerden farklılık göstermektedir. Bu sebeple raylı taşıt körüklerinin üretimi ve testlerinde kullanılan makineler, karayolu taşıtları için gerekli körüklerin üretimi ve test edilmesi gereken makinelerden farklılıklar göstermektedir. Karayolu taşıtları için körük çapları: 100-300 mm, uzunlukları: 220-750 mm arasında değişirken, raylı taşıtlar için körük çapları: 420-850 mm, uzunlukları 220-400 mm arasında değişmektedir. Bu nedenle belirtilen boyutlara uygun vulkanizasyon preslerinin, kalıpların ve uygun test makinelerinin tasarlanıp üretilmesi önemli olmaktadır. Körükteki kauçuğun vulkanizasyonunu gerçekleştiren vulkanizasyon preslerindeki parametre değişiklikleri (vulkanizasyon basıncı, vulkanizasyon sıcaklığı, vulkanizasyon süresi gibi), vulkanizasyon presine ait kalıplardaki yapısal ve boyutsal farklılıklar, konfeksiyon işlemi (körüğün yük taşıma, genişleme ve patlatma performansını belirleyen kord bezlerinin uygun açıda kesilmesi, kesilen kord bezlerinin iç ve dış kauçuk ile desteklenmesi ve sızdırmazlık sağlayan alt ve üst boğaz tellerinin takılması), raylı taşıt körüklerinin artan çap değerlerine uygun

olan konveyör bandının uzunluğu (12-14 m) sebebiyle hareketli konveyör kullanılmaksızın sarım işleminin gerçekleşmesi önemli olmaktadır.

Tasarlanması gereken test makineleri, karayolu taşıtlarında kullanılan körüklerin testini yapan mevcut test makinelerine göre farklı test parametrelerine sahip olmalıdır. Bu test parametrelerindeki farklılıkları; ürünün patlatma basıncındaki artış, ömür testi sırasında körük üzerine çok eksenli dinamik yük uygulaması, taşıma kuvveti ve çap genişlemesi testi sırasında körük üzerine uygulanan kuvvet ve ölçülen çap değerlerindeki artış, mekanik konstrüksiyon değişiklikleri, farklı test yazılımlarının kullanılması şeklinde belirtilebilir. Dolayısıyla raylı taşıtlarda kullanılacak hava süspansiyon körüklerinin tasarımı ve prototip imalatı kadar körüklerin üretimi ve test işlemleri esnasında kullanılacak üretim ve test makinelerinin de imalatı önemli olmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, raylı taşıtlarda kullanılan hava süspansiyon körüklerinin üretim ve test işlemleri gerçekleştirilmiş olup çalışma kapsamında kullanılan özel test makineleri ile hava süspansiyon körüklerinin mekanik performansları belirlenmiştir.

Çalışmanın Kaynak Araştırması bölümünde; raylı taşıtların öneminden bahsedilmiş raylı taşıtlarda meydana gelen titreşimin nedenleri ve bunların etkileri, süspansiyon sisteminin tanımı ve elemanları, hava süspansiyon körüğünün yapısı, çalışma prensibi ve helezon yaylara göre üstünlükleri üzerinde durulmuştur. Hava süspansiyon körüklerinde kullanılan kauçuk malzemeler hakkında bilgiler verilmiş, raylı taşıtlarda kullanılan hava süspansiyon körükleriyle ilgili standartlar üzerinde durulmuştur. Son olarak da raylı taşıtlar ve hava süspansiyon körükleri ile ilgili yapılan bilimsel araştırmalardan bahsedilmiştir. Ayrıca konuyla ilgili patent taraması yapılmıştır.

Araştırmanın Materyal ve Yöntem kısmında çalışma kapsamında körük üretiminde kullanılan kauçuk malzemelerden bahsedilmiş, hava süspansiyon körüğünün üretim aşamaları ve üretimde kullanılan makine ve ekipmanlar ile üretim sonucu körüğe uygulanan test yöntemleri ve kullanılan test makinelerine yer verilmiştir. Ayrıca ikincil süspansiyon sisteminin dinamik davranışını incelemek amacıyla sistemin modellenmesi ele alınmıştır.

Çalışmanın Bulgular ve Tartışma kısmında ise bir kentsel raylı taşıt için belirlenen ve prototip üretimi gerçekleştirilen hava süspansiyon körüğünün performans değerleri test edilmiştir. Yapılan testler; patlatma testi, hava sızdırmazlık testi, taşıma genişleme testi, yay katsayılarının belirlenme testleri ve ömür testleridir.

Sonuç bölümünde çalışmanın sonuçları sayısal değerler verilerek kısaca özetlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada; öncelikle günümüzde giderek artan ve gelişen raylı taşımacılığın öneminden bahsedilmiş, kullanılan raylı taşıt tipleri hakkında genel bilgilendirmeler yapılmıştır. Raylı sistemlerde meydana gelen titreşimler incelenerek bunların sebeplerinden bahsedilmiş, çevre ve insan sağlığına etkileri üzerinde durulmuştur. Ardından raylı sistemlerin önemli bir parçası olan hava süspansiyon sistemlerinden bahsedilmiş, bu sistemlerin yaylı sistemlere göre avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Ayrıca havalı körüklerde kullanılan kauçuklar hakkında bazı teknik bilgilere yer verilmiştir. Hava süspansiyon körükleri ile ilgili mevcut standartlar incelenmiştir.

Raylı taşıtların süspansiyon sistemleri üzerine yapılan bilimsel çalışmalar literatür araştırması yapılarak incelenmiştir. Çalışmalar raylı taşıt körüklerinin mekanik tasarımı, dinamik modelleri, kontrol mekanizmaları, körük kompleksinin dayanım ve ömür testleri, körüğün özellikle kauçuk aksamı üzerine yapılan mekanik ve fiziksel özelliklerin belirlenmesi alanlarında olmuştur. Ayrıca patent araştırması yapılmış olup literatür özetinin sonunda verilmiştir.

2.1. Raylı Taşımacılığın Önemi

Ülkemizde ulaşımın büyük çoğunluğu karayollarından sağlanmaktadır. Şehir içi ve şehirlerarası ulaşımında karayollarının yoğun olarak kullanılması, trafik sıkışıklığını, can ve mal kaybıyla sonuçlanan trafik kazalarını ve günden güne artan petrol fiyatlarıyla ulaşım maliyetlerinin artması gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Gelişmiş ülkelerde raylı ulaştırma sistemleri güvenli ve ekonomik olmaları nedeniyle hem şehir içi hem de şehirlerarası ulaşımında yoğun olarak tercih edilmektedir (Metin 2007).

Demiryolu taşımacılığı diğer ulaşım sistemlerine göre çok daha rahat, hızlı ve güvenilirdir. Demir yolu araçları kara yolu taşıtlarına göre daha fazla yolcu taşınması nedeniyle nüfus yoğunluğu fazla olan kesimlerde ideal bir taşıma aracıdır. Enerjiden tasarruf sağlar ve bu sayede çevreye salınan atıklar azaltılır. Karayolu taşıtlarındaki hızlı artış sebebiyle günden güne artan trafik kazaları ve bu kazalar sonucu yaşanan can

kayıpları azalmış olur. Demir yolu taşımacılığı için kullanılan arazi karayolları için kullanılan arazilerden çok azdır. Ayrıca günden güne artan motorlu taşıt sayısı sebebiyle meydana gelen trafik tıkanıklıkları demiryolu ile aşılabılır (Eser ve Tarhan 1997).

Raylı sistemlerin raya bağılı olması ve genellikle hava koşullarından karayoluna göre daha az etkilenmesi güvenliği, konforu ve zaman tasarrufunu arttırmaktadır. Ülkemizde karayolu kazalarında yılda ortalama 6000 kişi ölmekte, 100 bin kişi de yaralanmaktadır. Kaza sayısı da yılda ortalama %14 oranında artmaktadır. Karayollarındaki motorlu araç sayımız 5 milyon adede ulaşmış olup, yılda ortalama %10 oranında artmaktadır. İleriki yıllarda karayolu trafiğı tıkanma noktasına gelecektir (Metin 2007).

Japonya'da Tokaido Shinkansen hattında 30 yılda 3 milyar yolcu taşınmasına rağmen ölümle veya ciddi bir yaralanmayla sonuçlanan bir kazaya rastlanmamıştır (Metin 2007).

Motorlu araçların çıkardığı egzoz gazı, bulunduğu ortama kurşun ve diğere zehirli maddeleri bırakmaktadır. Karayolu araçlarından çıkan yağlar ile benzin istasyonlarındaki sıvı karbüranlardan oluşan değişik maddeler çevredeki arazi ve sulara zarar vermektedir. Demiryollarının arazi ve su kirlenmesindeki payı azdır. Bir elektrikli tren ile 42 km seyahat sonucunda, çevreye 1 kg karbondioksit yayılırken, aynı miktarda karbondioksit otobüsle 12km' de, otomobil ve uçakla ise 7 km' de yayılmaktadır (Anonim, 2009. Ulaşımında Demiryolu Gerçeğı. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8509a15320d3d1a_ek.pdf, Mart 2009).

Diğere yandan, aynı kapasitede taşımacılık için demiryolları, karayolları ve denizyollarına göre daha az arazi gerektirmektedir. Platform genişliğı 13,7 metre olan çift hatlı, elektrikli bir demir yolu hattı kapasite açısından, 37,5 metre genişliğinde 6 şeritli bir otobana eşdeğerektir (Anonim, 2012. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8509a15320d3d1a_ek.pdf, Mart 2009).

Ulaşımında, çevreye yayılan taşıt kaynaklı gürültüler de önemli bir mukayese kriteridir. Karayolu motorlu araçlarında gürültü, motor hacmi ve susturuculara bağılı olarak değişmektedir. Yapılan araştırmalarda karayollarındaki gürültü şiddetinin 72-92 dB

arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ağır taşıtlarda bu değer 103 dB kadar çıkmaktadır. Havayollarında ise gürültü şiddeti 103-106 dB dir. Buna karşın saatte 150 km hızla giden bir trenin gürültüsü 67-75 dB arasındadır. İnsan sağlığı açısından 8 saatlik bir çalışma için gürültü sınırının en fazla 90 dB olduğu belirtilmektedir (Dengiz ve Kutay 1997).

2.2. Raylı Sistemler

Raylı sistem araçları genel olarak yapılarına göre; Hafif Raylı Sistemler (Light Rail Transit), Ağır Raylı Sistemler (Heavy Rail Transit), Otomatik Sistemler (Automated Guideway Transit), Tek Ray Sistemler (Monorail) ve Magnetik Levitasyonlu Sistemler (Maglev) olarak sınıflandırılır.

Hafif raylı sistemlerde, taşıtlar, kent içi yollarda diğer trafikten ayrılmış veya ayrılmamış olarak hareket etmektedir. Çoğunlukla caddeleri kullanan elektrikli bir ulaşım sistemidir. Tramvay, hafif raylı sistemlerden sayılmaktadır. şekil 2.1'de Türkiye nin ilk yerli üretim tramvayı olan İpek Böceği tramvayı görülmektedir.



şekil 2.1. Hafif raylı sistem aracı (<http://www.enerjiport.com/wpcontent/uploads/2012/03/%C4%B0pekbc%C3%B6ce%C4%9Fi1.jpg>, Ocak 2012).

Ağır raylı sistemlerin en belirgin özelliği çalıştığı yolun tamamıyla diğer kullanıcılardan ayrılmış olmasıdır. Hızları hafif raylı sistemlere göre daha fazladır. Metrolar, banliyö trenleri ve hızlı trenler bu sistemlere örnek olarak verilebilir. Metrolar, genellikle yer

altında hareket eder, yol kesişmesi yoktur ve bu yolda sadece metro taşıtları çalışır. Banliyöler ise genelde şehir içini şehre dışına bağlayan ve yer üstünden giden sistemlerdir. Hızlı trenler ise genellikle şehirlerarası çalışırlar ve hızları nispeten daha fazladır. Elektrikli ve dizel olarak faaliyet göstermektedirler. Şekil 2.2’de sırasıyla banliyö, hızlı tren ve metroya ait örnekler görülmektedir.



Şekil 2.2. Ağır raylı sistem araçları (banliyö, hızlı tren, metro) (http://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Banliy%C3%B6_Treni.jpg, Mart 2008) (<http://hizlitren.tcdd.gov.tr/#/photos/img3.gif>, 2010), (<http://www.urbanrail.net/af/algiers.htm>, Ekim 2011).

Otomatik sistemler (AGT), sürülmesi ve kontrolü bilgisayar aracılığı ile sağlanır. Araç üzerinde makinist yoktur. Sabit bir yol üzerinde ilerler. Lastik tekerlekler üzerinde ilerleyen ve elektrik enerjisiyle çok sessiz çalışan küçük araçlardır. PRT (Personel Rapid Train) otomatik sistemlere bir örnektir. Şekil 2.3’de PRT sistemine ait bir araç görülmektedir.



Şekil 2.3. PRT araçlarına örnek (http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_rapid_transit, Aralık 2007).

Tek ray sistemi; üst yollu ve yakın mesafeli, elektrikli bir toplu taşıma sistemidir. Ray yolu, kapalı bir kutu şeklinde alttan asılı (Suspended) veya aracın üzerine oturduğu üstten giden (Straddle) olmak üzere iki türlü olup yüksek seviyeli çelik veya beton kolonlara asılı şekilde monte edilmiştir. Şekil 2.4'de ve Şekil 2.5'de sırasıyla alttan asılı (Suspended) ve üstte giden (Straddle) sistemlerine ait örnek araçlar görülmektedir.



Şekil 2.4. Alttan asılı (Suspended) sistem

(http://en.wikipedia.org/wiki/File:Schwebebahn_ueber_Strasse.jpg, May 2004).



Şekil 2.5. Aracın üzerine oturduğu üstten giden (Straddle) sistem

(http://news.xinhuanet.com/english/photo/2012-12/28/c_132069857_6.htm, Aralık 2012).

Magnetik levitasyonlu sistemler, mıknatıslar sayesinde raylardan 15 cm yükseklikte havada giden ve 500 km/h'in üzerinde hızlara çıkabilen araçlardır. Bu sistemler halen dünyanın çeşitli ülkelerinde geliştirilmektedir. Şekil 2.6'da Maglev aracına ait bir örnek görülmektedir.



Şekil 2.6. Maglev aracına ait bir örnek

(<http://www.theepochtimes.com/news/8-1-12/63946.html>, Haziran 2008).

2.3. Raylı Sistemlerde Meydana Gelen Titreşimler

Raylı sistemlerin artması kolaylıklarının yanında bir takım sıkıntıları da yanında getirmektedir. Bunların en başında titreşimlerden kaynaklanan problemlerdir. Yolcuların güvenliği, konforu ve sürüş kalitesi için bu titreşimlerin kontrolünün sağlanması ve minimuma indirilmesi gerekmektedir (www.gurultutitresim.com, Nisan 2010).

Çalışan bir makinede her zaman bir titreşim ve gürültü olmaktadır önemli olan bunların belli sınırlar dâhilinde kalması gereğidir. Özellikle titreşimden zarara uğrayanlar sadece canlılar değildir. Araç veya makinelerin kafes konstrüksiyonları ve aksamları da titreşimden kaynaklı yorulma probleminden dolayı yeteri kadar çalışamazlar (Goodall 1997).

Ulaşım taşıtlarının tümü konfora, çalışma verimliliğine ve bazı durumlarda sağlık ve emniyete mani olacak şekilde insanı, mekanik titreşimlere maruz bırakırlar. Bu nedenle, titreşimlerin insan üzerindeki etkileri ve insanın titreşimlere tepkisi çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Genelde insan üzerinde etkili olan titreşimler, insan vücuduna tümüyle aynı zamanda iletilen titreşimler, yalnızca temas noktalarından iletilen titreşimler ve insanın özel kısımlarına uygulanan titreşimler olarak üçe ayrılır. Sürekli titreşimlere maruz kalan kişilerde kalıcı fiziksel zararlar, sinir sistemi bozuklukları, omurilik hastalıkları, yorgunluk, baş ağrısı, uykusuzluk ve adale ağrıları

gibi etkiler belirlenmiştir. Söz konusu raylı sistemler olunca, problemin araç seyir emniyeti, yolcu ve sürücü konforu açısından tüm vücut titreşimlerine göre incelenmesi gerekmektedir. İnsan vücudunun değişik uzuvlarının rezonans aralığı, Çizelge 2.1'de verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere insan vücudu bütün titreşim frekanslarına eşit duyarlılıkta değildir (Aba 1994).

Çizelge 2.1. İnsan Vücudunun Duyarlı Olduğu Frekanslar (Aba 1994).

Uzuv	Frekans	Uzuv	Frekans
Kafa Tası	20-30 Hz	Kol	5-10 Hz
Göz Bebeği	20-90 Hz	El	30-50 Hz
Omuz	4-5 Hz	Omurga	10-12 Hz
Göğüs Duvarı	50-100 Hz	Karın	4-8 Hz
Alt Kol	16-30 Hz	Bacaklar	2-20 Hz

Normal şartlarda seyir emniyeti, insan konforu açısından araç süspansiyon sisteminin kapasitesi olarak yorumlanır. Bir raylı taşıtın seyir kalitesi, yer değişimi, ivme, ivmenin değişim oranı, gürültü, toz, nem ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır (Aba 1994).

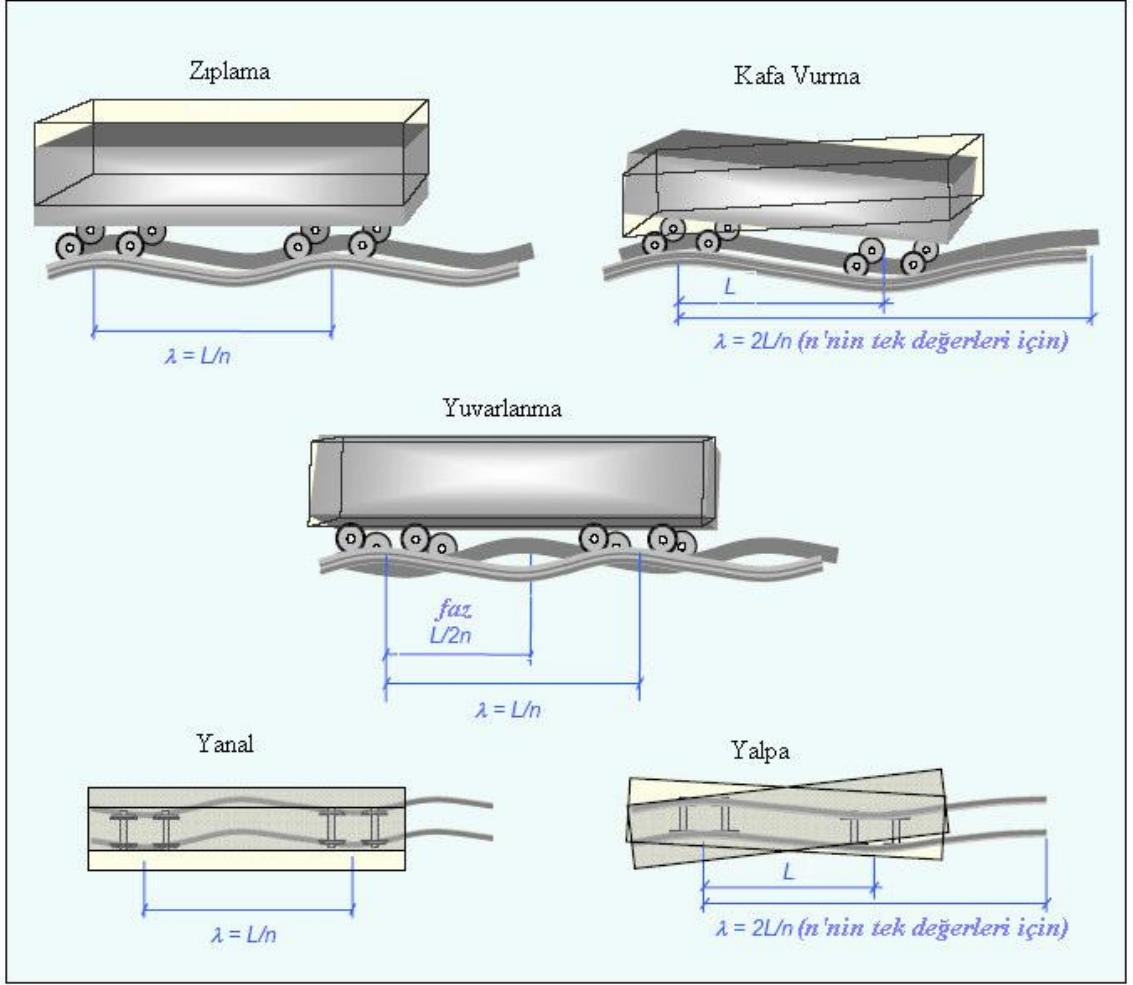
Raylı sistem araçlarına ait titreşimler oldukça karmaşıktır. Raylı taşıtın klavuzlanan bir yolda hareket etmesi, tekerlek-ray formu ve bunlara ait etkileşim, titreşim açısından sistemi karmaşıklştırmaktadır.

Raylar üzerinde, hareket halindeki bir taşıtta titreşimler, öteleme hareketi olarak boyuna, yanal ve düşey titreşimler, dönme hareketi olarak sırasıyla yalpa (rolling), kafa vurma (pitching) ve savrulma (yawing) şeklinde ortaya çıkar. Bu titreşime neden olan faktörlerin başında ise zamanla ortaya çıkan yol düzensizlikleri ve bu düzensizlikler sonucu çelik raylar üzerinde hareket eden çelik tekerlere iletilen darbelerdir. Ray bağlantılarındaki zigzaglı bir birleştirme taşıtın yalpa, yanal ve düşey titreşim modlarını uyarabilir. Bu durumda, oluşan titreşim hareketinin frekansı ray uzunluğu ve taşıt hızıyla orantılıdır. Eğer taşıt titreşim modlarından herhangi birinin tabii frekansıyla bu zorlayıcı frekans çakışırsa rezonans durumu meydana gelecektir. Rezonans durumundaki titreşim genliği, ancak uygun sönümleme ile kontrol edilebilir. Periyodik

ray bozuklukları geometrik olarak müsade edilebilir sınırlar içinde olsa bile, yeterli sönüm sağlanmadığıında rezonans frekanslarını uyararak sistemin çalışmasını bozabilir. Bu da, taşıt süspansiyon sisteminde sönümün ne kadar önemli olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca, manevra, frenleme ve makas değiştirme gibi taşıtın çalışma özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan şok ve titreşimlerde konfor üzerinde çok olumsuz etkiler yapmaktadır (Karayel ve Erel 1997).

Yol düzensizliğine karşı araç cevabı, her zaman düzensizliğin genliği ile orantılı olmaz. Çeşitli yol düzensizliklerine ait dalga boyları, değişik raylı taşıt hızları ile birleşince, taşıtta farklı rezonans modları oluşabilmelidir. şekil 2.7'de çeşitli yol düzensizlik formlarının neden olduğu raylı sistem aracına ait titreşim modları gösterilmektedir. şekilde, L n boji merkezi ile arka boji merkezi arasındaki mesafeyi, n pozitif bir tam sayıyı, λ dalga boyunu ve faz ise her iki ray üzerindeki sinüzoidal düzensizliğe ait rölatif farkı temsil etmektedir (Bleakley 2006).

Demir yolu düzensizliklerine karşı raylı sistem aracının cevabı, büyük oranda fiziksel ayarlamalara ve aracın süspansiyon karakteristiğine bağlıdır.



Şekil 2.7. Raylı sistem aracı titreşim modları (Bleakley 2006).

2.4. Raylı Sistem Standartları

Üretim ve test makinelerinin özellikleri, üretici ve tedarikçinin istekleri ile ilgili olarak TS EN 13597 standardı, EN 13913, EN 14817 ve Hindistan demiryolu standartları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda ürünün karakteristikleri, bu karakteristikleri tespit edebilmek için yapılması gereken testler hakkında bilgi edinilmiştir. Ürünün teknik konseptlerinin araştırılmasında da belirtilen standartlardan, literatür ve patent araştırmalarından faydalanılmıştır. Literatürde kullanılan ürünlerin teknik özellikleri de incelenmiştir.

İncelenen TS EN 13597 demiryolu uygulamaları: Lastikli amortisör sistemler, pnömatik amortisör yayları için lastik diyaframlar hakkında, EN 14817 demiryolu uygulamaları:

Süspansiyon elemanları, hava yayı denetim elemanları, BS EN13913 demiryolu uygulamaları: Lastik süspansiyon elemanları, elastomer tabanlı mekanik parçalar hakkında bilgi veren standartlardır. Standartların incelenmesi kapsamında FIAT tipi bojilere sahip BG Ana Demiryolu/ Rajdhani vagonlar için 120 kN kapasiteli Havalı Yay ve Metal Bağlantılı Acil Durum Lastik Yayın teknik gerekliliklerinin bir planı da incelenmiştir.

Aşağıda bu standartlarda karşımıza çıkan temel parametreler kısaca açıklanmıştır.

2.4.1. BS-EN14817- Demiryolu uygulamaları: süspansiyon elemanları, hava yayı denetim elemanları

Bu standart süspansiyon sisteminde kullanılması gereken bütün kontrol elemanlarını kapsamaktadır. Bu standart diferansiyel valfler, filtreler, seviye valfleri, çek valfler, minimum basınç valfleri (ayarlanabilir çek valfler), basınç ayarlama valfleri, durdurma valfleri, ayırma valflerini içermektedir.

Standartta sistemin denetim elemanlarının çalışma şartları; elemanların genel özellikleri, iklim ve atmosferik şartlar, çevre şartları, çalışma şartları ve mekanik şartların ifade edilmesi şeklinde belirtilmiştir.

Ürün tanımlama kısmında müşterinin kontrol elemanının gerekli bütün karakteristiklerini teknik şartnamede tanımlaması gerektiği ifade edilerek sistemin karşılaması gereken temel ve işlevsel karakteristikler verilmiştir. Temel karakteristikler Çizelge 2.2’de işlevsel karakteristikler Çizelge 2.3’de gösterilmiştir. Karakteristiklerin tanımı ve test yöntemleri de standartta alt başlıklar halinde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2. Temel karakteristikler

Çalışma şartları direnci	Fiziksel Karakteristikler
Ekstrem sıcaklıklar	Malzeme
Su geçirgenliği	Kütle
Yabancı madde geçirgenliği	Görünüm
Mekanik etkiler	Hava sızdırmazlığı
Taş fırlaması	Yorulma davranışı
Korozyon	Geometri ve Boyut Karakteristikleri
Yangın reaksiyonu	
Diğer şartlar	

Çizelge 2.3. İşlevsel karakteristikler

	Karakteristik			
	Hava akışı	Basınç düşümü	Filtreleme performansı	Çalışma basıncı
Diferansiyel valf	Gerekli			Zorunlu
Filtre	Zorunlu	Gerekli	Zorunlu	
Seviye valfi	Zorunlu			
Çek valf	Zorunlu	Gerekli		
Basınç düşürme valfi	Zorunlu			Zorunlu
Minimum basınç valf (ayarlanabilir çek valf)	Zorunlu			Zorunlu
Durdurma valfi	Zorunlu			
Ayırma valfi	Zorunlu			
Hava delikli ayırma valfi	Zorunlu			

2.4.2. BS-EN 13913: Demiryolu uygulamaları: lastik süspansiyon elemanları, elastomer tabanlı mekanik parçalar

BE-EN 13913 standardı elastomer tabanlı mekanik parçaların standarda uygun olarak sağlaması gereken karakteristikleri, bu karakteristiklerin sağlandığını test etmek için gerekli deneysel yöntemleri, müşteri ve tedarikçi için gerekli işlemleri tanımlamaktadır.

Bu standart pnömatik süspansiyon yayları için kullanılan lastik diyaframların imalatında kullanılmamaktadır. Ancak demir yolu uygulamalarında kullanılan lastik süspansiyon elemanlarını içerdiği için fikir vermesi açısından ayrıca incelenmiştir.

Standartta kullanma şartları; çevre koşulları, çalışma sıcaklığı, geri dönüşüm özellikleri dikkate alınarak sunulmuştur.

Ürünün tanımlanması için Çizelge 2.4’de ve Çizelge 2.5’de verilen karakteristiklerinin, montaj ve çevre şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Ürün karakteristikleri çevre koşullarına, operasyon şartlarına direnç, fiziksel ve geometrik karakteristikler olmak üzere dört ana kısımda toplanmıştır. Ürün tanımlanan şartlara ve verilen toleranslara uygun üretilmelidir.

Ürünün işlevsel karakteristikleri sabit hızda “yer değiştirmenin fonksiyonu olarak kuvvet” karakteristikleri, sinusoidal hareket altında rijitlik karakteristikleri, sönümleme ve diğer karakteristikler olmak üzere dört ana grupta belirlenmiştir.

Standartta karakteristiklerin tanımlanması için gerekli nicelikler ve test yöntemleri de alt başlıklar halinde her bir karakteristik için ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.4. BS-EN 13913'e göre ürünün temel karakteristikleri

Çevre koşullarına direnç	Operasyon şartlarına direnç	Fiziksel karakteristikler
En düşük sıcaklık	Yorulma direnci	Malzemeler
En yüksek sıcaklık	Statik sürünme	Kütle
Ozon	Dinamik sürünme	
Yağ ve petrol ürünleri	Statik gevşeme	Geometrik ve boyutsal karakteristikler
Kimyasal ürünler	Dinamik gevşeme	Çalışma boşluğu
Aşınma (Abrasion)	Diğer şartlar	Boyutlar
Yanma davranışı		
Korozyon		
Diğer şartlar		

Çizelge 2.5. BS-EN 13913' e ürünün işlevsel karakteristikleri

Sabit hızda "yer değiştirmenin fonksiyonu olarak kuvvet" karakteristikleri	Sönümlenme
Yeni bir durumda	Yeni bir durumda
Test sonrası	Test sonrası
Sinusoidal hareket altında rijitlik (stiffness) karakteristikleri	Diğer karakteristikler
Yeni bir durumda	Yük altındaki boyutlar
Test sonrası	Deformasyon altında kuvvet

2.4.3. TS EN 13597 demiryolu uygulamaları: Lastikli amortisör sistemler, pnömatik amortisör yayları için lastik diyaframlar

Bu standart Türk Standartları Enstitüsünün lastikli amortisör sistemleri, pnömatik amortisör yayları için lastikli diyafram sistemleri ile ilgili standardıdır. Bu Avrupa Standardı, ray tipi ile çalışma yüzeyi her ne şekilde olursa olsun, sürekli kılavuz

sistemleriyle izlenmekte olan demiryolu araçları ve benzeri araçlar üzerine uygun olması amacıyla tasarlanmış bulunan süspansiyon diyaframlarına uygulanmaktadır.

Lastikli diyaframın tanımlanması için Çizelge 2.6'da ve Çizelge 2.7'de verilen karakteristiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ürün karakteristikleri çalışma koşullarına, fiziksel ve geometrik karakteristikler olmak üzere üç ana kısımda toplanmıştır. Ürün tanımlanan şartlara ve verilen toleranslara uygun üretilmelidir. Ürünün işlevsel karakteristikleri sabit hızda aksel, radyal ve rotasyonel sağlamlık karakteristikleri, sinusoidal hareket altında aksel, radyal ve rotasyonel karakteristikleri, basınç ve kuvvet karakteristikleri olarak belirlenmiştir.

Standartta karakteristiklerin tanımlanması için gerekli nicelikler ve test yöntemleri de alt başlıklar halinde her bir karakteristik için ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.6. TS EN 13597'ye göre sistemin temel karakteristikleri

Çalışma koşullarına dayanım	Fiziksel Karakteristikler
Düşük sıcaklık	Yeni Koşullardaki Görünüm
Ozon	Aşırı yatay deformasyonlar altında diyaframların görünümü (Basınç uygulaması altındaki görünüm)
Yağ ve petrol ürünü	Katlar arası yapışma
Temizleme ürünü	Basınç rezistansı
Aşınma	Hava sızdırmazlığı
Yangın Davranışı	Yorulma dayanımı
	Patlatma dayanımı
Geometrik ve boyutsal karakteristikler	
Boşluk Kılıfı	
Yeni diyaframların toplam boyutları	
Büyüme diyaframların toplam boyutları	

Çizelge 2.7. TS EN 13597'ye ürünün işlevsel karakteristikleri

Sabit hızda eksenel rijitlik	Sinüzoidal hareket altında rotasyonel rijitlik
Sabit hızda radyal rijitlik	Basınç-kuvvet karakteristiği
Sabit hızda rotasyonel rijitlik	Eksenel eşbasınç karakteristiği
Sinüzoidal hareket altında eksenel rijitlik	
Sinüzoidal hareket altında radyal rijitlik	

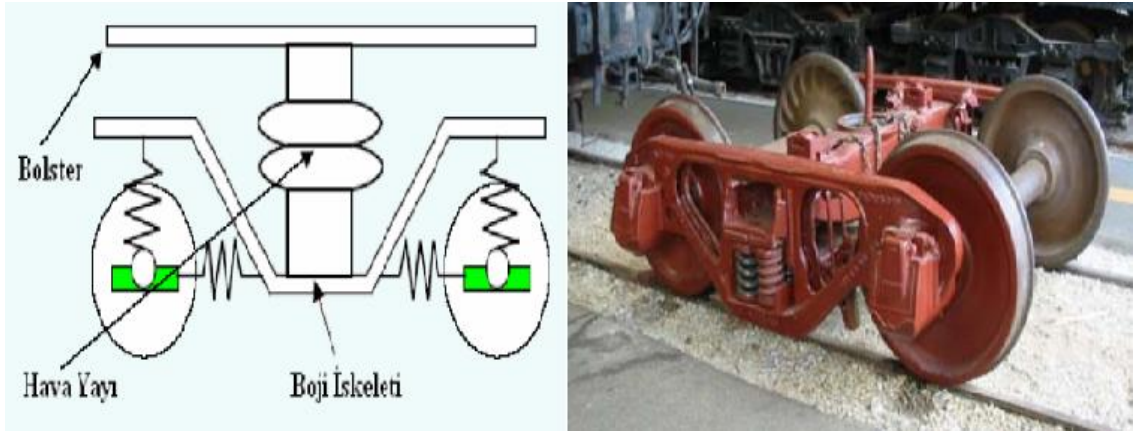
Hindistan demiryolu standardını referans alan havalı yay ve metal bağlantılı acil durum lastik yayının teknik gerekliliğinin planı da LHB tipi vagonlara sahip, sürekli ya da kendiliğinden üretim sistemli ana demiryolu vagonlarının mevcut iki eksenli FIAT (Y-kasa) bojisinde kullanılan havalı yay tertibatının tasarımı ve tedarikine ilişkin teknik gereklilikleri açıklamaktadır. Bu standart ve plan kapsamında çalışma, çevre şartları, teknik gereklilikler incelenmiştir. Teknik olarak havalı yay tertibatı başına düşen statik yük ve basınç, tertibatın sapma özellikleri, çeşitli tasarım parametreleri, dikey yay rijitlik, patlatma kuvvetleri, sistemin acil durum davranışı, boyut kısımları, pnömatik besleme bağlantıları, montaj bilgileri ve sistem üzerinde gerçekleştirilecek fiziksel ve kontrol testleri hakkında edinilmiştir.

2.5. Raylı Taşıt Süspansiyon Sistemi

Araç gövdesi ile tekerlekler arasına yerleştirilen süspansiyon sistemi, yolun yapısından kaynaklanan titreşimleri sönmölemek üzere tasarlanmaktadır. Süspansiyon sistemi sürüş konforu ve güvenliği açısından ihtiyaç duyulan bir sistemdir. Süspansiyon sistemi yolcuları ve taşınan yükü korur, sürüş konforunu iyileştirir, yol yüzeyi ile tekerlekler arasındaki sürtünmeye bağlı olarak ortaya çıkan sürüş ve fren kuvvetlerini gövdeye aktarır, yol yüzeyi ile tekerlekler arasında teması kaybetmeden güvenli dönüş yapmayı sağlar (Metin 2007).

Süspansiyon sistemi aracın ağırlığını taşıdığı gibi tekerleklerin yola tutunmasını da sağlamalıdır. Aracın yol tutuşu hayati önem taşır; çünkü aracın aktif güvenliği, dengesi ve konforu bu sistemin sağlıklı çalışmasına bağlıdır.

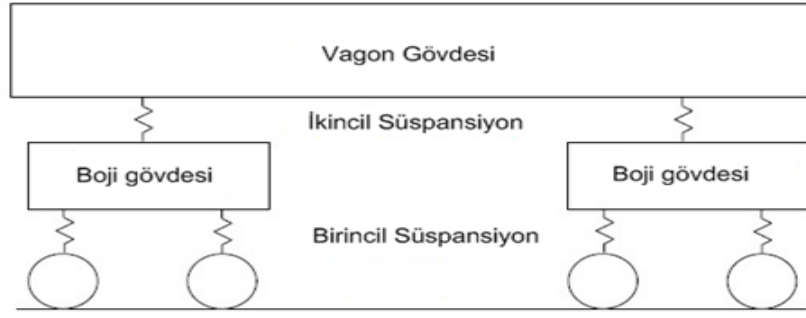
Raylı taşımacılıkta titreşim konforunun iyileştirilmesi, gelişmiş süspansiyon sistemlerine sahip bojilerin kullanılması ile sağlanabilir. Bojiler; raylar ve taşıt gövdesi arasında süspansiyon, yola adaptasyon, viraj alma gibi birçok fonksiyonu aynı anda gören çok önemli mekanizmalardır. Bu bakımdan, tasarım yönünden birçok problemin beraberce optimize edilmesi gerekmektedir. Değişen yol ve yük şartlarına bağlı olarak yapılacak optimum süspansiyon tasarımının daha yüksek performans kriterlerini sağlayacağı ve konforu arttıracığı muhakkaktır (Metin 2007).



Şekil 2.8. Klasik bir bojiye ait görünüm (Metin 2007).

Klasik taşıyıcı bir boji; rijit bir iskelet, rijit tekerlek setleri ve aks kutusu ile boji iskeleti arasına yerleştirilmiş elastik birincil süspansiyonlardan oluşur. İkincil süspansiyonlar ise bolster ve boji iskeleti arasına yerleştirilen 2 adet hava yayı, 2 adet yanıl darbe engelleyici, 1 adet yuvarlanma hareketini engelleyici çubuktan oluşur (Şekil 2.8).

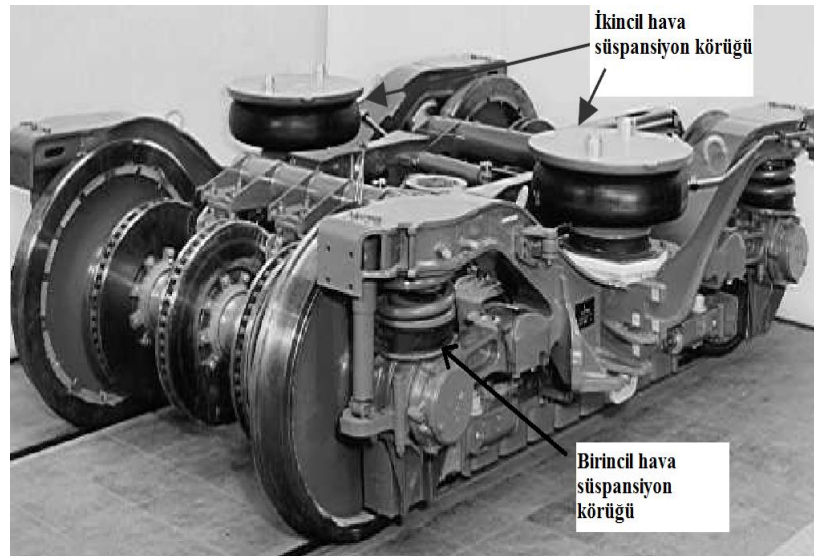
Tren, hızlı tren, metro, hafif raylı sistem, tramvay gibi taşıtlarda kullanılan süspansiyon sistemi Şekil 2.9'da gösterildiği gibidir. Bu taşıtlarda süspansiyon birincil ve ikincil süspansiyon sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.



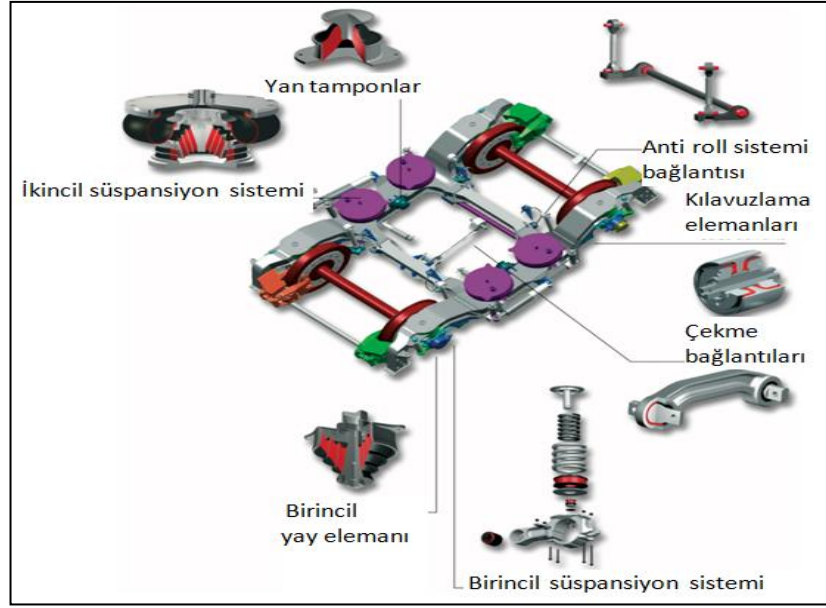
Şekil 2.9. Raylı taşıt süspansiyon sisteminin şematik gösterimi (Presthus 2002).

Birincil süspansiyon raylar üzerinde ilerleyen tekerlekler ile boji arasında olup, yay ve kauçuk takozlardan meydana gelmektedir. İkincil süspansiyon ise boji ile vagon arasında bulunmaktadır ve bir çift hava körüğünden meydana gelir. Hava süspansiyon körüklerinin kauçuk kısmında kullanılan malzeme takviyelendirilmiş kompozit yapıda bir elastomer malzemedir. Kauçuk tipi olarak doğal kauçuk esaslı malzeme kullanılır. Bu şekilde bir sistemin kullanılmasıyla düşük frekans değerlerinde yüksek konfor, araç yükteyken ve yüksüzken aynı sürüş yüksekliği ve şok yalıtımının iyi olması sebebiyle de daha güvenli yolculuk sağlanabilir (Otekon 2012).

Şekil 2.10'da gelişmiş bir bojiye ait bir görünüm ve şekil 2.11'de raylı taşıtlarda kullanılan süspansiyon sisteminin parçalarının görünümü yer almaktadır.



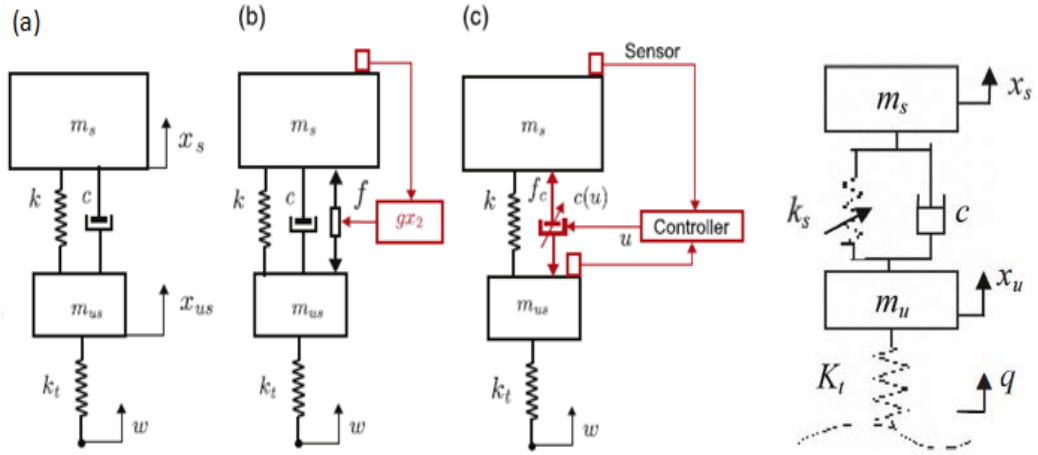
Şekil 2.10. Gelişmiş bir bojiye ait görünüm (Presthus 2002).



Şekil 2.11. Raylı taşıtlarda kullanılan süspansiyon sisteminin parçaları (http://www.contitech.de/pages/presse/messen-veranstaltungen/prmessen/2011/111020_Bus_on_rails/presse_en.html, Ekim 2011).

2.5.1. Aktif, Pasif ve Yarı Aktif Süspansiyon Sistemleri

Süspansiyon sistemleri de üç temel yapıda karşımıza çıkmaktadır. Bunlar pasif, aktif ve yarı aktif süspansiyon sistemleridir. Şekil 2.12'de bu süspansiyon sistemlerine ait şekiller bulunmaktadır. Pasif süspansiyon sistemlerinde (a) herhangi bir denetim ve ayarlama yapılmamaktadır. Sistem parametreleri birer sabitten ibarettir. Aktif sistemlerde (b) gerekli kuvvet bir eyleyici vasıtasıyla sisteme verilmektedir. Sistem için gerekli kuvvet bir güç kaynağı yardımıyla sağlanan hidrolik, pnömötik vb. eyleyici ile uygulanmaktadır. Pasif elemanlarla beraber kullanılabilirdiği gibi tek başına da kullanılabilir. Gerekli kuvvet değerini belirleyebilmek için denetim sistemi ve algılayıcılar da beraber kullanılmaktadır. Yarı aktif sistemlerde (c) ise genellikle bir yay ve/veya sönümlenme elemanın katsayısı belirli sınırlar dâhilinde değiştirilebilen bir sistem kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle bu sistemler ayarlanabilir pasif elemanlara sahip sistemlerdir. Denetim birimi ve algılayıcılarla bu elemanların ilgili katsayılarının olması gereken değer belirlenir ve bu değer ona göre değiştirilir. Şekil 2.12' de bir çeyrek taşıt modeli üzerinden üç tip süspansiyon sisteminin modeli gösterilmiştir (Otekon 2012).

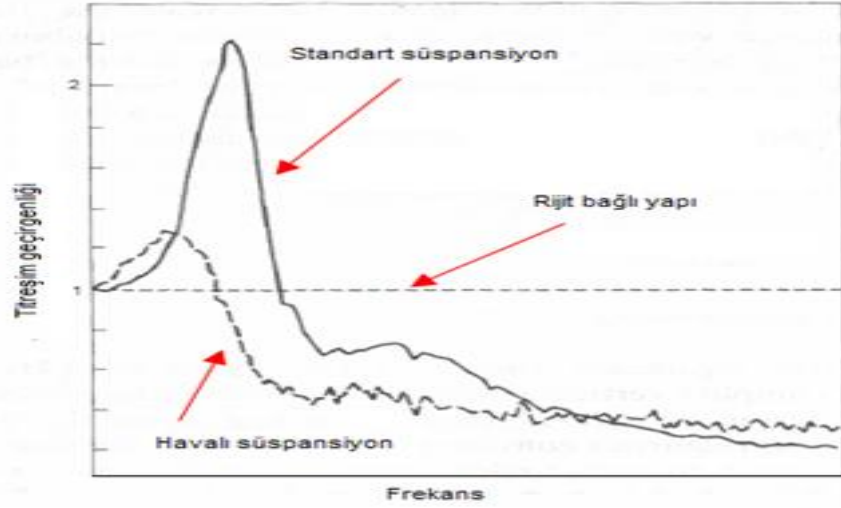


Şekil 2.12. Çeyrek taşıt modeli ile süspansiyon sistemi çeşitleri (a: Pasif, b: Aktif, c: Yarı aktif süspansiyon) (Prethus 2002).

2.5.2. Havalı Süspansiyonun Yaylı Süspansiyona Göre Avantajları

Raylı taşıtlarda havalı süspansiyonların yanında standart süspansiyon olarak da bahsedilen yaylı süspansiyonlarda kullanılmaktadır. Havalı süspansiyonların yaylı süspansiyonlara göre avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

- Süspansiyon iç basıncına göre kolayca ayarlanabilecek yay katsayısı ve yaylanma özelliği. Havalı süspansiyonun iç basıncı bir kompresör yardımıyla artırarak belli bir basınca ayarlanmasıyla (genelde 1-8 bar) çeşitli yay katsayıları elde edilir.
- Doğrusal olmayan davranış sonucunda sabit doğal frekanslı titreşim yalıtımı. Havalı süspansiyonların dinamik davranışı, helezon yaylar gibi doğrusal değildir. Havalı süspansiyonların yay katsayısı sistemin üzerindeki kuvvet artıkça artmaktadır. Böylece sabit doğal frekansa sahip sistemler tasarlanabilir. Özellikle operasyonel ağırlığı geniş bir alanda değişen sistemler için çok kullanışlıdır.



Şekil 2.13. Standart süspansiyon ve havalı süspansiyon arasındaki titreşim genliği karşılaştırması (Anonim, 2010. Pnömatik süspansiyonlar. <http://gurultutitresim.com/category/titresim-yalitimi-izolasyonu/air-spring/>, Nisan 2010).

- Düşük ağırlık, düşük bakım maliyeti ve kompakt tasarım. Sistem bir elastomer körük ve bir kaç metalik parça içerdiğinden ağırlığı çok azdır. Ayrıca, yağ sızdırma veya aşınma problemi olmadığından uzun yıllar güvenle kullanılabilir. Aynı özellikleri taşıyan standart bir süspansiyona göre daha az yer işgaleder.
- Standart süspansiyonlarda yay özelliği için helezon yay, sönüm içinse bir damper kullanılmaktadır. Ancak havalı süspansiyonlarda yay özelliği basınçlı hava ile, sönüm özelliği de iç akış sınırlayıcıyla sağlanmaktadır. Sönüm ve yay bir yapısı içerisinde bulunmaktadır.
- Sistem elastomer körükten oluştuğundan akustik enerjinin yapısal yol ile aktarılması ciddi bir şekilde engellenmiş olmaktadır. Elastomer malzemelerde ses hızı, metallerde göre çok küçüktür. Bundan dolayı ses elastomer malzeme içinde kolayca yayılamaz, yapısal ses iletimi çok azdır.
- Bir kompresör, elektro-pnömatik bir vana ve bir algılayıcı (sensör) kullanmak suretiyle aracın veya makinenin yüksekliği otomatik olarak ayarlanabilir. Bu ayar istenirse manuel olarak kullanıcıya veya bir otomatik kontrol devresiyle

çevresel değişkenlere bırakılabilir. Örneğin araç taşıdığı ağırlığa göre yay özelliğini otomatik olarak ayarlayabilir. İstenirse havalı süspansiyon bir hidrolik silindir gibi çalıştırılabilir (Anonim 2010.Pnömatiksüspansiyonlar. <http://gurultutitresim.com/category/titresim-yalitimi-izolasyonu/air-spring/>, Nisan 2010).

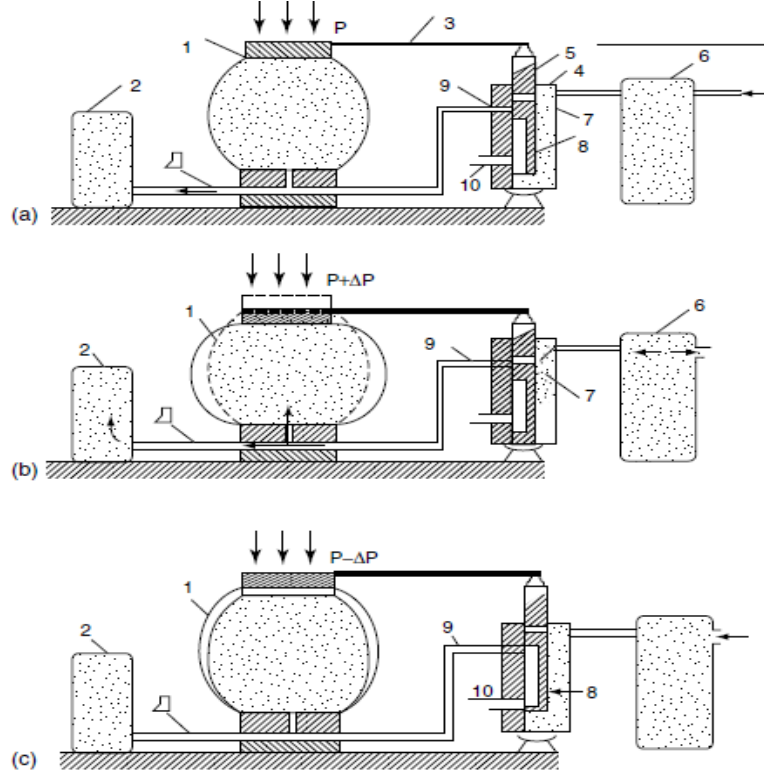
2.5.3. Havalı Süspansiyonun Yaylı Süspansiyona Göre Dezavantajları

Havalı süspansiyonların yaylı süspansiyonlara göre bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

- Bunların en önemlisi akışkan sızdırmazlık problemidir. Gerçekten de iyi seçilmemiş bir havalı süspansiyon sürekli basıncını kaybeder ve devamlı olarak kompresöre ihtiyaç duyar. Ayrıca körük içindeki havanın ısınması sonucu sistemin dinamik özellikleri değişiklik gösterebilmektedir (Anonim 2010. Pnömatik süspansiyonlar. <http://gurultutitresim.com/category/titresim-yalitimi-izolasyonu/air-spring/Nisan> 2010).

2.5.4.Hava Süspansiyon Körükleri

Gazlar özelliğini kaybetmeden sıkıştırılabilirler. Hava yayları da gazların sıkıştırıldığında yay gibi esnemesi özelliğinden faydalanılarak yapılmıştır.



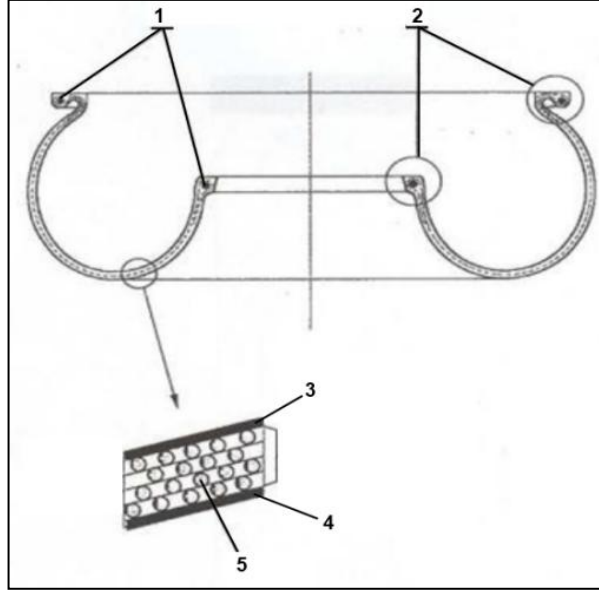
Şekil 2.14. Bir hava süspansiyon körüğüne ait çalışma prensibinin şematik gösterimi: (a) Denge konumu, (b) Bası konumu, (c) Genişleme konumu (Orlova ve Boronenko 2006).

Şekil 2.14'de bir raylı taşıta ait hava süspansiyon sistemine ait genel şematik bir görünümü ve çalışma prensibi verilmiştir. Süspansiyon sistemi temel olarak taşıt gövdesi ile boji arasında yerleştirilen bir hava körüğü (1), sistemin ihtiyaç duyduğu basınçlı havayı sağlayan ana depo (6), kontrol valfi (4), yardımcı hava tankı (2) ve boru elemanlarından ibarettir. Taşıt gövdesi ile bağlantılı bir valf (4) ile körük içerisine hava girişi veya hava tahliyesi sağlanmaktadır. Körüğün ani yüklerle tepki verme süresini kısaltabilmek ve frekansını düşürebilmek için ayrıca ilave bir hava tankı (2) kullanılabilir. Ayrıca hava körüğü altında ilave bir yay da kullanılabilir.

Süspansiyon sistemi (a) durumunda iken denge halindedir. Hava körüğü (1) içindeki basınç üretici tarafından öngörölmüş yüksekliği sağlamıştır. Denetim valfi (4) kapalı durumdadır. Sistemin yaylılık katsayısını azaltmak için hava körüğü yardımcı ek depo (2) ile bağlantı halindedir.

Sistemdeki yük artışı ile denge durumundan sapılır (b durumu) . Bu halde hava körüğü (1) sıkışır ve denetim valfi sürgüsü (5) hareket eder. Böylece ana hava tankı (6) içindeki basınçlı hava valf (4) üzerinden körüğe doğru yönlendirilir ve körük içindeki basıncın artması sağlanır. Basınç artışı ile sistemin denge konumuna ulaşması sağlanır ve valf kapalı konumuna geri döner. Yükün azalmasıyla körük yükselmeye başlar (c durumu). Valf sürgüsü (5) bu sefer yukarı doğru hareket eder. Hava körüğü içindeki hava valf üzerinden atmosfere atılır. Hava körüğü içindeki basıncın düşmesi ve sistemin denge haline ulaşması sağlanır (Orlova ve Boronenko 2006).

Bir havalı körüğün üretim aşamaları genel olarak sırasıyla şu işlemlerden oluşmaktadır. Mikserde kauçuk karışımının hazırlanması, kalenderde iç ve dış kauçukların kalenderlenmesi ve kord iplerinin kaplama işlemlerinin yapılması, konfeksiyon işlemi ile katmanların sarılarak silindirik hale getirilmesi, silindirik yarı mamulün konus bölgelerine çelik tellerin takılması, yüksek sıcaklık ve basınç altında preslerde vulkanizasyon işleminin yapılması ve metal bileşenlerle montaj işlemi yapılarak nihai ürünün elde edilmesidir. Üretimi gerçekleştirilecek olan hava körüğünün yapısı Şekil 2.15’de gösterildiği gibidir.



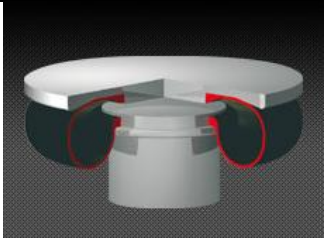
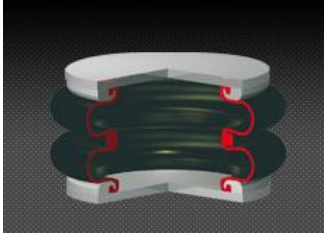

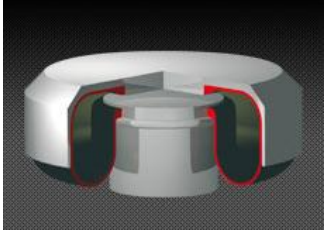
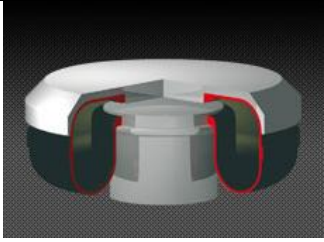
Şekil 2.15. Körük bileşenlerinin görünümü(TS EN 13597, 2004).

Bir raylı sistem taşıtı körüğü farklı bileşenlerden meydana gelmektedir (Şekil 2.15). Bir ikincil süspansiyon körüğünün elastomer bölümü genel olarak; bir iç kauçuk katmanından (3), bir dış kauçuk katmanından (4) ve iç-dış katmanlar arasında yer alan en az iki kat kord bezi katmanından (5) meydana gelmektedir. Elastomer bölüme ait konus bölgelerine (2) ise çelik teller monte (1) edilmektedir. Kord bezi katmanlarına ait kord iplerinin birbirine göre belli bir açıda konumlanması sayesinde körüğün aşırı genişlemesi engellenerek mukavemet sağlanmaktadır.

Kord bezi katmanlarında bulunan kord iplerinin açısı, körüğün genişlemesine dolayısıyla taşıma kuvvetinin belirlenmesinde etkili bir rol oynamaktadır.

Çizelge 2.8’de raylı taşıtlarda kullanılan çeşitli tipte körükler ve bunların özellikleri ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 2.8. Raylı taşıtlarda kullanılan mevcut körük tipleri (http://www.contitech.de/pages/produkte/luftfedersysteme/schienenfahrzeuge/produkte_sekundaer_en.html, 2013).

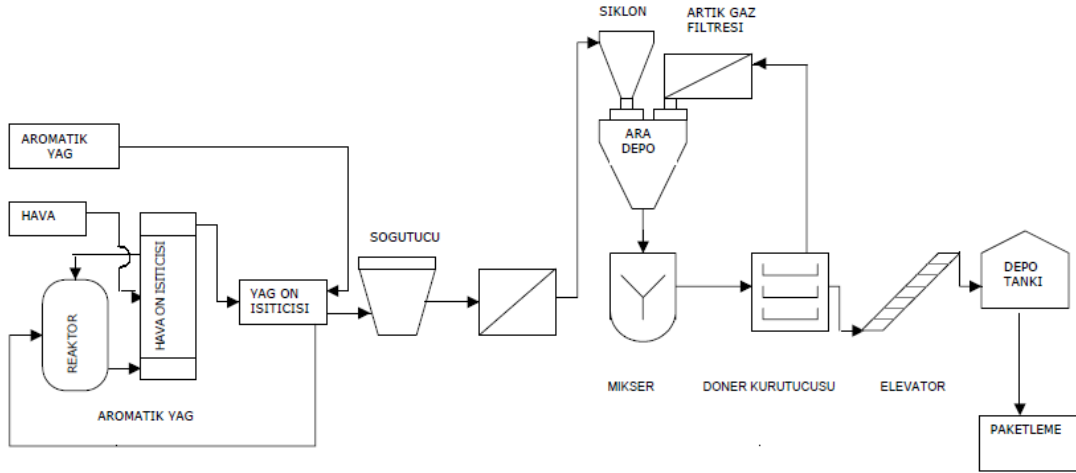
Körük Tipi	Şekli	Açıklama
Roll Körük (Rolling Lobe Air Spring)		Aşırı mekânsal sınırlamaları bulunan bağlantı yerleri ile düşük zeminli boji bulunan tramvay için uygundur.
İki veya Üç Katlı Körük (Double Convoluted Air Spring)		Yüksek kaldırma kapasitesi bu tip körüklerin önemli bir özelliğidir.
Sınırlamasız Körük (Convoluted Air Spring)		Desteksiz bojiler için ekstra yüksek yanal deformasyon kılan, ideal bojili trenlerin yanı sıra modern bojili yüksek hız trenlerinde, kentsel ve metro sistemlerinde kullanılır.
Sınırlamalı Körük (Guided Rolling Lobe Air Spring)		Dış kılavuzu olmayan güdümlü hava yaylı daha yüksek taşıma kapasitesi sağlar, etkili ambient etkilerden (vandalizm) korur; tramvay ve aşırı mekânsal sınırlamaları ile düşük zemin bojileri için uygundur.
Kuşaklı Körük (Belted Air Spring)		Konvansiyonel hava yayları daha yüksek taşıma kapasitesi, özellikle bojiyi desteklemek için tasarlanmıştır.

2.5.5. Hava Süspansiyon Körüğünde Kullanılan Kauçuk Malzemeler

Kauçuk, bitki öz suyundan elde edilen bir liftir. Doğal kauçuk, ağaçların öz suyundan yapılır. Sentetik kauçuk, kimyasal endüstri tarafından yağdan üretilir. Her iki türde çok yönlü maddelerdir.

Yüzlerce yıldan beri, doğal kauçuk, kauçuk ağacına çizikler atmak suretiyle süt halinde akan içindeki öz suyu toplayarak bu suyu kurumaya ve sertleşmeye bıraktıktan sonra çeşitli muamelelerle kullanılarak elde edilmektedir. Kimyadaki gelişmeler sonucu son yıllarda sentetik kauçuklar üretilmeye başlandı. Her yıl üretilen 18 milyon ton kauçuğun 2/3'si sentetik kauçuktur (Anonim 2013. Kauçuk Malzemeler. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kau%C3%A7uk>, Mart 2013).

Şekil 2. 16'da bir kauçuk üretim tesisinin çizelgesi görülmektedir.



Şekil 2.16. Kauçuk üretim tesisinin çizelgesi

(www.dpt.gov.tr/DocObjects/Download/3289/oik612.pdf, 2001).

Kauçuklar çapraz bağlanmamış ama çapraz bağlanabilme özelliğine sahip yani vulkanize olabilen polimerlerdir. Yüksek sıcaklıkta ve deforme edici kuvvetlerin etkisi altında koyu sıvımsı akış özelliği gösterirler. Böylece uygun şartlar altında şekillendirilebilirler.

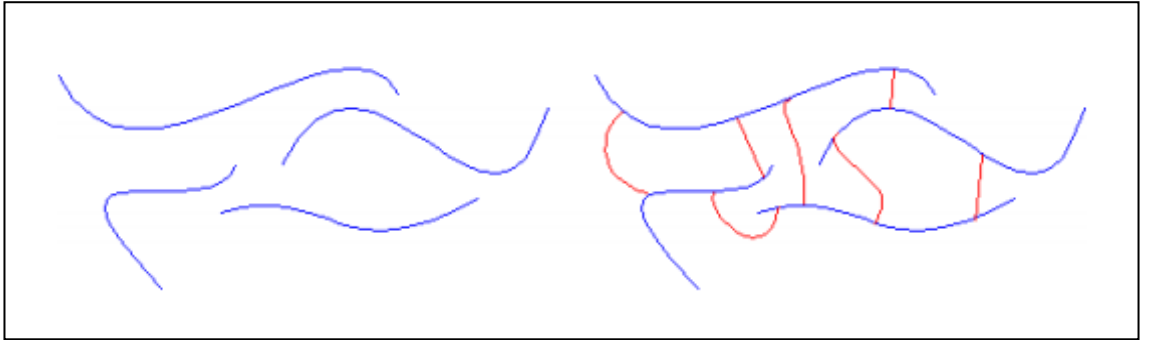
Kauçuklara, kuru toz halinde katılan çok küçük tane boyutlu maddeler, güçlendirici ya da dolgu maddeleri olarak tanımlanır.

Vulkanize edilmiş süspansiyon hamuru, hava süspansiyon körüğünün, kötü yol koşullarında konforlu bir yolculuk sağlaması amacıyla üstün dinamik mukavemet değerlerine sahip olmalıdır.

Çapraz bağlanabilme vulkanizasyon ile gerçekleştirilir. Vulkanizasyon kauçuğun kimyasal yapı değişikliğine uğrayarak (çapraz bağlanma reaksiyonu) ve geri dönüşümsüz olarak elastik özelliklere sahip bir duruma getirilmesi işlemidir (Savran 2001).

Vulkanizasyon öncesi yüksek plastik özellikler, vulkanizasyon sonrası, yerini yüksek elastik özelliklere bırakır.

Aşağıdaki ilk şekilde çapraz bağlanmamış, ikincisinde çapraz bağlanmış bir polimer molekülü görülmektedir. Çapraz bağlanan polimerde, polimer zincirleri birbirlerine daha kuvvetli bağlanmıştır (Kırmızı çizgiler çapraz bağları göstermektedir).



Şekil 2.17. Çapraz bağlanmış polimer yapısı (Savran 2001).

Vulkanize olmamış ve vulkanize olmuş bir kauçuğun özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz.

Vulkanize olmamış		Vulkanize olmuş
Yumuşak		Sert
Yapışkan		Yapışkan olmayan
Düşük mukavemet		Yüksek mukavemet
Yüksek kalıcı deformasyon	→	Düşük kalıcı deformasyon
Çözünme		Çözünmez yada az çözünür
Isıdan etkilenme		Isıdan az etkilenme
Termoplastik özellikler		Elastik özellikler

Akademik alanda yapılan çalışmalarda genellikle iki grup yayın karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan bir kısmı raylı taşıtların çeşitli serbestlik derecelerinde (4, 6, 19, 22 serbestlik dereceli gibi) modellenmesi, benzetim çalışmalarının yapılması, sistem davranışının iyileştirilmesi ve bu sistemlerin denetiminin yapılması şeklindedir. Diğer bir kısmı ise raylı taşıtların süspansiyon sistemlerinin incelenmesi, tasarımı, benzetimi ve süspansiyon davranışının iyileştirilmesi yönündedir. Raylı taşıtlarda kullanılan süspansiyon sistemleri üzerine yapılan çalışmalar yarı aktif ve aktif süspansiyon sistemleri olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Üretilecek hava körüğü yarı aktif süspansiyon sisteminin bir parçası olduğu için daha çok yarı aktif süspansiyon sistemleri incelenmiştir. Raylı taşıtlar haricindeki araçların süspansiyon sistemleri üzerine de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Literatür araştırması kapsamında bu tür yayınlar da incelenmiştir. Ancak konumuz raylı taşıtlar olduğu için çalışmada daha çok raylı taşıtlar ve yarı aktif/aktif süspansiyon sistemleri ile ilgili çalışmaların özetine yer verilmiştir.

Sistemlerin modellenmesinde MATLAB/Simulink, FEM programları (Ansys vb.), ADAMS ve SimPack gibi çeşitli yazılımların kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu programlar yardımıyla sistemlerin zaman alanı ve frekans cevabı davranışları ve tasarım parametreleri incelenmiştir.

Yapılan literatür çalışmasında incelenen eserlerden bazılarının özetleri aşağıda sunulmuştur.

Karnopp ve ark. (1974), yarı aktif üretici kullanarak titreşim denetimin incelemiştir. Karnopp ve ark. yarı aktif sistemi titreşen sistemden gelen geri besleme sinyaline cevap verebilen ve sistemdeki titreşimi azaltmak için ek bir güç kaynağına ihtiyaç duymayan bir çeşit kuvvet üretici olarak tanımlamışlar. Yaptıkları çalışmada yarı aktif sistemleri tanımlamışlar. Benzetim çalışmalarında da pasif ve aktif sistemlerle karşılaştırmışlar, sistemleri zaman ve frekans cevabı üzerinden değerlendirmişlerdir.

Cai (1992), demir yolu yapısında oluşan düşey dinamik tepkilerin ve tekerlek ray etkileşimlerinin incelenmesine yönelik bir teorik bilgisayar hesap modeli geliştirmiştir. Yol için Bernoulli-Euler ve Timoshenko kiriş yöntemlerini kullanarak yol modelleri oluşturmuş. Tekerlek-ray etkileşimi için ise 4 serbestlik dereceli bir taşıt modeli oluşturmuştur.

O'Neill ve Wale (1994), yarı aktif süspansiyon sistemlerinin demir yolu taşıtlarında uygulamasını ele almışlardır. Demiryolu taşıtlarındaki araştırmaların artarak devam ettiğini vurgulamışlar ve bu araştırmaların genellikle hız ve konfor üzerinde yoğunlaştığını belirtmişlerdir. Özellikle konfor için aktif süspansiyon sistemine doğru kayması gerektiğini öne sürmektedirler. Yarı aktif süspansiyon sisteminin demiryolu taşıtları için daha uygun olduğunu tam aktif sistemlere göre daha basit yapıda olduğunu ve bu nedenle daha güvenilir bir sistem olduğunu ve de bakımının daha kolay olduğunu ileri sürmektedirler.

Dong (1994), doktora tezinde demir yolu taşıtları ve yol arasındaki dinamik etkileşimleri incelemek üzere taşıt-yol sistemine ait kapsamlı bir sonlu elemanlar

modeli geliştirmiştir. Taşıt, toplu kütle sistemi olarak, yol ise Timoshenko kirişi şeklinde modellenmiştir.

Tang (1996), demir yolu yolcu taşıtlarında pasif ve yarı aktif süspansiyon sistemlerinin performansını teorik ve deneysel olarak incelemiştir. alışmasında klasik ve modern denetim teorilerinden yararlanmıştır. Yarı aktif süspansiyon sistemini deneysel olarak gerçeklemiş ve çeyrek taşıt test düzeneği üzerinde sürüş şartlarının %29 oranında iyileştiğini ne srmştir. Tam taşıt modelini bilgisayar ortamında teorik olarak ele almış ve bu durumda da sürüş şartlarının %20 oranında iyileştiğini göstermiştir.

Goodall (1997), aktif demiryolu süspansiyon sistemlerini, temel kavramları ve dünyadaki önemli pratik uygulamaları geniş kapsamlı olarak incelemiştir. Teknolojik olanakları gözden geirmış uzun vadede sistemin gidişatını değerlendirmiştir.

Karayel ve Erel (1997), raylı taşıtlarda süspansiyon sistemlerinin performans analizine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, mevcut alt ve üst yapı şartları altında arzu edilen hız ve konfor isteklerine en iyi cevap verebilecek taşıt tasarımı ve mevcut taşıtlarda yapılması gereken değişiklikler hedeflenmiş, süspansiyon sisteminin optimum tasarımı ve aktif süspansiyon sisteminin mevcut sisteme adaptasyonu üzerinde çalışılmıştır.

Stribersky ve ark. (1998), demiryolu taşıtlarında kullanılan yarı aktif süspansiyon sisteminin geliştirilmesini ele almışlardır. Sistemin denetimi ile yolcular için sürüş konforu iyileştirilmiştir. Sistemin tasarımı ve hidrolik sönümleyici açıklanmıştır. Demiryolu taşıtlarının karmaşık benzetim sonuçları değerlendirilmiştir. Prototip yarı aktif süspansiyon sisteminde elde edilen kuvvetler incelenmiş ve benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Prototip sistem gerçek taşıta adapte edilip sürüş kalitesinin %15 oranında iyileştiği ne srlmştir.

Stribersky ve ark. (1998), yolcu trenlerinde süspansiyon sisteminin denetimini ele almışlardır. Taşıtın dinamik davranışını iyileştirmek için tümleşik denetim yöntemini kullanmışlar ve farklı kontrol algoritmaları uygulamışlardır. Sistemi modellemişler ve

benzetim sonuçlarını detaylı olarak değerlendirmişlerdir. Dinamik davranışın benzetim sonuçlarını doğrulamak için sistem üzerinde deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir.

Li, Goodall (1999), raylı taşıtlar için aktif süspansiyon sistemlerinde Sky-Hook sönümleme kontrol uygulaması yapmışlardır. Kalman filtre uygulaması geliştirilip, hem düşey hem de yatay yönde ikincil süspansiyonlara uygulanabilir niteliktedir.

Li ve Goodall (1999), demir yolu taşıtlarında aktif süspansiyon sistemlerinde farklı kontrol stratejilerini ele almışlar ve bunları karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Sistem üzerinde doğrusal ve doğrusal olmayan denetim tekniklerini uygulamışlardır. Doğrusal denetim yöntemleri ile sürüş kalitesi yaklaşık %23 oranında iyileştirilirken doğrusal olmayan denetim yöntemleri ile bu oran %50' nin üzerine çıkmıştır.

Erzan (2000), Topçu ve ark. (2002), çalışmalarında taşıtlarda kauçuk takoz sistemlerinin yerine alternatif olarak kullanılacak aktif takoz sistemlerini incelemişlerdir. Çalışmada bu takoz sistemini elektro hidrolik bir sistem olarak tasarlamışlar ve bu sistemin analizi ve denetimi üzerine çalışmışlardır.

Mastinu ve ark. (2000), çalışmalarının ilk bölümünde demiryolu taşıtlarının dinamik davranışını elde etmek için iki serbestlik dereceli bir model kullanmışlardır. Ele alınan modelin tasarımın başlangıcında ve daha sonrasında özel uygulamalar için kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir. Çalışmalarının ikinci bölümünde ise demiryolu taşıtlarının dinamik davranışını iyileştirmek için bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Çok amaçlı programlamayı temel alan bu yöntemin genel amaçlı olduğunu ve çok sayıda mühendislik alanında kullanılabileceğini vurgulamaktadırlar.

Foo ve ark. (2000), demiryolu taşıtları süspansiyon sistemi için Sky-Hook sönümleyici kullanan klasik denetim yöntemlerini incelemişlerdir. Bu denetim için taşıt üzerine hidrolik ve elektromanyetik eyleyiciler yerleştirmişlerdir.

Sasaki (2000), tren sürüş kalitesini iyileştirmek için yarı aktif süspansiyon sistemi geliştirmiştir. Yarı aktif süspansiyon sisteminin efektif olarak çalışması için sistem üzerine ilave edilebilecek, değiştirilebilir bir damper geliştirmiş ve bu damperi sistem

ile birlikte test etmiştir. En iyi performansın bu şekilde elde edildiğini göstermiş ve sistemin denetimini gerçekleştirmiştir.

Şengirgin ve ark. (2000), pasif ve yarı aktif süspansiyon sistemlerinin çeyrek taşıt modeli üzerinden hareket denklemleri elde ederek MATLAB-SIMULINK programı yolu ile sistemin benzetimini yapmışlardır. Değişik yol uyarıları sonucunda taşıtın seyir emniyeti ve konfor durumunu araştırarak, pasif ve yarı aktif süspansiyon sistemlerinin titreşim yalıtım performansını karşılaştırmalı olarak incelemiştir.

Mei, Li ve Goodall (2001), aktif kontrolörlü raylı taşıt süspansiyonları için Kalman filtresi uygulaması geliştirmişlerdir. Kalman filtresi, çeyrek taşıt modelinde durum değişkenlerinin tahmini için kullanılmıştır.

Knothe (2001), dinamik yol modelleri, taşıt yol etkileşimleri, titreşim problemleri ve taşıt yol dinamiği konusunda ilgili frekans aralıkları ile çeşitli yol modellerine ilişkin hesap yöntemlerini anlatan kapsamlı bir kitap yazmıştır.

Esveld (2001), modern demir yolu yapılarına ilişkin, yol geometrisine, tekerlek yol etkileşimlerine, yolun düşey ve yanal stabilitesi ile beraber dinamik ve statik analizlere yer veren kapsamlı bir kitap yayınlamıştır.

Broeck (2001), ise Belçika'da raylı sistemlerden kaynaklanan titreşimlerin tahmini için sayısal bir model sunmuştur. Bu çalışmada yol ve taşıt davranışını ifade etmek için sonlu elemanlar hesap yöntemi kullanılmıştır.

Qualia ve ark. (2001), yardımcı tanklı pnömatik bir süspansiyon sisteminin boyutsuz modellenmesini ve tasarımını incelemiştir. Süspansiyon sistemi basıncı yüksekliğe göre değiştirilebilen sistemde yaylılık karakteristikleri yay, yardımcı tank ve orifis yardımıyla ayarlanmaktadır. Çalışmada çeyrek taşıt modeli üzerinden her bir kısma ait temel denklemler elde edildikten sonra sırasıyla doğrusal olmayan modelin, doğrusallaştırılmış ve boyutsuzlaştırılmış modellerin dinamik analizleri yapılmıştır.

R. Toprak ve ark. (2002), raylı taşıt sistemlerinde gürültünün sebeplerini ve çevresel etkilerini incelemişlerdir.

Topçu ve ark. (2002), yarı aktif, aktif süspansiyon sistemlerini tanıtmışlar ve bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar hakkında bilgi vermişlerdir. Daha sonra bulanık mantık denetim algoritmasıyla denetlenen aktif süspansiyon sistemine sahip bir araç modelinin pasif sisteme sahip bir araç modeliyle karşılaştırmasını yapmışlardır.

Jalili (2002), yarı aktif titreşim denetim sistemlerinin karşılaştırmalı analizi üzerine çalışmıştır. Yarı aktif titreşim denetim birimi tasarımı ve imalatı için gerekli teorik işlemleri, son yıllardaki gelişmeleri ve denetim tekniklerini incelemiştir. Araç süspansiyon sistemi üzerinde de çeşitli pratik çalışmalar yapmıştır.

Tanijufa ve ark. (2002), Japonya'daki demiryolu taşıtlarındaki mekatronik teknolojisini sürüş, süspansiyon, yana yatma, dümen mekanizması ve fren uygulamaları olmak üzere çeşitli kategorilerde araştırmışlardır. Yarı aktif ve aktif süspansiyon sistemlerini incelemişlerdir.

Lei ve Node (2002), yaptıkları çalışmada taşıt ve yol sistemi için sonlu elemanlar metodu ile dinamik hesaplanabilir bir model geliştirmişlerdir. Nümerik olarak yol ve taşıt çifti iki kısma bölünmüştür. Taşıt üst bölümü, yol ise alt bölümü oluşturmaktadır. Üst kısımda yay ve sönümleme sisteminden oluşan yuvarlanan kütle bulunup, taşıtın düşey ve yuvarlanma hareketini kapsamaktadır. Alt sistem olan yol ise, sonlu kirişler ve çift tabakalı sürekli elastik temelden oluşmaktadır.

Presthus (2002), çalışmasında hava yay sistemi için üç boyutlu, yatay ve düşey hareketi tanımlayan yeni bir model geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. GENSYS isimli taşıt dinamiği modelleme programını kullanmış ve çalışmalarını deneylerle desteklemiştir.

Li ve Mei (2002), tekerleklerin dümenleme sistemi için durum tahmini gerçekleştirmişlerdir. Katı akslı tekerleklerin temel karakteristikleri açıklanarak, aktif dümenlemenin potansiyel yararları tartışılmıştır.

Mei ve Goodall (2003), raylı taşıtta birbirinden bağımsız dönebilen tekerleklerin dümenleme kontrolünü, hıza uyumlu basit bir kontrol yapısı ile gerçekleştirmişlerdir.

Kırışık ve Yüksel (2003), ise demir yolu yapısının dinamik modelini incelemişlerdir. Bu çalışmada yol yapısı; travers, balast ve zemin etkisi dikkate alınarak, kütle, yay ve sönümleyicilerden oluşan ayrı bir sistem olarak modellenmiştir. Ray, Bernoulli- Euler kirişi olarak düşünülmüş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yol modeline katılmıştır. Tren ise sabit hızla hareket eden bir kuvvet olarak kabul edilerek yol titreşimleri için örnek sayısal sonuçlar sunulmuştur.

Gardien ve Stuil (2003), üç alt modelden oluşan modüler bir model kullanmıştır. Bu üç alt model; statik yer değiştirme modeli, ray modeli ve yayılma modelidir. Bu çalışmada bir Japon metrosu modellenmiştir.

Tabak(2003), ise raylı taşıt titreşimlerinin kontrolüne yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, dört akslı bir tren modelinin gövde hareketlerinin incelenmesi için 6 serbestlik dereceli nonlinear tren modeli kullanılmıştır.

Yılmaz (2004), ise demir yolu üst yapısını bütün tipleriyle tanıtmış, genel olarak titreşim analizinden bahsetmiştir. Taşıt-yol etkileşim problemlerini incelemek amacıyla, yol ve taşıt-yol etkileşimi modellerini ele almış ve çözüm teknikleri sunmuştur. Standart yol modellerinden en uygun iki model seçilerek taşıt-yol etkileşimi problemi analitik olarak çözülmüştür.

Nishimura ve ark. (2004), yüksek hızlı demiryolu taşıtları için süspansiyon sistemlerinin tasarımında boyutların, sürüş kalitesinin, güvenliğin ve maliyetin eşzamanlı olarak düşünülmesi gerektiğine dikkat çekmişlerdir. Çalışmalarında belirtilen parametreleri optimum düzeyde sağlayacak dört basamaklı bir tasarım stratejisi geliştirmişlerdir.

Yağız ve Gürsel (2005), esnek gövdeli bir raylı taşıt modeline aktif süspansiyon sistemi uygulanmıştır. Bu çalışmada, Kayan Kipli Kontrol metodu kullanılarak, esnek gövdeli raylı sistem taşıtının sürüş konforunu geliştirmek için kontrolör tasarımı yapılmıştır.

Liu ve ark. (2005), dört farklı yarı aktif sönümlenme denetim stratejisinin titreşim yalıtım karakteristiklerini incelemişlerdir. Tek serbestlik dereceli sistem çeşitli uyarılara maruz bırakılmıştır ve cevabı incelenmiştir. Sistemler pasif ve ideal Sky-Hook damper sistemi ile karşılaştırılmıştır. Yarı aktif sistemin yüksek frekanslarda her zaman pasif sistemlerden iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Li, Goodall (2006), raylı taşıt süspansiyon parametrelerini tahmini üzerinde çalışmışlardır. Burada da parametre tahmini için, basitleştirilmiş bir raylı taşıt dinamik modeli türetilerek, yeni geliştirilmiş bir metot olan Rao-Blackwellized partikül filtre (RBPF) temelli bir metot kullanılmıştır. Rastgele bozucu yol etkisi altında değişik sensör konfigürasyonları ile yapılan parametre tahminlerine ait performanslar karşılaştırılmıştır.

Zolotas ve Pearson (2006), raylı taşıt bojisi için aktif kararlılık kontrolü gerçekleştirilmiştir. Gövde dinamiği, yazılım programı olan SIMPACK ile detaylı nonlinear bir model kurularak, simülasyon ve kontrol uygulamaları bu model üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Mei ve Goodall (2006), mutlak katılık konsepti üzerine oturtulan bir strateji ile raylı taşıt bojisi kararlılığı için yeni bir kontrol metodu geliştirmiştir. Bu metotta, tekerlek üzerine yerleştirilmiş özel yay kullanılmıştır. Bu yay, Sky-Hook yayı ismi ile anılmaktadır.

Yang ve ark. (2006), yüksek hızlı raylı taşıtlar için yanal yarı aktif denetim sistemi kurulması ve denetlenmesi ile ilgili çalışmışlardır. Pasif sistemle geliştirdikleri sistemi karşılaştırmışlardır. Yanal ve dikey harekette ve ivme değişimlerinde önemli oranda iyileşmeler elde etmişlerdir.

Suda ve ark. (2006), hava süspansiyonuna sahip bir raylı taşıtın viraj alma karakteristiklerini incelemişlerdir. Hava süspansiyonlarının bazı zamanlarda viraj geçişlerinde tekerleğin yükünün azalmasına sebep olduklarını, bunu da güvenlik açısından problem teşkil ettiğine dikkat çekmişlerdir. Yaptıkları çalışmada yeni bir

tasarımla bu durumu sınırlayabildiklerini ifade etmişlerdir. Bu yeni düzeneğin benzetim ve deneysel çalışmalarını yapmışlar ve denetim sistemini sunmuşlardır.

Metin ve ark. (2007), altı serbestlik dereceli bir raylı taşıt sisteminin titreşimlerinin aktif denetimini bulanık PID yordamını kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarının sonunda aktif ve pasif sistemlerin titreşim genliklerini, ivmelerini zaman ve frekans alanında irdelemişlerdir.

Codecà ve ark. (2007), çalışmalarında ikincil tren süspansiyonlarının yarı aktif denetimini incelemişlerdir. Trenlerde yanıl konforun iyileştirilmesi için yarı aktif denetimden yararlanmışlardır. Çalışmada dört farklı sistemin tasarımı ve test edilmesi hedeflenmiştir. Tasarlanan yarı aktif eyleyici elektro-hidrolik bir damper olup dört farklı seviye için tanımlanmıştır.

Liu ve ark. (2008), iki adet denetlenebilir sönümleyiciye sahip değişken yaylılık katsayılı ve sönümlemeli bir sistem üzerinde çalışmışlardır. Yaylılık katsayısını sönümleme katsayısını değiştirerek denetlemişlerdir. Bu sebeple ele aldıkları sistemin basit ve pratikte kolay uygulanabilir olduğunu ifade etmişlerdir. 6 farklı denetim şeması üzerinde çalışmışlardır. Deneysel olarak MR sönümleyici kullanarak sistemi gerçekleştirmişlerdir. Deneysel ve teorik çalışmalardan hedeflenen denetim yordamının titreşim yalıtımında iyi bir performans gösterdiği belirtilmiştir. Sinusoidal, darbe ve rastgele girişlere karşı sistemin frekans ve zaman alanı cevapları incelenmiştir.

Nieto ve ark. (2008), deneysel tanımlamaları temel alan hava yaylı bir süspansiyon sisteminin analitik modeli üzerinde çalışmışlardır. Hava yayı, yardımcı tank ve bağlantı borusundan oluşan bu süspansiyon sisteminin hem analitik doğrusal olmayan akışkan dinamik modeli hem de sistemin doğrusallaştırılmış modeli üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Rijitlik, sönümleme faktörü vb. durumlar için teorik çalışmaların deneysel çalışmalarla uyum içinde olduğunu görmüşler ve sistem eleman boyutlarının sistem üzerindeki etkilerinin analizini yapmışlardır.

Sihong ve ark. (2008), termodinamik ve akışkanlar mekaniğini kullanarak hava yayının, yardımcı tankın ve orifisin dinamik denklemlerini kurmuşlardır. Daha sonra yardımcı

tanklı bu hava yay sisteminin dinamik yaylılığının belirlenmesi için model geliştirmişlerdir. Hava yayı dinamik yaylılık katsayısının hava yayı yer değiştirmesine bağlı olarak hava yayı etkin alanından, hacim ve kütle değişiminden etkilendiğini belirterek, elde edilen sonuçları deneysel çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Benzetim çalışmalarını Matlab/Simulink programında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında hava yayı basıncı, orifis boyutları, titreşim frekansı, genliği, yardımcı tankın hacminin yaylılık katsayısı üzerindeki etkilerini detaylı olarak incelemişlerdir.

Oman ve ark. (2009), hava süspansiyon körüklerinde kullanılan kauçuk malzemelerden çıkarttıkları numunelerin farklı test sıcaklıklarında sürtünme, gerilme gevşemesi ve tekrarlı testlerini gerçekleştirmişlerdir.

Yu ve ark. (2009), Araçlarda kullanılan hava süspansiyon sistemleri için kendi ayarlamalı bulanık mantık denetim yordamı geliştirilmesini incelemişlerdir. Sistemin ve denetim yordamının modelini elde ederek pasif, bulanık mantık ve kendinden ayarlamalı bulanık mantık yordamlarını karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır.

Güçlü ve ark. (2009), İstanbul trafiğinde kullanılan hafif raylı taşıtların oluşturduğu titreşim hareketini bulanık mantık denetim yordamını kullanarak denetlemeyi hedeflemişlerdir. İncelenen hafif raylı sistemin 22 serbestlik dereceli yarım taşıt fiziksel modeli elde edilmiş ve titreşim analizini yapabilmek için diferansiyel denklemleri çıkarılmıştır. Hazırlanan modelde gerçek sistem verileri kullanılmış, zaman ve frekans cevabı incelenmiştir. Sistemin ivme ve yer değiştirme davranışını iyileştirmek için aktif süspansiyon sistemi bulanık mantık denetim yordamı ile denetlenmiştir.

Mellado ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada demiryolu taşıtlarında kullanılacak bir aktif süspansiyon sistemini incelemişlerdir. Demiryolu taşıtlarındaki geleneksel boji üzerine çeşitli elemanlar ekleyerek ve pnömatik teknolojisini kullanarak oluşturdukları sistem üzerinde oluşturulan pnömatik sistem ve merkezleme stratejisi irdelenerek, konvansiyonel sistemlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada ikincil süspansiyonun yanal yer değiştirmesi, yalpalama açısı ve yanal ivmelenme performanslarında geliştirilen sistem için oldukça iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Gavriloski ve ark. (2010), hava yaylarının gaz basıncının değiştirilmesi ile sistemin yük kapasitesinin kolayca değiştirilebileceğini belirtmişlerdir. Bu şekilde değişken bir yay katsayısı elde edebilmesi sebebiyle bu elemanların süspansiyon sistemlerinde kullanılabilme olanaklarına dikkat çekmişlerdir. Çalışmalarında sistemin rijitlik katsayısının frekans bağımlı olduğunu ve oluşturdukları modele bu özelliği de dâhil ederek incelemişlerdir. Benzetim çalışmalarını deneysel çalışmalarla desteklemişlerdir.

Yang ve ark. (2010), otobüslerde kullanılacak bir yarı aktif hava süspansiyonunun bulanık adaptif PID denetimini incelemişlerdir. Çalışmalarında çeyrek taşıt modeli üzerinden sistemin dinamik davranış denklemlerini elde etmişlerdir. Bu sistem için bulanık mantık adaptif PID denetleyici tasarlamışlardır. Benzetimini yaptıkları sistemi gerçek zamanlı deneylerini de gerçekleştirmişlerdir. Pasif, PID ve bulanık adaptif PID yordamlarına sahip üç sistemin performanslarını ivme, yer değiştirme ve dinamik yükler açısından birbirleriyle karşılaştırmışlardır.

Durmuş ve ark. (2010), kauçuk-metal burçlarda kullanılan doğal kauçukların sertliğindeki değişimin ve burç çaplama işleminin kopma mukavemetine etkilerini araştırmışlardır. Başka bir çalışmada vulkanizasyon işlemi sırasında kauçuğun metale yapışma dayanımı üzerine çalışılmış ve metaldeki yüzey pürüzlülüğünün yapışma dayanımına etkisi araştırılmıştır (Durmuş ve ark. 2005).

Oman ve ark. (2010), hava süspansiyon körüklerinde kullanılan kauçuk malzemelerden çıkarttıkları numunelerin farklı test sıcaklıklarında sürünme, gerilme gevşemesi ve tekrarlı testlerini gerçekleştirmişlerdir.

Colette ve ark. (2010), bir araç süspansiyon sistemindeki yarı aktif Sky-Hook denetim yordamı tarafından üretilen yüksek frekanslı uyarıların etkilerini incelemişlerdir. Çeyrek taşıt modelini kullanarak düşük frekanstan yüksek frekansa geçen bir enerji transferi yapısı kurmuşlardır. Denetleme kuvvetinin düzgün değişimi için yeni bir yordam geliştirmişlerdir. Yarı aktif Sky-Hook denetimli sistemle karşılaştırıldığında benzer gövde rezonans sönümlenme karakteristiği vermektedir. Ancak yüksek frekanslarda daha iyi yalıtım ve konfor sağlamaktadır.

Alfi ve ark. (2011), çalışmalarında mekatronik teknolojisinin gün geçtikçe demiryolu araçlarına da uygulanmaya başladığını belirterek yolcu güvenliği ve sürüşü açısından aktif ikincil süspansiyon sistemlerinin önemine dikkat çekmiştir. Yaptıkları çalışmada yüksek hızlı demiryolu araçlarındaki pnömatik ikincil süspansiyon sistemlerinin aktif denetim stratejisini deneysel ve teorik çalışmalarla incelemişlerdir. Aktif hava yaylı süspansiyon sisteminde açık ve kapalı döngü denetim stratejilerini kullanarak araca yandan gelen kuvvetlere ve devrilme gibi olaylara karşı güvenliği, konforu arttırmayı hedeflemişlerdir.

Sayyadi ve ark. (2009, 2011), demir yolu araçlarında iyi bir konfor sağlamak için kullanılan hava yaylarının iyi bir yalıtım aracı olduğunu belirterek doğrusal olmayan termodinamik havalı süspansiyon sistemleri üzerine deneysel ve teorik çalışmalar yapmışlardır. Gövdeyi, iki bojiyi ve dört aksı içeren çok serbestlik dereceli demir yolu aracını incelemişlerdir. Çalışmalarında hava tankı hacminin, bağlantı borularının uzunluğunun ve çapının sistem davranışı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yolculuk konforunu iyileştirmek için modellenen demir yolu aracının süspansiyon parametreleri sürüş konfor indeksini minimize edilmesini sağlamışlardır.

Sezer ve ark. (2011), çalışmalarında 54 serbestlik dereceli tam raylı taşıt modelini çıkarmışlar ve matematik modelini oluşturmuşlardır. Ayrıca tekerlek-ray temas probleminin de sonlu elemanlar yöntemi ile analizini yapmışlardır. Dinamik analiz Matlab/Simulink programını kullanarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen modeli kullanarak vagon gövdesi ve bojiler arasına yerleştirilmiş aktif süspansiyon sistemlerinin bulanık mantık denetim yordamı ile denetimini incelemişlerdir. Bu şekilde yanal ve iki dikey sinusoidal titreşimlere karşı sistemin yalıtım davranışı araştırılmıştır. Sistemin zaman ve frekans cevabı elde edilmiş ve pasif sistemle karşılaştırılarak sunulmuştur.

Yang ve ark. (2011), yüksek hızlı raylı taşıtların yarı aktif denetiminde sinir ağları-PID denetimi yaklaşımını yanal davranış açısından incelemişlerdir. Doğrusal olmayan bu sistemin çeyrek taşıt modeli kurulmuş ve yarı aktif süspansiyon sistemi üzerinde PID ve sinir ağları-PID denetleyici içeren iki sistem sırasıyla kurulmuştur. Yapılan çalışmada

sinir ağırları-PID denetleyiciye sahip sistemin aracın kararlılığını oldukça iyi düzeyde iyileştirdiği belirtilmiştir.

Li ve ark. (2011), yarı aktif süspansiyon sisteminde kullanılacak hava yayının mekanik karakteristiklerinin analizi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada hava yayının fiziksel modeli ve doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli kurulmuştur. Deneysel ve sonlu elemanlar modelinin karşılaştırılması yapılmış ve iyi bir uyum gözlenmiştir.

Sun (2011), çalışmasında hava yayının dikey yaylılığının analizini yapabilmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır. Çalışmasında lastik bir hava yayını örnek olarak Ansa ve Abaküs programlarını kullanarak analiz yapmıştır. Elde ettiği sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmış ve dikey yaylılığın hesabında ve lastik hava yayının şişirme işleminin benzetiminde verimli bir şekilde kullanılabileceğini belirtmiştir.

Orvnas ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada aktif ikincil süspansiyona sahip bir raylı taşıtta H_{∞} ve Sky-Hook sönümlenme denetim etkilerinin kullanılmasının yanıl sürüş konforu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Araç modeli olarak tam araç modelini kullanmışlardır. Benzetim çalışmalarında Simpack programının kullanmışlar ve pasif sistemle aktif sistemin davranışlarını karşılaştırmışlardır. Ayrıca taşıtın yanıl ikincil süspansiyon sisteminde Hold-Off-Device (HOD) adını verdikleri bir düzeneikle aracın yüksek hızda seyrederken virajda ki davranışını iyileştirmeyi hedeflemişlerdir (Orvnas 2010). Yaptıkları çalışmayı İsveç'te belirlenen güzergâhlarda 2007 ve 2008 yaz aylarında denemişler, geliştirdikleri HOD sistemi ile sürüş konforunun önemli oranda düzeltilebildiğini belirtmişlerdir.

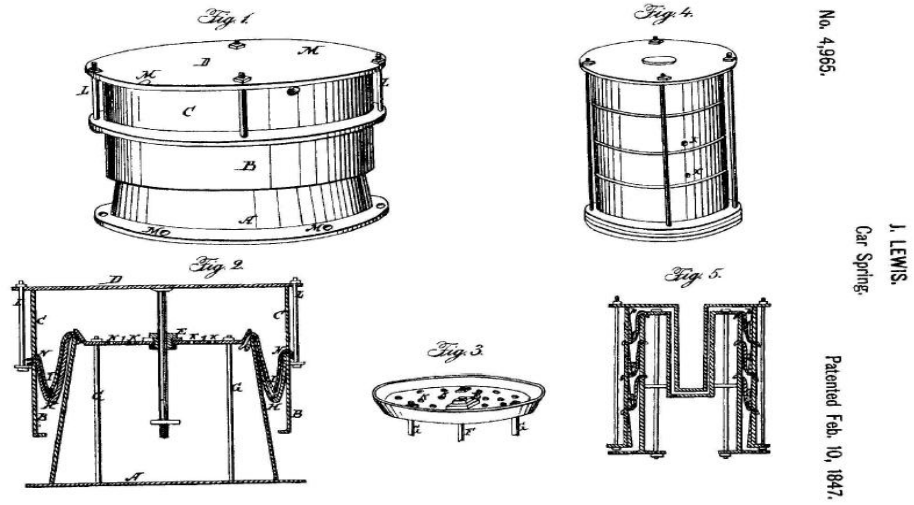
Dikmen ve ark. (2011), çalışmalarında raylı taşıt sisteminin 19 serbestlik dereceli tam araç modeli üzerinden titreşim davranışını incelemişlerdir. Raylı taşıt gövdesinin, ön ve arka bojilerin yanıl ve dikey kuvvetleri, yer değiştirmeleri, yalpa, kafa vurma ve dönme momentleri, açısal yer değiştirmeleri hıza bağlı olarak sönümlenme karakteristikleriyle beraber incelemişlerdir.

Yapılan tüm bu raylı taşıt-yol sistemine ait modellemeler ile üzerindeki çeşitli incelemelerin yanı sıra, bu sistem üzerinde oluşan titreşimlerin aktif kontrolüne yönelik

yapılmış önemli çalışmalarda mevcuttur. Bunlardan bazılarını, Avrupa Ray Araştırma İstişare Konseyi (ERRAC) ve aynı zamanda (IFAC) Mekatronik Sistemler Teknik Komitesi üyesi olan Roger M. Goodall ve ekibi gerçekleştirmiştir. Roger M. Goodall'ın genel olarak raylı taşıt tekerleği aktif dümenleme kontrolü, raylı taşıt aktif yalpa kontrolü ve aktif boji kontrolü konularında çok sayıda araştırması mevcuttur.

Raylı taşıtlar her ne kadar karayolu taşıtlarından farklı özelliklere sahip olsa da titreşimlerinin kontrolü temel olarak karayolu taşıt titreşimlerinin kontrolüne benzemektedir. Bu nedenle, taşıt titreşimlerinin kontrolüne yönelik özellikle otomotiv sektörünün gelişmesiyle bu alanda birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan da yararlanmak mümkündür.

Hava süspansiyon körüklerinin geçmişi 1847 li yıllara dayanmaktadır. O günden bu yana bu alanda birçok araştırma ve çalışma yapılmıştır. Yapılan bu araştırmaların birçoğu da patentli olarak tescil edilmiştir. Hava süspansiyon körüklerinin ilk temellerini Thomas Edison atmıştır. Daha sonra Charles Goodyear kauçukları kükürtle sertleştirme yöntemini bulmuştur. Mucit John Lewis ise ilk hava süspansiyon körüğünü üretip patentini almıştır (U.S. Patent No 4,965 Pneumatic Springs for Rail Road Cars, Locomotives, Burden- Cars, Bumpers) (Şekil 2.18). Ama bu icat lastik teknolojiden önce oldu. Fakat ikinci dünya savaşından sonra naylon kord bezi ve sentetik kauçuk elastomerler dâhil olunca polymerler o kadar başarılı olamamıştır (www.espacenet.com, Patent araştırma veri tabanı).



Şekil 2.18. John Lewis tarafından bulunmuş ve patenti alınmış ilk hava süspansiyon körüğü (www.espacenet.com, Patent araştırma veri tabanı).

Lonnie K. Woods, Lindsay Michelle, Alpine, Calif, James M Hamilton, Clover, Irvine tarafından 4,468,739 numaralı Amerika patenti (1984). Bilgisayar kontrollü ve yaylı araç süspansiyon sistemi, çok çeşitli sürüş koşulları altında sürüşü optimize eder. Kombine bir şok emici/hava yayı ünitesi tekerlek ile araç gövdesi arasına bağlanmıştır. Bir şok emici, bilgisayara şok emicinin içinde bulunan pistonun durumunu gösteren sinyalleri gönderen bir hidrolik sensör içerir. Bilgisayar, bu sinyalleri, basıncı kontrol edip hidrolik basınç regülâtörlerini arzu edilen sürüş ve hâkimiyeti sağlayacak şekilde kullanmak üzere değerlendirir. Hava yayı da, aynı serilerde şok emicilerle birlikte aynı dingile basınç ve geri tepme için bağlanabilir. Basınç sensörleri ve hava basıncı giriş çıkış vanaları, istenen yaylanma derecesini sağlamada basıncı ayarlamak için bilgisayara bağlanmıştır (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

The Goodyear Tire & Rubber Company, Akron, Ohio firmalarına ait 5,253,580 numaralı Amerika patenti(1993). Bu icat hava süspansiyon körüğünde gömleğe olan akışkan basıncı, gergi metotları ve onların organları ile ilgili yapılan bir çalışmadır.

Bu icatta yapılan yenilikler;

- Hava süspansiyon körüğünde kullanılan ve akışkanı içinde barındıran gömlek kükürtle sertleştirilerek akışkan basıncına karşı daha rijit bir yapı elde edilmiştir.
- Gömleğin uç kısmında akışkan sızdırmazlığını önlemek için kullanılan halka boncukların sarma kısmında iyileştirmeler yapılmıştır. Yine boncuk halkanın etrafına ilave bir parça eklenerek sızdırmazlığın daha iyi olması sağlanmıştır.
- Bir diğer iyileştirme ise elastomer parçanın boncuk halka üzerine sarılması sırasında yapılan bir iyileştirmeden bahsetmektedir (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

Contitech Luftfedersysteme GmbH, Hannover (De) firmasına ait US 6,412,758B1 numaralı Amerika patenti (2002). Bir haddelenmiş yuvarlak hava yayının, elastik bir parçası, bir kaplama levhası ve bir yuvarlama pistonu vardır. Piston sonundaki boncuk, öyle bir yapılmıştır ki; köşeli kenar kısmının esnek parça ile bağlantısı, boncuğun kaçmasını önlemek için aşağı doğru serbest boşluğa girer. Bu köşeli kenar kısım piston sonundaki esnek elemandaki boncuğun bağlantısını kolaylaştırmak için yapılır. Kenar kısmının bükülmesiyle şekillenen boşluk, boncuğu yakaladığı zaman o kadar yakın olmalıdır ki; boncuk daha çok kaymasın. Boncuk yakalandığında; kenetlenme biçiminde; bağlantı duvarının iç yüzeyinde uzanmalıdır. Yukarıdaki amaç için, piston sonundaki esnek parçadaki boncuk, kükürtle sertleştirilmiştir (vulcanization). Böylece onun contalı yüzeyi yatay uzanmaz. Bunun yerine contalı yüzey tercihen esnek parçanın dikey ekseninde, dikey duran 45°-65° bir açıyla eğilir(yana yatırılır). Eğim işlemi bittiğinde, piston sonundaki boncuk, esnek parçanın dikey ekseninin dikey çizgisine 90°uzanacak şekilde gelir ([www. espacenet.com](http://www.espacenet.com), Patent Araştırma Veri Tabanı).

BFS Diversifield Products, LLC, Carmel, IN(US) firmalarına ait 6,619,635B1 numaralı Amerika patenti (2003). Buradaki mevcut buluş şunu sağlamaktadır. Hava süspansiyon körüklerinde akışkan basıncının kauçuk içine uyguladığı yüksek basınç en fazla sıkma çıkıntılarında ve kenar oluklarında meydana gelmektedir. Bu buluşta sıkma yerlerindeki yivli klamp sayısını arttırarak bu kısımlarda oluşan ve parçaya zarar

verebilecek gerilmeler azaltılmıştır. Buluştaki başka bir özellik ise sıkma yüzeylerindeki baskıyla özel olarak biçimlendirilmiş, kaburga görünümlü bir yüzey verilmiş halkalar içerdeki akışkanın dışarı sızmasını önleyici bir özellik göstermiştir. Bu buluştaki bir diğer ayrıntı klamp sayısı ve klamlarda ki özel olarak biçimlendirilmiş kaburga görünümlü sıkma yüzeyleri parçanın aksel hareketini de sınırlandırmış ve daha rijit bir yapı oluşmasına neden olmuştur (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

Continental Aktiengesellschaft firmasına ait 0451749 A2 numaralı Avrupa patenti (1991). Bu buluşta demir yolu aracında kullanılan hava süspansiyon körüğünün ömrünü uzatmak için körüğün boji üzerine montajı için yapılan iyileştirmeden bahsetmektedir (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

Toyo Tire & Rubber Co. Firmasına ait JP2008302902 numaralı Japon Patent Başvurusu (2007). Aşırı yüklemelerde körük bölümü kırılrsa bile yüksek bir kuvvete dayanabilen ve yüksek bir sürüş konforu sağlayan bir acil süspansiyon mekanizması ile ilgilidir. Bu amaçla demiryolu aracında kullanılan bir hava körüğü geliştirilmiştir. Hava körüğü, araç gövdesi tarafındaki bir üst destek bölümü ile boji tarafındaki bir alt destek bölümü arasında yer alan bir kauçuk diyafram içermektedir. Ayrıca üst destek bölümünün alçalması durumunda körüğün kırılmasını engelleyecek şekilde aşağı doğru hareket edebilen bir destek elemanı içermektedir. Elastik mekanizma, destek elemanının veya alt destek elemanının birinde oluşturulan dış çevresel bölüm ile iç çevresel bölüm arasına yerleştirilen bir elastik gövde ile oluşturulmaktadır (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

Toyo Tire & Rubber Co. Firmasına ait JP 2010076608 numaralı Japon Patent Başvurusu (2008). Bir raylı sistem aracı için çalışma yükseklik ayarının basitleştirildiği bir hava körüğü ile ilgilidir. Hava körüğü tertibatı, araç gövdesi tarafında bulunan bir dış silindir, dış silindir altında bulunan ve bojiye ait bir iskelet tarafından desteklenen bir iç silindir ile elastomer malzemeden imal edilmiş olan ve dış silindirden iç silindire doğru düzenlenen bir diyafram içermektedir (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

Railway Technical Res Inst. Firmasına ait JP 2003341511 numaralı Japon Patent Başvurusu (2002). Bir hava körüğünün çökmesini engellemek için geliştirilen bir demiryolu aracı bojisi ile ilgilidir. Bir hava körüğü, bir bojiye ait boji gövdesi ile her bir eksenel kutunun bir kolu arasına irtibatlanmıştır. Hava körüğü, kombine olarak lamine kauçuklardan oluşmaktadır ve hava körüğü sıkıştırılmış akışkan ile doldurulmuştur. Bojinin sahip olduğu hava körüğü ihtiyaca binaen hava körüğünün hava basıncını ayarlayarak körük için uygun bir yay karakteristiğini güvence altına almaktadır. Bu sayede lamine kauçuklar gibi ana hava körüğünün çökmesi engellenmektedir (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

Deutsche Waggonbau Ag firmasına ait EP 0794099 numaralı Avrupa Patent Başvurusu (1996). Körük sistemi ve hareket mekanizması arasına yerleştirilen, araca çapraz şekilde yönlendirilen bir yuvarlanma yönüne sahip bir yuvarlanma tertibatı ile ilgilidir. Yuvarlanma tertibatının etkin radyüsü, körük sisteminin yüksekliğine eşit veya daha büyüktür. Yuvarlanma tertibatı, körük sisteminin alt destek yüzeyi üzerindeki bir yuvarlanma plakası tarafından oluşturulur (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

Contitech Luftfedersysteme GMBH firmasına ait EP1106862B1 numaralı Avrupa patent başvurusu (2004). Bir hava yayı körüğü, birer sızdırmazlık çıkıntısına sahip uçları ile bir bağlantı parçasına sızdırmaz şekilde bağlanmıştır. İlgili körük ucu ve bağlantı yapı parçası arasında dayanıklı bir sızdırmazlık elde etmek için, körük ucunun ön cephe alanından dışarı taşan ve çevreleyen bir sızdırmazlık budağı biçimlenmiştir. Sızdırmazlık budağının yüzü, hava yayının montajla birleştirilmiş durumunda basınç bölmesine dönüktür (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

Siemens Aktiengesellschaft firmasına ait EP2009/059343 numaralı Avrupa patent başvurusu (2009). Bu buluş hava yayları arasında basınç farkını azaltmak için en az iki hava yayı, basınçlı hava sağlamak için bir hava kaynağı sistemi ve en az bir tane dengeleme aygıtına sahip olan bir demiryolu aracının hava süspansiyon sistemi ile ilgilidir. Hava yaylarına en az biri ile bağlı olan birinci kontrol noktasına sahip olan ve bir ikinci kontrol noktası en az bir başka hava yayı ile bağlanır bu iki hava yayı arasındaki basınç farkını dengelemek için kontrol noktası pozisyonları değiştirilir.

Havalı süspansiyon sistemini güvenilir bir şekilde dengeleyerek basınç farkını önlemeye yardımcı olur. Bu amaç için dengeleme cihazı bir basınç kaynağına bağlıdır ve bu cihaz sayesinde basınç dengeleme söz konusudur (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

Çin lokomotif ve taşıt akademisi bilimsel enstitüsüne ait CN20121004218 numaralı Çin patent başvurusu (2012). Buluş bir hava yay basıncı kontrol cihazı ile ilgilidir. Bir raylı araç ve hava yayı basınç kontrol cihazı için bir kontrol yöntemidir. Kontrol cihazı iki bitişik hava yayı arasına düzenlenmiştir. Hava yayları iç basıncını dengelemek için kullanılan bir ayırıcı vana içerir. Ayrıca hava yayı yüksekliğini sağlamak için kullanılabilir. Buna ek olarak buluş, aynı zamanda yapı ile kontrol cihazı için bir kontrol yöntemi sağlar (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

Oingdao Sri Teknoloji firmasına ait CN20092163549U numaralı Çin faydalı model başvurusu (2009). Bu faydalı model raylı taşıt üzerindeki bojiye kullanılan bir hava süspansiyon körüğü ile ilgilidir. Hava süspansiyon körüğü, bir üst kapak, bir kapsül ve bir kauçuk burç ihtiva eder. Kauçuk burç içi boş silindirik bir şekle sahiptir. Kauçuk burcun alt yüzeyi bir temel üzerinde vulkanize edilmiştir ve dik bir şekilde konumlanmıştır. Kauçuk burcun üst yüzeyi vulkanize edilmiş ve bir alt koltuk ile bağlanır, alt koltuk üst yüzeyinde halka şeklinde çıkıntı vardır, halka şeklindeki çıkıntının dış kısmı alt koltuk formunda bir çentik ihtiva eder. Alt koltuk merkezi bir kısma havalandırma deliği ile donatılmış olup, alt koltuk üst yüzeyine dik bir halka şeklindedir. Üst kapağın üst yüzeyi konveks bir hava girişi ile donatılmıştır. Hava süspansiyon körüğü dikey, yatay ve kayma deformasyon yeteneği teknik gereksinimi karşılayacak şekildedir. Deformasyonlar sınırlandırılmış boyutlar içerisinde kalır, travers özelliği sağlar ve araç çalışırken konfor sağlar (www.espacenet.com, Patent Araştırma Veri Tabanı).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Raylı taşıtlar için hava süspansiyon körüklerinin üretimi ve mekanik performanslarının belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada öncelikle körüklerinin üretiminde kullanılmak üzere 3 farklı tip kauçuk karışımı hazırlanarak bu karışımlara ait testler gerçekleştirilmiştir. Ardından körük üretimi için gerekli olan makine ve ekipmanlardan bahsedilmiştir. Daha sonra üretilen kava süspansiyon körükleri patlatma, hava sızdırmazlık, taşıma-genişleme, düşey yay katsayısı, yatay yay katsayısı, boyut ölçümleri ve ömür testlerine tabi tutulmuştur.

Son olarak da Nishimura hava körüğü modeli ele alınarak sistemin benzetim modeli üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Bir havalı körüğün üretim aşamaları genel olarak sırasıyla şu işlemlerden oluşmaktadır. Öncelikle farklı özelliklere sahip hammaddeler bir araya getirilerek mikserde kauçuk karışımı hazırlanmaktadır. Kalenderde iç ve dış kauçuklar kalenderlenerek rulo haline getirilmektedir. Konfeksiyon makinesinde kord iplerinin alt ve üst katmanına kaplama işlemi yapılarak silindirik hale getirilmektedir. Silindirik yarı mamulün konus bölgelerine çelik teller takılmaktadır ve yüksek sıcaklık ve basınç altında vulkanizasyon presinde vulkanizasyon işlemi yapılmaktadır. Son olarak da metal bileşenlerle montaj işlemi yapılarak nihai ürün elde edilmektedir.

3.1. Kauçuk Bileşimleri ve Kauçuk Test Cihazı

TS EN 13597 gerekliliklerini sağlamak adına, farklı termoset elastomerler kullanılarak şartname değerlerini sağlayacak kauçuk karışımları hazırlanmıştır. Karışımlarda kullanılan elastomer tipleri;

NR (Doğal Kauçuk)

SBR (Stiren Bütadien Kauçuk)

BR (Bütadien Kauçuk)

CR (Kloropren Kauçuk)

NR (Doğal Kauçuk): Hevea Brasiliensis ağacından elde edilmektedir. Karışıma, yüksek derecede kopma, yırtılma ve çiğ hamur mukavemeti, iyi dinamik özellikler, yüksek elastikiyet ve düşük kalıcı deformasyon özellikleri kazandırır (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/524KI0245.pdf, 2001).

SBR (Stiren Bütadien Kauçuk): SBR stiren ve bütadienin kopolimeridir. Dünyada en çok bilinen sentetik kauçuk türüdür. Birçok uygulamada doğal kauçuğun yerine kullanılır. Uygulamaları doğal kauçuğa göre daha kolay ve kısa zamanda olur. Kolay extrude edilir. Elastik davranışları tabii kauçuk kadar iyi olmasa da aşınma, yaşlanma ve ısıya dayanım özellikleri doğal kauçuktan üstündür. Polar olmayan sıvılara, çözücülere, seyreltik asit ve bazlara dayanıklı olup yakıt ve yağlara dayanıksızdır. En çok otomobil lastiği üretiminde kullanılmaktadır (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/524KI0245.pdf, 2001).

BR (Bütadien Kauçuk) : SBR kauçuktan sonra kullanımı en yaygın olan kauçuktur. Kopma mukavemetleri oldukça düşük olduğu için NR ve SBR ile birlikte kullanılır. Aşınma ve çatlama mukavemetinin çok iyi olmasından dolayı, otomobil dış lastik imalatında kullanılır. Camsı geçiş sıcaklığının düşük olması sebebiyle, düşük ısılarda çok iyi elastik özellikler verir. Dinamik ısı oluşumu, doğal kauçuktan azdır. Hem düşük ısılardaki elastikiyeti hem de düşük ısı oluşumu özelliğinden, doğal kauçuk ve SBR ile birlikte kullanılması avantaj sağlamaktadır. Otomobil dış lastiği, ayakkabı tabanı ve

hortum imalatında kullanılır (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/524KI0245.pdf, 2001).

CR (Kloropren Kauçuk): Yapısındaki klor atomu, polar özelliklerinin artmasına neden olur. Polaritesinden ötürü birçok yağa dayanıklıdır ve yanmaya karşı direnç gösterir. Hava ve ozona karşı dayanıklıdır. Su ve kimyasallara uzun süreli dayanıklıdır. Düşük gaz geçirgenliği özelliği verir. Tekstil ve metallere yapışması kuvvetlidir. Hortum, conta, motor takozları, silecek lastikleri v.b. üretimlerinde kullanılırlar (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/524KI0245.pdf , 2001).

C1, C2 ve C3 olmak üzere farklı tip kauçuk reçetesi kullanılarak körük imalatı için gerekli kompozit yapılı elastomer malzeme üretilmiştir.

C1 karışımından Ø 14,5 mm çapında 4 adet, C2 ve C3 karışımlarından Ø14,5 mm çapında 5 adet numune hazırlanmıştır. Numunelere RPA cihazında belli bir açı ile tork uygulanmış ve uygun sıcaklıkta pişirilmeye bırakılmıştır.

3.1.1. Kauçuk Pres Analizörü

Kauçuk Proses Analizörü MonTech marka modeli D-RPA 3000 olan bir kauçuk proses analizörüdür. Hazırlanan karışımların tüm vulkanizasyon safhalarında (pişme öncesi, pişme esnasındaki ve pişme sonrasındaki) visko-elastik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 3.1’de görülen cihazdan yararlanılmıştır. Cihaz sayesinde üretim aşamalarının bir simülasyonu karışımlara önceden uygulanabilmektedir. RPA yardımı ile aynı testte farklı frekans aralıklarında, farklı sıcaklık değerlerinde ve değişken açılı osilasyonları ile 4-5 dakika içerisinde dinamik özellikler, mukavemet değerleri, modülüs değerleri, viskozite, kalıcı deformasyon özellikleri gibi birçok veri analiz edilebilmektedir.



Şekil 3.1. MonTech D-RPA 3000 Kauçuk Proses Analizörü

3.2. Körük  retiminde Kullanılan Makineler

Farklı içyapılara sahip hava süspansiyon körüklerinin üretimi ve performans testleri için Şu makineler kullanılmıştır.

3.2.1.Vulkanizasyon Presi

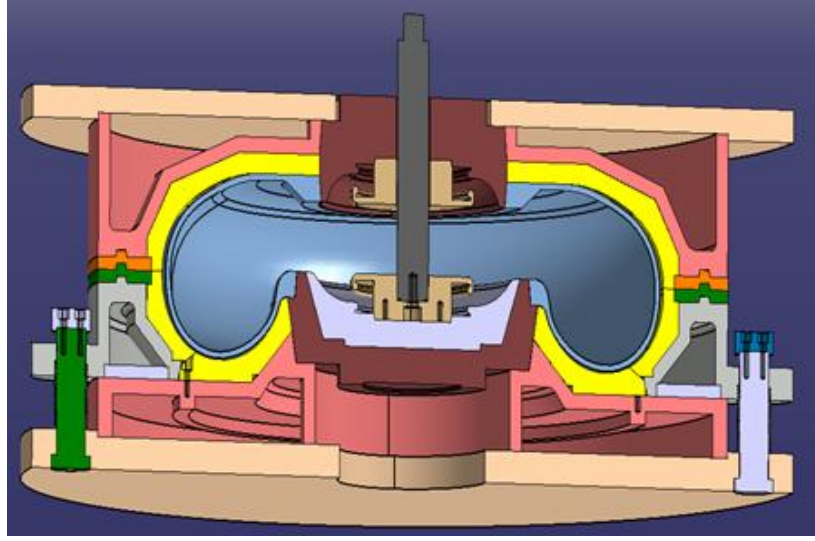
Raylı taşıt hava süspansiyon körüklerinin imalatı için gerekli Vulkanizasyon Presinin imalat görüntüsü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Vulkanizasyon presi farklı tiplerde çapı 800 mm ye kadar olan ikincil süspansiyon körüklerinin aynı preste vulkanize edilebilmesi için tasarlanmıştır.



Şekil 3.2. Vulkanizasyon presinin imalat görünümü

Seçilen bir kentsel raylı taşıt tipi için hava süspansiyon körüğü üretilmiştir.  retimi gerçekleştirilen körük roll tipi k r ktir. Çalışmada iki adet roll tipi körük imalatı için kalıp üretimi gerçekleştirilmiştir.

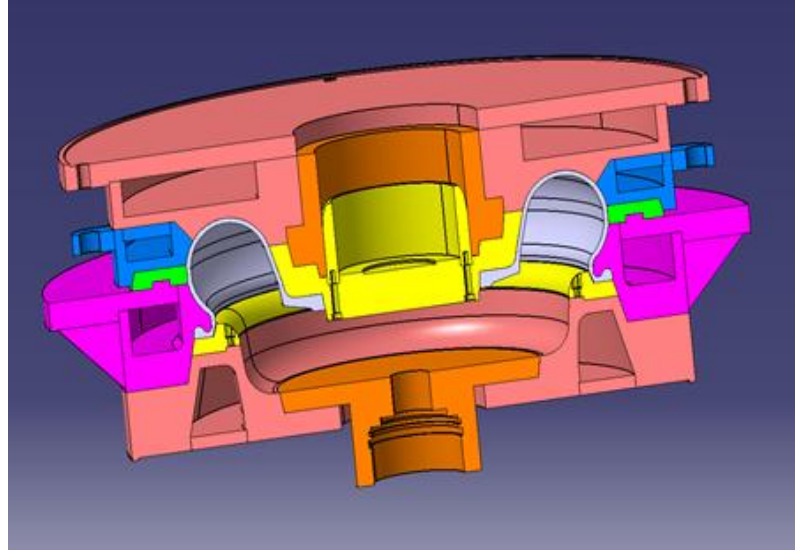
Birinci roll tipi körüğün vulkanizasyon kalıbı için hazırlanan bilgisayar destekli tasarım görüntüsü ve imalat resmi sırasıyla Şekil 3.3’de ve Şekil 3.4’de gösterilmiştir. İkinci roll tipi körüğün imalatında kullanılacak vulkanizasyon kalıbının bilgisayar destekli tasarım görüntüsü ve imalat resmi sırasıyla Şekil 3.5’de ve Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.3. 505±10 mm çapındaki roll tipi körüğü üretmek için uygun olan roll tipi vulkanizasyon kalıbının bilgisayar destekli tasarım görüntüsü



Şekil 3.4. 505±10 mm çapındaki roll tipi körüğü üretmek için uygun olan roll tipi vulkanizasyon kalıbının imalat görüntüsü



Şekil 3.5. 580±10 mm çapındaki roll tipi körüğü üretmek için uygun olan roll tipi vulkanizasyon kalıbının bilgisayar destekli tasarım görüntüsü



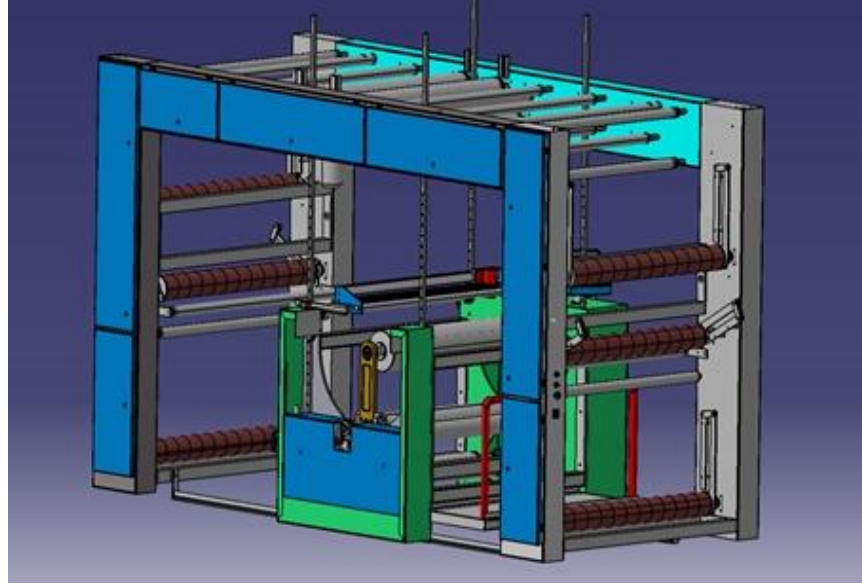
Şekil 3.6. 580±10 mm çapındaki roll tipi körüğü üretmek için uygun olan roll tipi vulkanizasyon kalıbının imalat görüntüsü

Bu iki kalıp arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. İlk kalıbın her iki konusu da geçme konusudur. İkinci kalıbın bir tarafı geçme konus bir tarafı ise çeneli konustur. İlk kalıp üç parçalı bir kalıp iken ikinci kalıp dört parça olarak üretilmiştir. İkinci kalıbın çalışması için pres üzerinde bulunan hareketli tabla kullanılmıştır. İlk kalıp kullanılarak körük üretilmesi sırasında ise hareketli tabla kullanılmamaktadır. İkinci kalıp ilk kalıba göre daha büyük çaplı bir körük içindir. Bu kalıp, roll tipi bir körük olup körüğün çapı

570 mm ile 600 mm arası bir değerdedir. İlk kalıp ise 510 mm çapındaki bir körük için uygundur.

3.2.2. Konfeksiyon Makinesi

Raylı sistem araçlarında kullanılan ikincil süspansiyon körüklerinin vulkanizasyon öncesi yapılacak olan konfeksiyon (sarım ve telleme) işleminin gerçekleştirilebilmesi amacıyla kullanılan Konfeksiyon Makinesi ve Konfeksiyon Tamburunun tasarım görüntüsü ve imalat resmi sırasıyla Şekil 3.7’de ve Şekil 3.8’de görülmektedir.

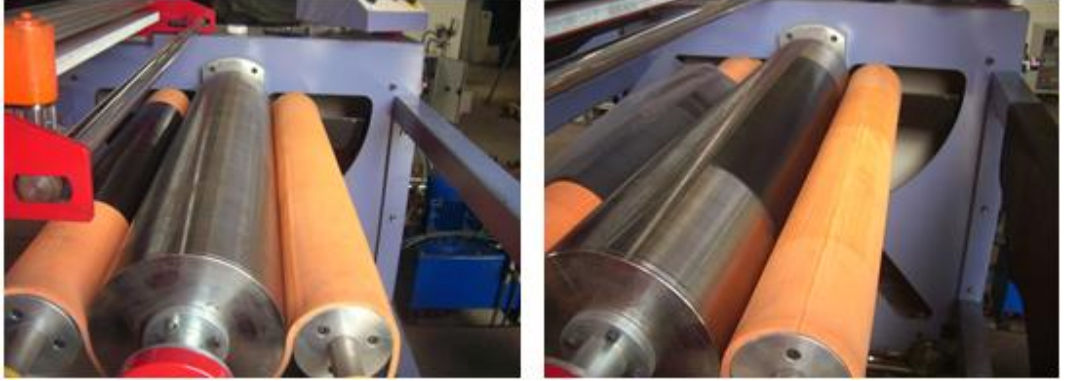


Şekil 3.7. Konfeksiyon Makinesi kompleksine ait tasarım görüntüsü



Şekil 3.8. Konfeksiyon Makinesi kompleksinin görünümü

Kalenderlenerek rulo haline gelen kauçuklar konfeksiyon makinesinde araya belirli açılarda yerleştirilen kord bezleri üzerine sarılarak iç ve dış katmana kaplama işlemi gerçekleştirilir. Şekil 3.9'da ve Şekil 3.10'da kord iplerinin iç ve dış katmanlarla sarılarak silindirik hale getirilmesi işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Konfeksiyon Makinesinde iç kauçuk sarım işlemi



Şekil 3.10. Konfeksiyon Makinesinde kord bezi ve dış kauçuk sarım işlemi

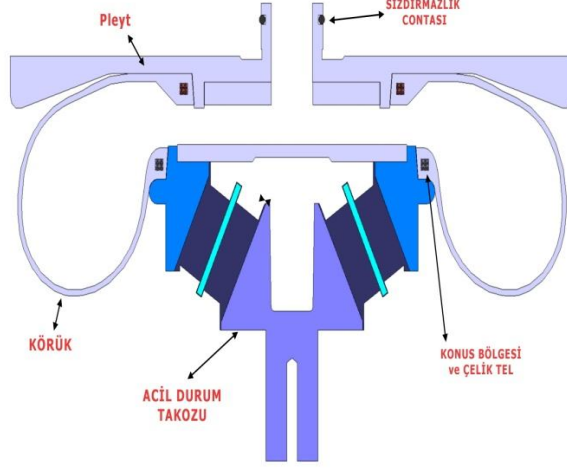
Konfeksiyon makinesinden rulo halinde çıkan hava süspansiyon körüğünün alt ve üst konusuna sızdırmazlığı önleyici çelik teller takılır. Şekil 3.11'de konfeksiyon makinesinde sarılmış silindirik haldeki parçanın konus bölgelerine telleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Teller alt ve üst konusa takılır.



Şekil 3.11. Sarım işlemi tamamlanan körüğün vulkanizasyon öncesinde telleme işlemi

Yukarıda hava süspansiyon körüğünün üretimi için gerekli makine ve ekipmanların üretimi çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.12’de bir hava süspansiyon körüğünün şematik bir görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.12. Bir hava süspansiyon körüğünün bileşenleri

Çalışma kapsamında birinci tip roll tipi körük imal edilmiştir. Bu körüğe uygulanacak test işlemlerinde kullanılan makineler; Patlatma Test Makinesi, Taşıma- Genişleme ve Ömür Test Makineleridir.

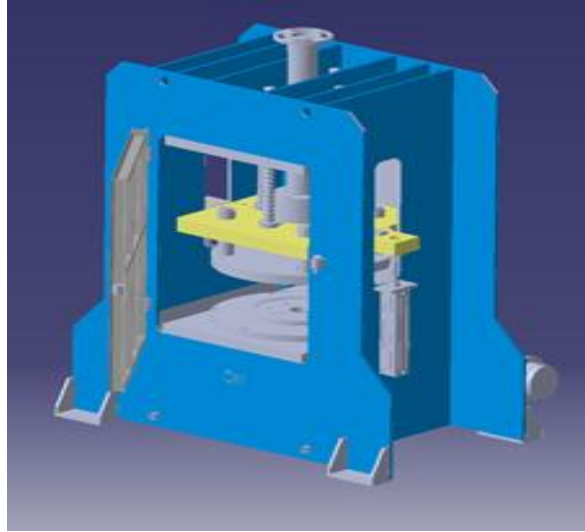
3.3. Körük Test Makineleri

3.3.1. Patlatma Test Makinesi

Patlatma test makinesi körüklerin azami basınç dayanımlarını belirlemek için kullanılan makinedir.

TS EN 13597 ve farklı raylı sistem üreticilerinin oluşturmuş olduğu standartlar incelendiğinde, raylı sistem araçlarında kullanılan havalı süspansiyon körüklerinin patlatma basınçlarının çalışma basıncının 3 katı veya 16 bar ile 30 bar arasında olması istenmekte olduğu görülmüştür. Bunun gibi yüksek basınçlardaki patlatma testlerinde hava yerine su kullanılmasının daha uygun olacağına karar verilmiştir. Basıncın artması ile taşıma kuvveti de artacağından test makinesinin sisteminin hidrolik yerine mekanik olarak tasarlanmasının uygun olacağına karar verilmiştir.

Patlatma Test Makinesinin tasarım görüntüsü Şekil 3.13'de imalatı tamamlanan makine ise Şekil 3.14' de görülmektedir.



Şekil 3.13. Patlatma test makinesi tasarım görüntüsü



Şekil 3.14. Patlatma test makinesi imalat görüntüsü

Belli bir yüksekliğe bağlanan hava süspansiyon körüğü alt ve üst tablaya sabitlenmiş daha sonra körük içerisine basınçlı su ilave edilerek körüğün patlatılması sağlanmıştır.

Her bir kauçuk reçetesine ait üretilen körükler için en az 4 adet patlatma işlemi yapılarak ortalama patlama basıncı ve standart sapma değeri belirlenmiştir.

3.3.2. Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi

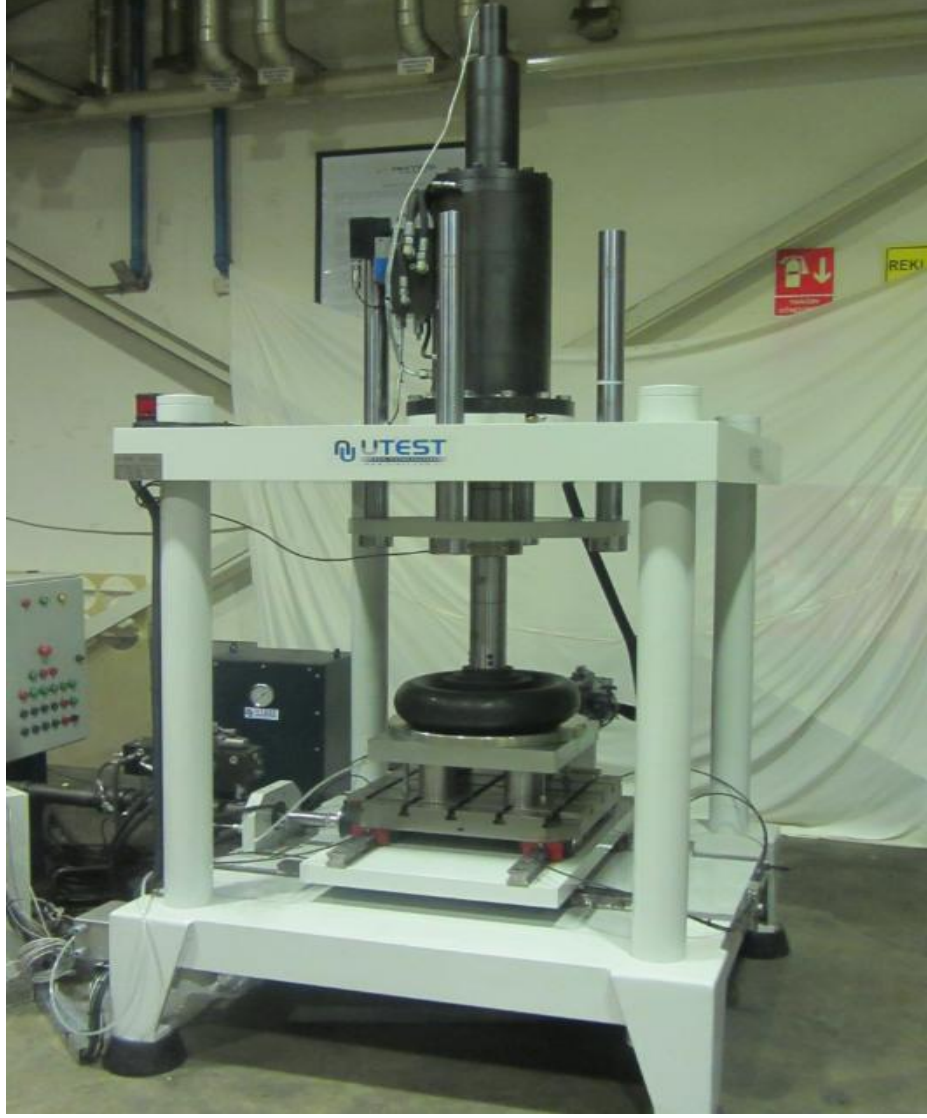
Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesinde; raylı sistemlerde kullanılan hava süspansiyon körüğünün tren altında maruz kaldığı hareketler simule edilebilmektedir. Otomotiv sektöründe kullanılan körüklerle raylı sistemlerde kullanılan körüklerin en önemli farklılıklarından biri de yanal kayma hareketinin büyüklüğüdür. Raylı sistemlerde kullanılan ikincil süspansiyon körükleri aracın kalkma hareketi-durma hareketi yaptığı esnalarda ve araç kurp'a girdiğinde bolster ile boji arasında yanal kaymalara maruz kalır. Bu hareketler, araç üretici firmanın belirlediği deplasman değerlerinde standartta belirtildiği şekilde Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesinde kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Farklı kauçuk malzemelerden üretilen hava süspansiyon körüklerinin Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılarak Çizelge 3.1'de belirtilen plan dâhilinde testleri yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Taşıma- Genişleme ve Ömür Test Makinesinde yapılan testler

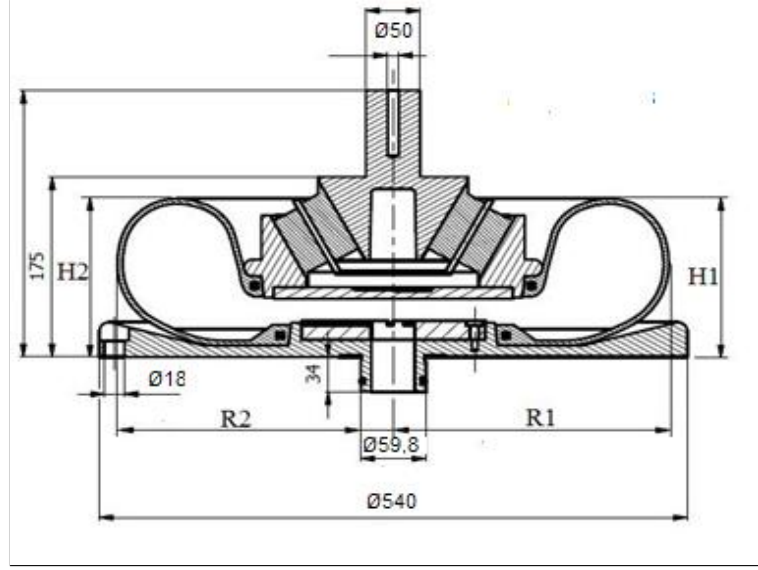
Sıra No	Test Adı	Genel Test Koşulları	Standart
1	Hava Sızdırmazlık Testi	TS EN 13597	TS EN 13597
2	Taşıma - Genişleme Testi	TS EN 13597	TS EN 13597
3	Yay Katsayısı Tespiti Testi	TS EN 13597	TS EN 13597
4	Yatay Yer Değiştirme Testi	TS EN 13597	TS EN 13597
5	Yatay Rijitlik Testi	TS EN 13597	TS EN 13597
6	Düşey Yer Değiştirme Testi	TS EN 13597	TS EN 13597
7	Düşey Rijitlik Testi	TS EN 13597	TS EN 13597
8	H ₁ , H ₂ , R ₁ ve R ₂ Değerlerinin Ölçülmesi (Boyut Ölçümleri)	TS EN 13597	TS EN 13597
9	Ömür Testi	TS EN 13597	TS EN 13597

Proje kapsamında tasarım, imalat ve üretim çalışmaları tamamlanarak tedarik edilen Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi Şekil 3.15’de görülmektedir.

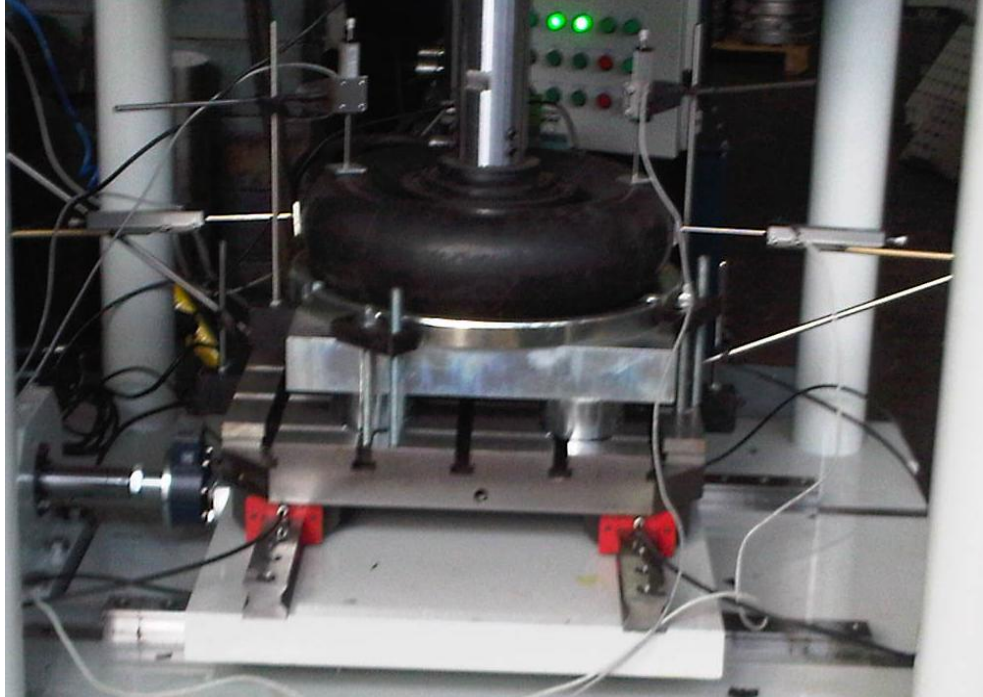


Şekil 3.15. Taşıma Genişleme ve Ömür Test Makinesi

Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi; hava sızdırmazlık testi, taşıma-genişleme testi, düşey ve yatay yönde yay katsayısı belirlenmesi testi, ömür testi yapabilen bir test makinesidir. Bu test makinesi aynı zamanda basınç ve yatay hareket esnasında Şekil 3.16’da verilen H ve R ölçümlerindeki değişimi ölçebilecek özelliktedir. Körük boyut ölçüm sistemi Şekil 3.17’ de görülmektedir.



Şekil 3.16. Körük boyutları ve Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılarak ölçülecek boy (H) ve yarıçap (R) değerleri



Şekil 3.17. Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesindeki körük boyut ölçüm sistemi

Taşıma-Genişleme ve Ömür Test makinesi kullanılarak yapılan testler aşağıda belirtilmiştir.

3.3.2.1. Hava Sızdırmazlık Testi

Üretimi gerçekleştirilen raylı taşıt körüğünün hava sızdırmazlık testlerinin yapılmasında Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılmıştır.

Hava Sızdırmazlık testi için makineye bağlanan körükler 175 mm bağlantı mesafesi sağlandıktan sonra körük içine kompresör yardımıyla belirli bir basınç değeri uygulanmış, akabinde valf vanasından basınç kapatılarak en az 10 dakika süreyle körüğün hava sızdırmazlık testi yapılmıştır. Testten önce hava hattında, bağlantı aparatlarında ve körük bağlantılarında kullanılan sistemlerde herhangi bir hava kaçağı olmaması sağlanmıştır.

3.3.2.2. Taşıma-Genişleme Testi

Şekil 3.15’de verilen Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılarak taşıma- genişleme testi yapılmıştır.

Test makinesine 175 mm lik bağlantı yüksekliği sağlanarak bağlanan hava süspansiyon körüğü içine 1 bar’dan başlayarak 2 bar, 3 bar, 4 bar, 5 bar, 6 bar, 7 bar hava basıncı verilerek test gerçekleştirilmiştir. Belirtilen basınçlarda 2 dakika beklendikten sonra taşıma yükü ve hava süspansiyon körüğünün TS EN 13597 de belirtilen son çap değeri ve son boyunun ölçümü gerçekleştirilmiştir. Test edilen körüğün ilk çapı 515 mm, ilk boyu 154 mm dir. Test sonucunda körük iç basıncına bağlı olarak taşıma kuvveti, son çap değeri ve son boy değerleri tespit edilmiştir.

3.3.2.3. Düşey Yay Katsayısı Tespiti

Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılarak 175 mm lik bir test yüksekliğine bağlanan hava süspansiyon körüğünde belirli bir taşıma yükü oluşması için gerekli iç basınç uygulandıktan sonra körüğün düşey yay katsayısının belirlenmesi için test yapılmıştır. Test sırasında hava vanası kapatılarak körük içindeki basıncın sabit tutulması sağlanmış ve bu şartlar altında bağlantı yüksekliği ± 10 mm değiştirilecek şekilde hareket uygulanmıştır. Bu test işlemi sırasında körüğün düşey yay katsayısı değeri hesaplanmıştır. Belirlenen strok değerleri için yapılan testler sırasında düşey yük-düşey yer değiştirme değerleri elde edilmiş, düşey yük-düşey yer değiştirme grafiği çizilmiştir. Yatay yay katsayısı 0,1 mm/s lik ilerleme hızı için hesaplanmıştır.

3.3.2.4. Yatay Yay Katsayısı Tespiti

Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılarak 175 mm lik bir test yüksekliğinde bağlanan hava süspansiyon körüğünde belirli bir taşıma yükü oluşması için gerekli iç basınç uygulandıktan sonra körüğün yatay yay katsayısının belirlenmesi için test yapılmıştır. Test sırasında hava vanası kapatılarak körük içindeki basıncın sabit tutulması sağlanmış ve bu şartlar altında yatay yönde ± 5 mm yer değiştirme şeklinde hareket uygulanmıştır. Bu test işlemi sırasında körüğün yatay yay katsayısı değeri hesaplanmıştır. Belirlenen strok değerleri için yapılan testler sırasında yatay yük-yatay yer değiştirme değerleri elde edilmiş, yatay yük- yatay yer değiştirme grafiği çizilmiştir. Yatay yay katsayısı 0,1 mm/s lik ilerleme hızı için hesaplanmıştır.

3.3.2.5. Boyut Ölçümleri

Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılarak, TS EN 13597 standardın da belirtilen hava süspansiyon körüğü üzerindeki H1, H2, R1 ve R2 değerleri ölçülebilmektedir (Şekil 3.16). Bu ölçümlerin yapılacağı test şartları şöyledir;

Test makinesine test yüksekliğinde bağlanan hava süspansiyon körüğüne belirli bir düşey kuvvet uygulandıktan sonra körük yatay yönde ± 5 mm yer değiştirmelere maruz bırakılmıştır. Bu yer değiştirme değerlerinde hava süspansiyon körüğü üzerindeki H1, H2, R1 ve R2 değerleri ölçülmüştür. Düşey kuvvet belirli bir test yüksekliğinde bağlanan hava süspansiyon körüğü içine iç basınç uygulanarak elde edilmektedir.

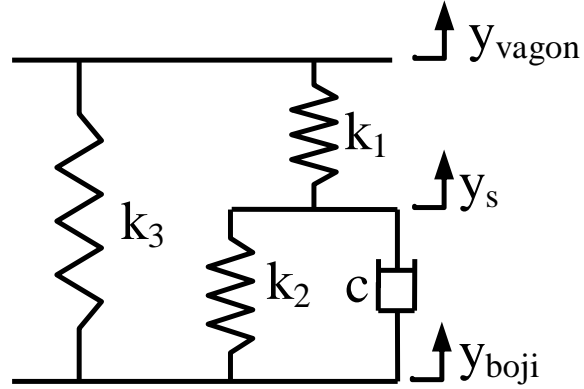
3.3.2.6. Ömür Testi

Hava süspansiyon körüğü 3.15'deki Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılarak ömür testine tabi tutulmuştur. Ömür testi, düzlemdeki x ve y eksenleri ile z düşey eksenine doğrultusunda verilen yer değiştirme değerleri için yapılmıştır. x eksenine için yer değiştirme değeri ± 33 mm, y eksenine için yer değiştirme değeri ± 18 mm ve z eksenine için yer değiştirme değeri ± 2 mm / ± 5 mm dir. Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesine 175 mm lik bağlantı yüksekliğinde bağlanan hava süspansiyon körüğüne ömür testi sırasında uygulanan basınç değeri 6,10 ($\pm 0,06$) bar dir.

Körük, standartlarda belirtilen çevrim sayıları göz önünde bulundurularak teste tabi tutulmuştur. Testin belirli bir bölümü için zamanla x, y ve z eksenlerindeki kuvvet ve yer değiştirme değerlerinin değişimi elde edilmiştir.

3.4. Hava Süspansiyon Körüğü Dinamik Model Benzetim Çalışmaları

Hava süspansiyon körüklerinin üretim ve test makinelerinin tasarım ve imalatının yanında sistemin benzetim çalışmalarına da yer verilmiştir. Öncelikle kullanılan modeller incelenmiştir. Bu modelleme çalışmasında Nishimura hava körüğü modeli ele alınmıştır. Şekil 3.18'de gösterilen bu modelde sistemin sadece dikey yöndeki hareketi incelenmekte olup, orifis sönümlemesi ve boru içinden akan akışkanın direnci de dikkate alınmıştır. Modelleme çalışmasında Şekil 2.14'de verilen fiziksel sistem ele alınmıştır.



Şekil 3.18. Nishimura hava körüğü modeli (Nishimura ve ark. 2004).

Şekil 3.18'de Nishimura hava körüğü modelinde kullanılan temel parametreler

$$k_1 = nA_e^2 \frac{P_0}{V_r} \quad (1)$$

$$k_2 = nA_e^2 \frac{P_0}{V_b} \quad (2)$$

$$k_3 = \frac{nP_0 A_e^2}{V_{b0} + V_{r0}} \quad (3)$$

$$c = R_f A_e^2 \rho_0 g = \frac{0.126}{d_s^3} A_e^2 \rho_0 g \quad (4)$$

ifadeleri ile tanımlanabilir. Burada, k_1 : Hava körüğünün yaylılık katsayısı (N/m), k_2 : Ek hacmin yaylılık katsayısı (N/m), k_3 : Alan değişiminin yaylılık katsayısı (N/m), c : orifis sönümlenme katsayısı, n : politropik katsayı, A_e : efektif alan (m^2), P_0 : Başlangıç mutlak basıncı (N/m^2), V_f : Ek tank hacmi (m^3), V_b : Hava körüğünün hacmi (m^3), R_f : Akış direnç katsayısı, g : yerçekimi ivmesi (m/s^2), ρ_0 : havanın yoğunluğu (kg/m^3), d_s : hava körüğü ve ek hacmi bağlayan boru çapı (m) ile tanımlanır.

Sistemin MATLAB/Simulink ortamında benzetimi yapılmıştır. Kurulan model üzerinde sistemin vagona gelen yaklaşık 110 kN şiddetinde 0,5 Hz titreşim frekansındaki kare dalga şeklindeki yüke ve 0,1 m şiddetinde 1 Hz' lik titreşim frekansındaki sinusoidal boji yerdeğiştirmesine karşılık gösterdiği dinamik davranış incelenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde öncelikle hazırlanan kauçuk karışımlarının test cihazlarından elde edilen pişirme eğrisi sonuçları ve uzama- mukavemet test sonuçları verilmiştir.

Ardından hava süspansiyon körüklerine ait patlatma testi ölçüm sonuçları, hava sızdırmazlık testi ölçüm sonuçları, taşıma-genişleme testi ölçüm sonuçları, düşey yay kat sayısı ölçüm sonuçları ve yatay yay kat sayısı ölçüm sonuçları verilmiştir. Körüğün basınç ve yatay hareket altındaki yükseklik (H) ve yarıçap (R) değerlerindeki değişimler ölçülmüştür. Körüğün tekrarlı yükleme testleri yapılmıştır. Bahsedilen ölçümlerin yapılmasında Patlatma Test Makinesi ve Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makineleri kullanılmıştır.

Son olarak hava süspansiyon körüğü sisteminin dinamik modelinin benzetim çalışmaları sırasında elde edilen dinamik davranış eğrileri verilmiştir.

4.1. Hazırlanan Kauçuk Karışımlarının Pişirme Eğrisi Sonuçları

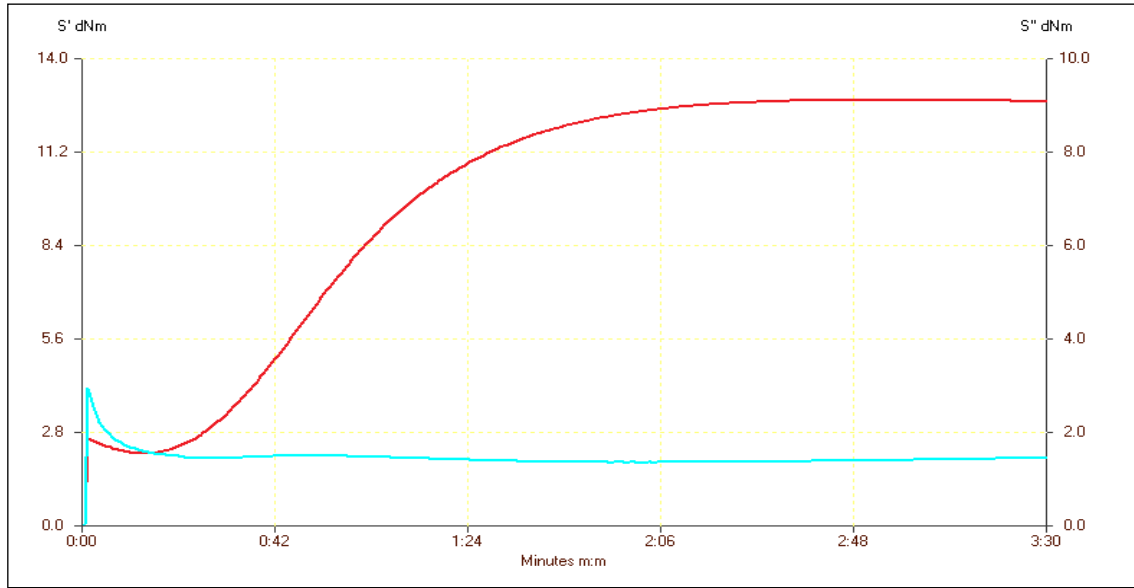
4.1.1. C1 karışımı pişirme eğrisi sonuçları

Çizelge 4.1'de C1 karışımına ait pişirme eğrisi sonuçları görülmektedir. Buradaki parametreler sırasıyla; S': Elastik tork, S'': Viskos torku ifade etmektedir.

Scorch time(TS 2): Vulkanizasyonun ilk başladığı yani çapraz bağlanmanın ilk başladığı süredir. Burada malzemenin %2 kadarlık kısmı vulkanize olmuştur.

TC 90: Vulkanizasyonun tamamlandığı süredir. Burada parçanın %90'ında vulkanize işlemi tamamlanmıştır.

Çizelge 4.1. 190 °C de C1 Karışımına ait RPA eğrisi (Pişme karakteristiği, minimum ve maksimum tork)



	S' Min -ML-	S' Max -MH-	Scorch Time (TS 2)	TC 90
Unit	dNm	dNm	Min:Sec	Min:Sec
Tolerance limit	1.00 - 2.30	10.50 - 14.50	0.26 - 0.46	1.30 - 2.00
COMPOUND 1	2.12	12.77	0.36	1.37

Aşağıdaki çizelgede C1 karışımına ait 4 farklı numunenin mukavemet ve uzama test raporu görülmektedir (Çizelge 4.2). Bu çizelgede mukavemet ve uzama değerlerinin ortalaması alınarak standart sapması hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. C1 Karışımına ait Uzama-Mukavemet test raporu

Parameter table:									
Operatör	: EA	Yoğunluk	: 1,121						
Malzeme kodu	: C1	Sertlik	: 60						
Çekme yönü	: e-b	Şarj no	: 27112012						
Results:									
Nr	E-Modulus MPa	Çekme Muk. MPa	Kopma Muk. MPa	Kopma Uzaması %	% 300 MPa	Genişlik mm	L0 mm	Kalınlık mm	S0 mm ²
1	6,54	14,74	14,74	498,47	8,92	6,2	71,07	2,24	13,89
2	6,52	15,89	15,47	508,34	9,47	6,2	71,44	2,36	14,63
3	5,90	15,31	15,31	492,17	9,37	6,2	72,70	2,45	15,19
4	6,66	15,41	15,13	497,47	9,37	6,2	72,35	2,2	13,64
Series graphics:									
Statistics:									
n = 4	E-Modulus MPa	Çekme Muk. MPa	Kopma Muk. MPa	Kopma Uzaması %	% 300 MPa	Genişlik mm	L0 mm	Kalınlık mm	S0 mm ²
\bar{x}	6,40	15,34	15,16	499,11	9,28	6,2	71,89	2,313	14,34
Fmax.	6,66	15,89	15,47	508,34	9,47	6,2	72,70	2,45	15,19
min.	5,90	14,74	14,74	492,17	8,92	6,2	71,07	2,2	13,64
s	0,34	0,47	0,31	6,75	0,25	0,000	0,76	0,1141	0,7076

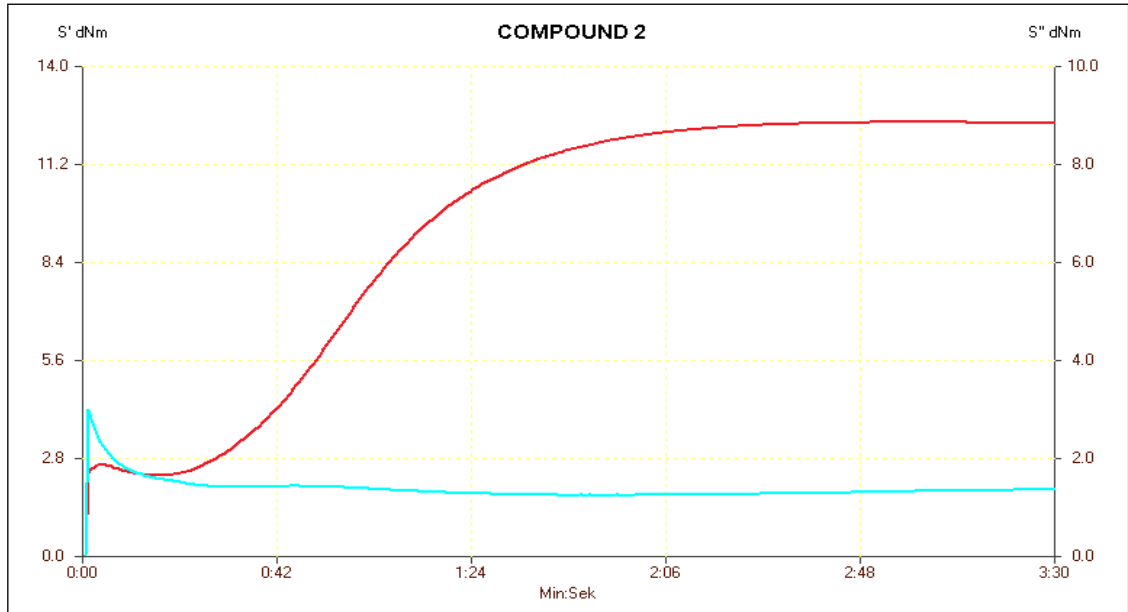
4.1.2. C2 karışımı pişirme eğrisi sonuçları

Çizelge 4.3'de C2 karışımına ait pişirme eğrisi sonuçları görülmektedir. Buradaki parametreler sırasıyla; S': Elastik tork, S'': Viskos torku ifade etmektedir.

Scorch time(TS 2): Vulkanizasyonun ilk başladığı yani çapraz bağlanmanın ilk başladığı süredir. Burada malzemenin %2 kadarlık kısmı vulkanize olmuştur.

TC 90: Vulkanizasyonun tamamlandığı süredir. Burada parçanın %90'ında vulkanize işlemi tamamlanmıştır.

Çizelge 4.3. 190 °C de C2 Karışımına ait RPA eğrisi (Pişme karakteristiği, minimum ve maksimumtork)



	S' Min -ML-	S' Max -MH-	Scorch Time (TS 2)	TC 90
Unit	dNm	dNm	Min:Sec	Min:Sec
Tolerance limit	1.00 - 2.30	10.50 - 14.50	0.26 - 0.46	1.30 - 2.00
COMPOUND 2	2.27	12.41	0.41	1.38

Aşağıdaki çizelgede C2 karışımına ait 5 farklı numunenin mukavemet ve uzama test raporu görülmektedir (Çizelge 4.4). Bu çizelgede mukavemet ve uzama değerlerinin ortalaması alınarak standart sapması hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. C2 Karışımına ait Uzama-Mukavemet test raporu

Parameter table:									
Operatör	: EA	Yoğunluk	: 1,148						
Malzeme kodu	: C2	Sertlik	: 60						
Çekme yönü	: e-b	Şarj no	: 27112012						
Results:									
Nr	E-Modulus MPa	Çekme Muk. MPa	Kopma Muk. MPa	Kopma Uzaması %	% 300 MPa	Genişlik mm	L0 mm	Kalınlık mm	S0 mm ²
1	6,36	15,51	14,76	506,98	8,87	6,2	72,04	2,21	13,7
2	5,76	16,68	16,58	546,54	8,80	6,2	71,66	2,46	15,25
3	5,42	16,16	16,16	535,48	8,85	6,2	72,02	2,36	14,63
4	5,98	15,47	15,47	518,75	8,76	6,2	71,73	2,23	13,83
5	6,18	16,42	16,42	528,08	9,21	6,2	72,97	2,41	14,94
Series graphics:									
Statistics:									
n = 5	E-Modulus MPa	Çekme Muk. MPa	Kopma Muk. MPa	Kopma Uzaması %	% 300 MPa	Genişlik mm	L0 mm	Kalınlık mm	S0 mm ²
\bar{x}	5,94	16,05	15,88	527,17	8,90	6,2	72,09	2,334	14,47
Fmax.	6,36	16,68	16,58	546,54	9,21	6,2	72,97	2,46	15,25
min.	5,42	15,47	14,76	506,98	8,76	6,2	71,66	2,21	13,7
s	0,37	0,54	0,76	15,19	0,18	0,000	0,52	0,1101	0,6828

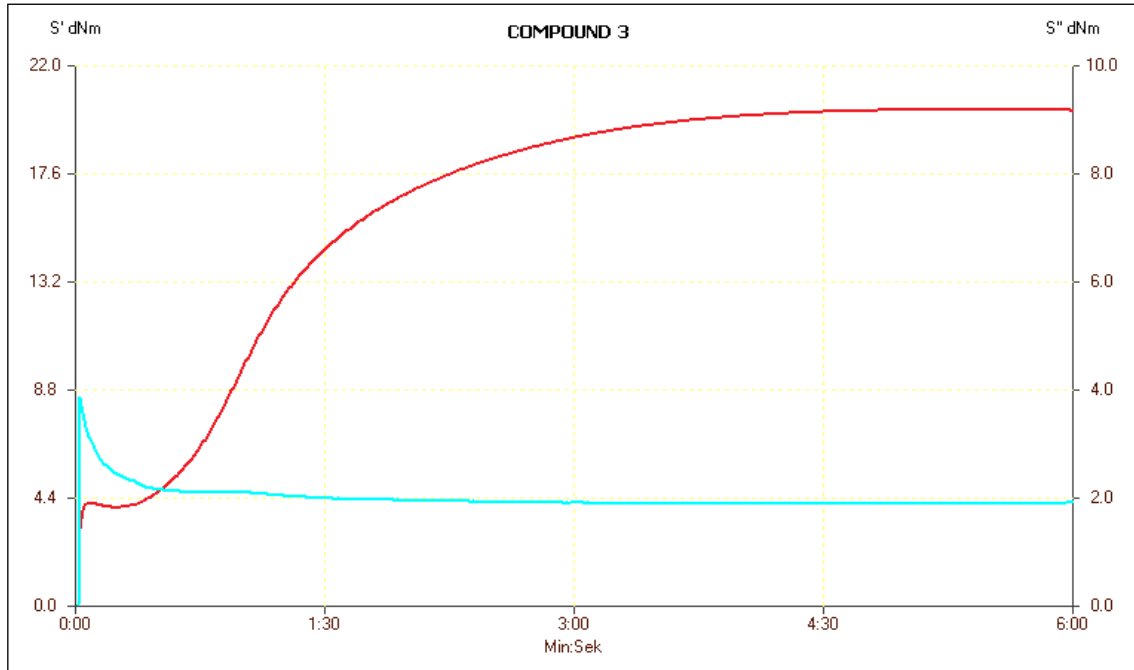
4.1.3. C3 karışımı pişirme eğrisi sonuçları

Çizelge 4.5'de C3 karışımına ait pişirme eğrisi sonuçları görülmektedir. Buradaki parametreler sırasıyla; S': Elastik tork, S'': Viskos torku ifade etmektedir.

Scorch time(TS 2) : Vulkanizasyonun ilkbaşladığı yani çapraz bağlanmanın ilk başladığı süredir. Burada malzemenin %2 kadarlık kısmı vulkanize olmuştur.

TC 90: Vulkanizasyonun tamamlandığı süredir. Burada parçanın %90'ında vulkanize işlemi tamamlanmıştır.

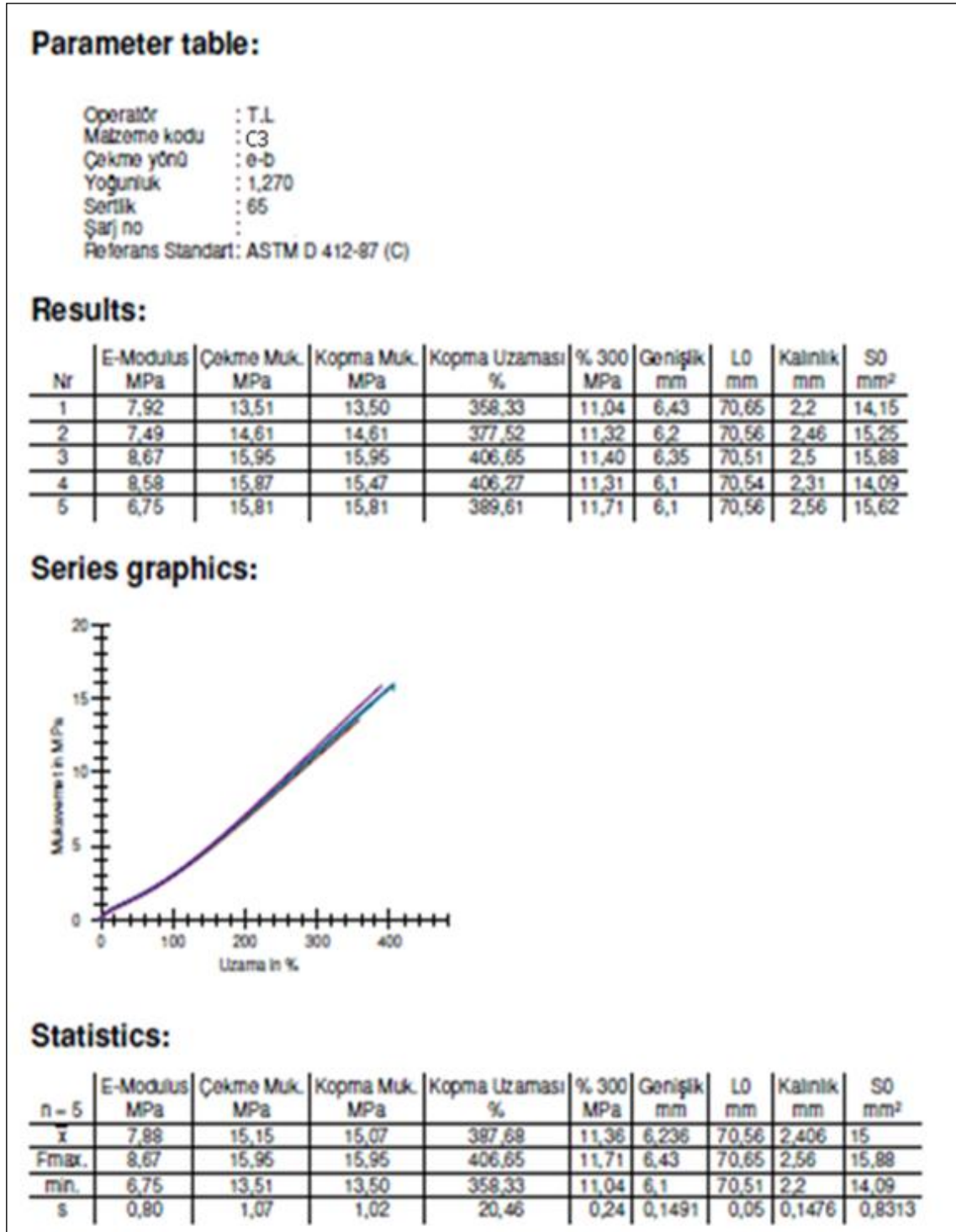
Çizelge 4.5. 175 °C de C3 Karışımına ait RPA eğrisi (Pişme karakteristiği, minimum ve maksimum tork)



	S' Min -ML-	S' Max -MH-	Scorch Time (TS 2)	TC 90
Unit	dNm	dNm	Min:Sec	Min:Sec
Tolerance limit	1.50 - 3.90	13.00 - 21.00	0.40 - 1.20	2.40 - 3.40
COMPOUND 3	3.82	20.23	0.40	2.40

Aşağıdaki çizelgede C3 karışına ait 5 farklı numunenin mukavemet ve uzama test raporu görülmektedir(Çizelge 4.6). Bu çizelgede mukavemet ve uzama değerlerinin ortalaması alınarak standart sapması hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. C3 Karışımına ait Uzama-Mukavemet test rapor



4.2. Üretilen Hava Körüğüne ait Patlatma Test Sonuçları

Sarımı ve tellenmesi gerçekleştirilen hava süspansiyon körüğünün Vulkanizasyon Presinde vulkanize edilmesiyle prototip körüğün imalatı başarıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de üretilen hava körüğü görülmektedir.



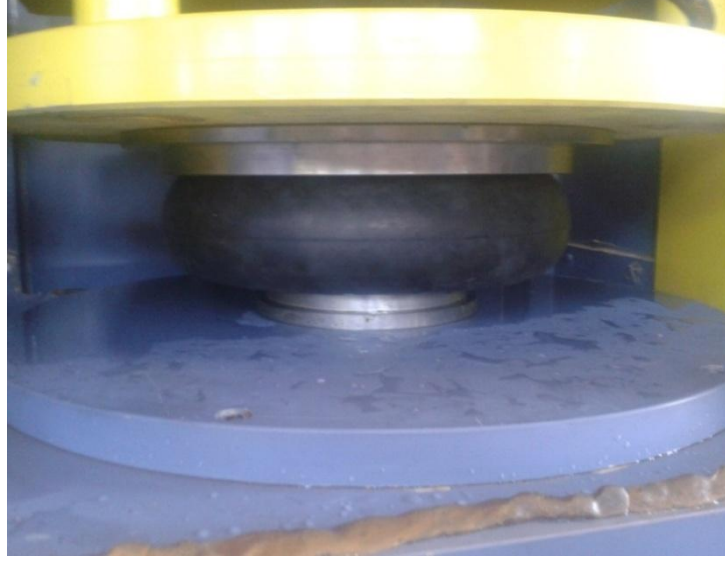
Şekil 4.1. Prototip olarak imal edilen 505 mm çapındaki roll tipi hava süspansiyon körüğü

2 farklı tip yapıya sahip körük üretilmiştir(A ve B). Her bir körük için en az 4 adet körüğün patlatma testi yapılmıştır. Patlama basıncı değerlerinin ortalaması alınmış ve standart sapması belirlenmiştir. Prototip körüklerin patlatma test sonuçları ve standart sapmaları Çizelge 4.7’de görülmektedir.

Çizelge 4.7. A ve B tipi körüklerin patlatma basınçları ve standart sapma değerleri

Körük tipi	Basınç (bar)	Standart sapma
A	18,2	$\pm 0,1$
B	18,3	$\pm 0,1$

Patlatma testi sırasında içine su ile basınç uygulanan A ve B tipi körüğün görünümü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Patlatma testi sırasında içine basınçlı su uygulanmış körük

Şekil 4.3’de A tipi körüğe ait patlatma test makinesinde patlatılmış körüğün görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.3. A tipi körük patlama sonrasındaki körüğün hasar görünümü

Şekil 4.4’de B tipi körüğe ait patlatma test makinesinde patlatılmış körüğün görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.4. B tipi körük patlama sonrasındaki körüğün hasar görünümü

4.3. Üretilen Hava Körüğüne ait Hava Sızdırmazlık Test Sonuçları

Körüğün içine kompresör ile hava verilerek körük iç basıncının belirli bir miktara ulaşmasından sonra vana kapatılmış ve 10 dakika süreyle basınçtaki değişim kaydedilerek körüğün hava sızdırmazlık testi yapılmıştır. Test sırasındaki körük bağlantı yüksekliği 175 mm dir. 3,31 bardan itibaren süreye bağlı olarak basınçtaki ve taşıma yükündeki değişim Çizelge 4.8’de verilmiştir.

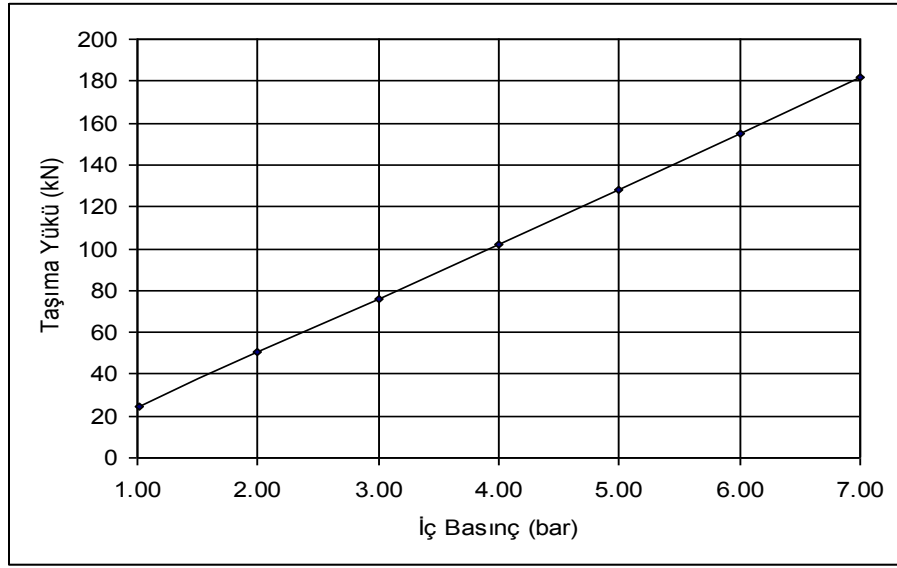
Çizelge 4.8. Hava sızdırmazlık testine ait basınç ve yük değişimi

Süre (dakika)	Basınç (bar)	Taşıma Yüğü (kN)
0	3,31	86,4
2	3,30	86,4
4	3,30	86,3
6	3,29	86,2
8	3,29	86,1
10	3,28	86,0

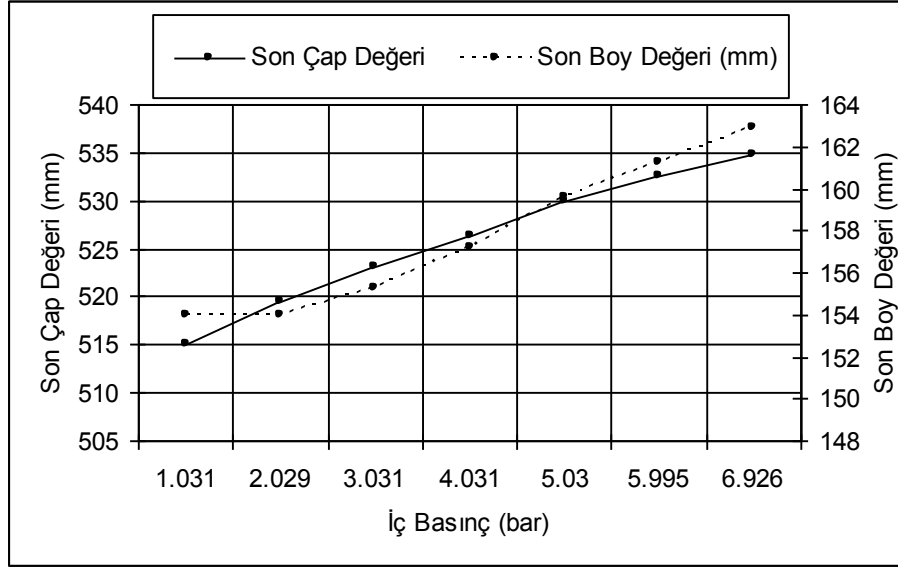
Yapılan test sonucunda 10 dakikalık süre sonunda basınçtaki düşüşün 0,03 bar olduğu tespit edilmiştir. Basınç kaybı yaklaşık %0,91 dir.

4.4. Üretilen Hava Körüğüne ait Taşıma - Genişleme Test Sonuçları

Şekil 3.15’da görülen Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılarak gerçekleştirilen Taşıma-Genişleme Testi sonucunda taşıma yükü-iç basınç, iç basınç-son çap değeri ve iç basınç-son boy değeri değişimleri elde edilmiş, bulunan sonuçlar aşağıdaki Şekil 4.5’de ve Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.5. Körük iç basıncına bağlı olarak taşıma yükünün değişimi



Şekil 4.6. Körük iç basıncına bağlı olarak körüğün son çap ve son boyu değerinin değişimi

4.5. Üretilen Hava Körüğüne ait Düşey Yay Katsayısı Test Sonuçları

İmalatı gerçekleştirilen raylı taşıt körüğünün Şekil 3.17’de belirtildiği şekilde deneyler yapılarak düşey yay katsayısı değeri belirlenmiştir. Körük içindeki basınç 4,821 bar ve bu ana karşılık gelen taşıma yükü 104,517 kN dur. Bu yük değerinde hava vanası kapatılmış müteakiben bağlantı yüksekliğinden itibaren ± 10 mm yer değiştirme uygulanarak düşey yük-düşey yer değiştirme değerleri elde edilmiş ve akabinde düşey yay katsayısı değeri hesaplanmıştır. Düşey yay katsayısı 0,1 mm/s lik ilerleme hızı için hesaplanmıştır. Deney sonuçlarının grafik gösterimi Şekil 4.7’de verilmiştir.

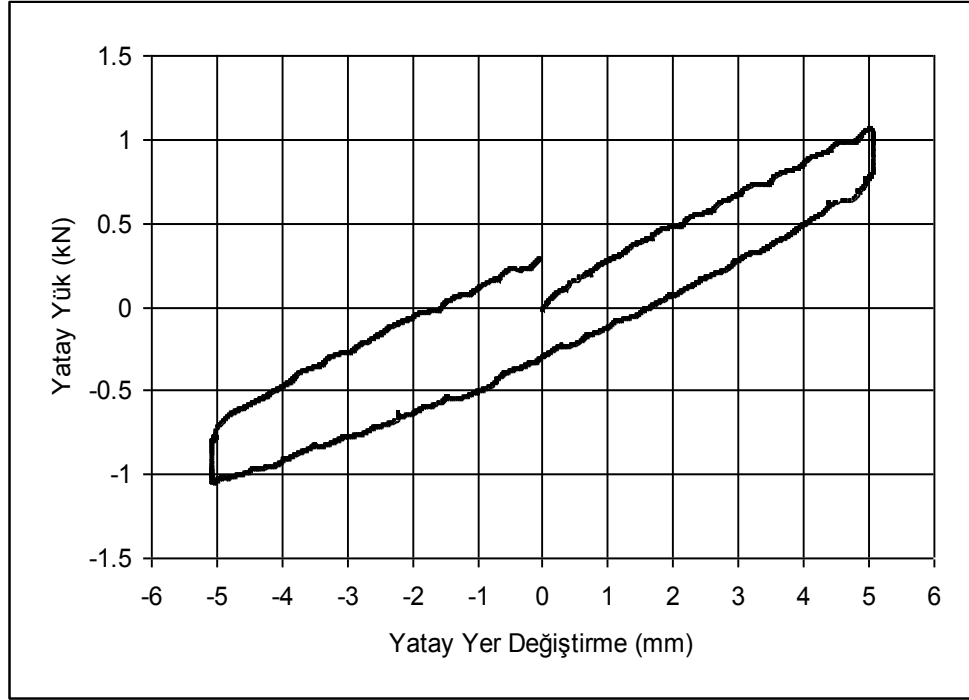


Şekil 4.7. Raylı taşıt körüğünün düşey yay katsayısının hesaplanmasında kullanılan düşey yük-düşey yer değiştirme grafiği

+10 mm den -10 mm ye kadar olan 20 mm lik yer değiştirme göz önünde bulundurularak hesaplanan düşey yay katsayısı değeri 810 N/mm olarak hesaplanmıştır.

4.6. Üretilen Hava Körüğüne ait Yatay Yay Katsayısı Test Sonuçları

Raylı taşıt körüğünün Şekil 3.17’de belirtildiği şekilde deneyler yapılarak yatay yay katsayısı değeri belirlenmiştir. Körük içindeki basınç 4,82 bar ve bu ana karşılık gelen taşıma yükü 101,561 kN dur. Bu yük değerinde hava vanası kapatılmış, ardından bağlantı yüksekliğinden itibaren yatay yönde ± 5 mm yer değiştirme uygulanarak yatay yük-yatay yer değiştirme değerleri elde edilmiş ve akabinde yatay yay katsayısı değeri hesaplanmıştır. Deney 0,1 mm/s lik ilerleme hızı için yapılmıştır. Deney sonuçlarının grafik gösterimi Şekil 4.8’de verilmiştir.

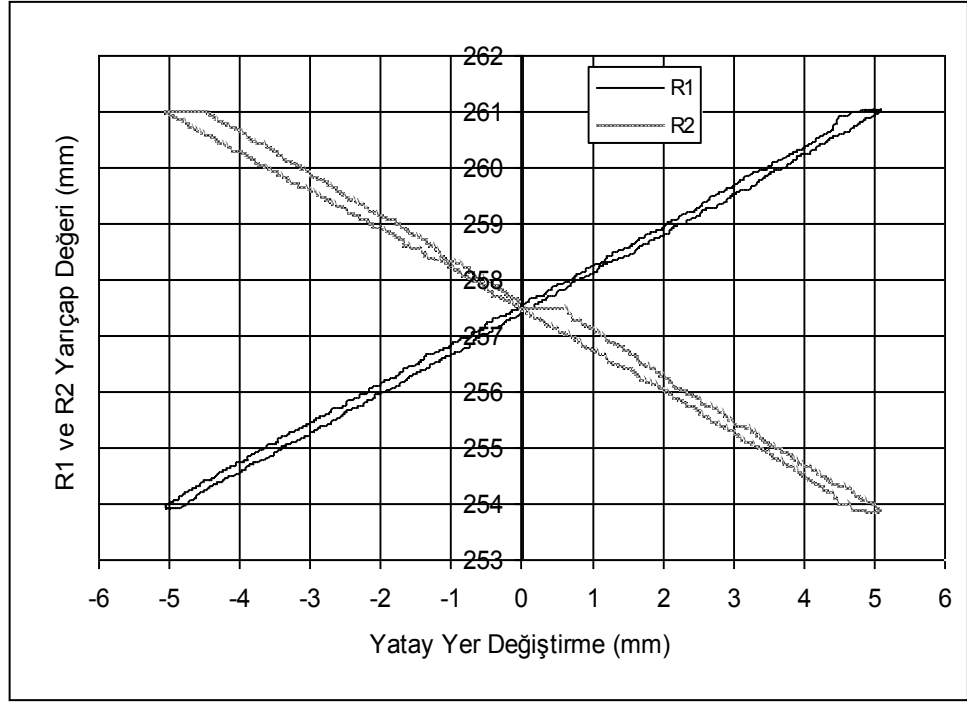


Şekil 4.8. Raylı taşıt körüğünün yatay yay katsayısının hesaplanmasında kullanılan yatay yük-yatay yer değiştirme grafiği

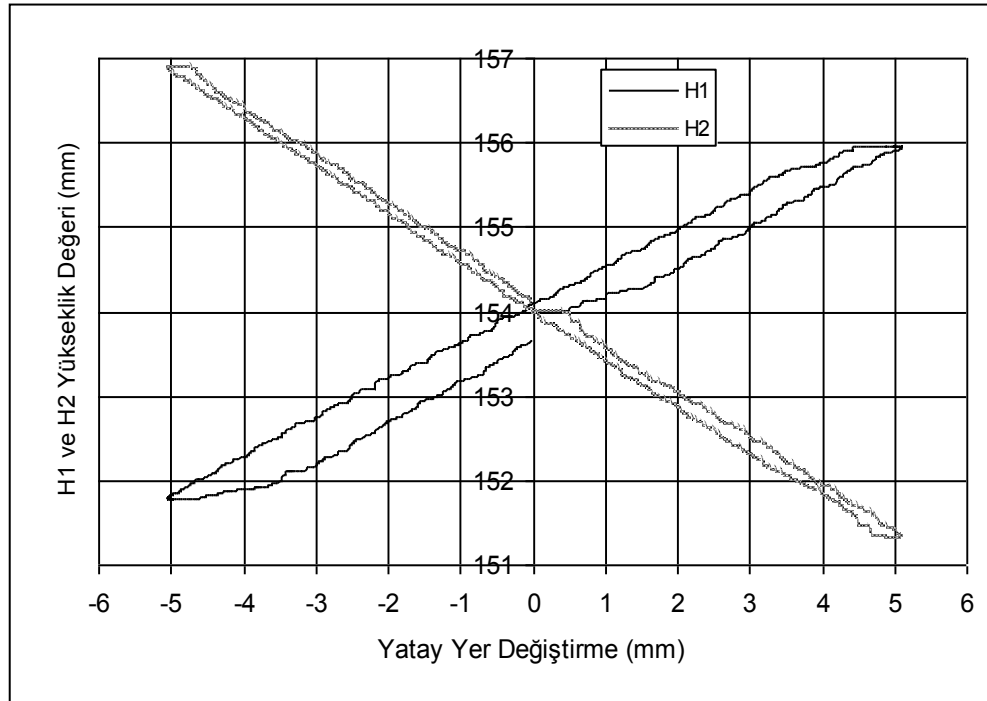
+5 mm den -5 mm ye kadar olan 10 mm lik yer değiştirme göz önünde bulundurularak hesaplanan yatay yay katsayısı değeri 210 N/mm olarak hesaplanmıştır.

4.7. Üretilen Hava Körüğüne ait Boyut Ölçüm Sonuçları

Yatay yay katsayısının belirlenmesi sırasında Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Cihazı tarafından körük üzerinden yarıçap ve yükseklik değerleri ölçülmüştür. Körük içindeki basınç 4,82 bar ve bu ana karşılık gelen taşıma yükü 101,561 kN dur. Bu yük değerinde hava vanası kapatılmış, ardından bağlantı yüksekliğinden itibaren yatay yönde ± 5 mm yer değiştirme uygulanarak körük üzerindeki H1, H2, R1 ve R2 değerlerinin değişimi gözlenmiştir. Şekil 3.16'da belirtilen R1 ve R2 nin değişimi Şekil 4.9'da, H1 ve H2 nin değişimi Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Yatay yer değiştirmeye bağlı olarak raylı taşıt köprügünün R1 ve R2 yarıçap değerlerinin değişimi



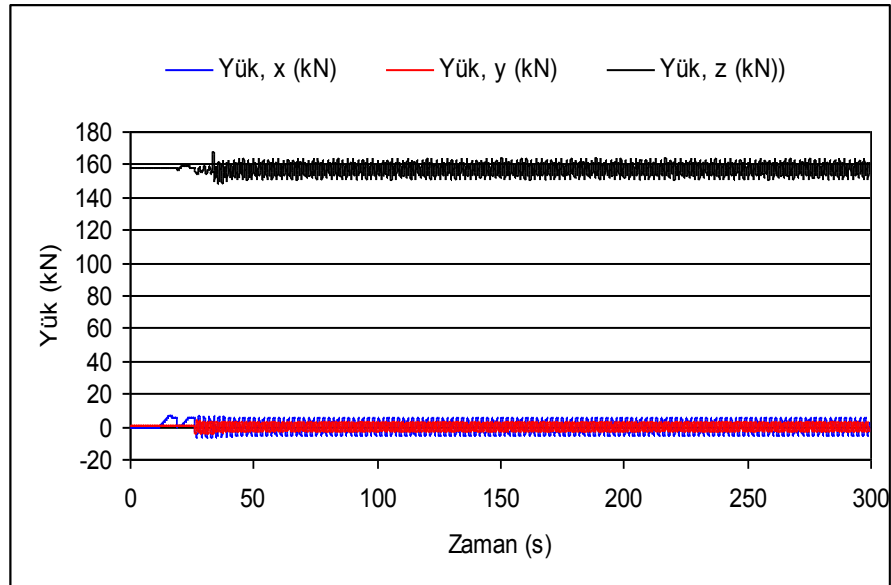
Şekil 4.10. Yatay yer değiştirmeye bağlı olarak raylı taşıt köprügünün H1 ve H2 yükseklik değerlerinin değişimi

± 5 mm lik yatay yer değişimi altında yükseklikler; H1 yüksekliği 151,7 mm ile 155,9 mm arasında değişmekte. H2 yüksekliği 151,3 mm ile 155,9 mm arasında değişmektedir.

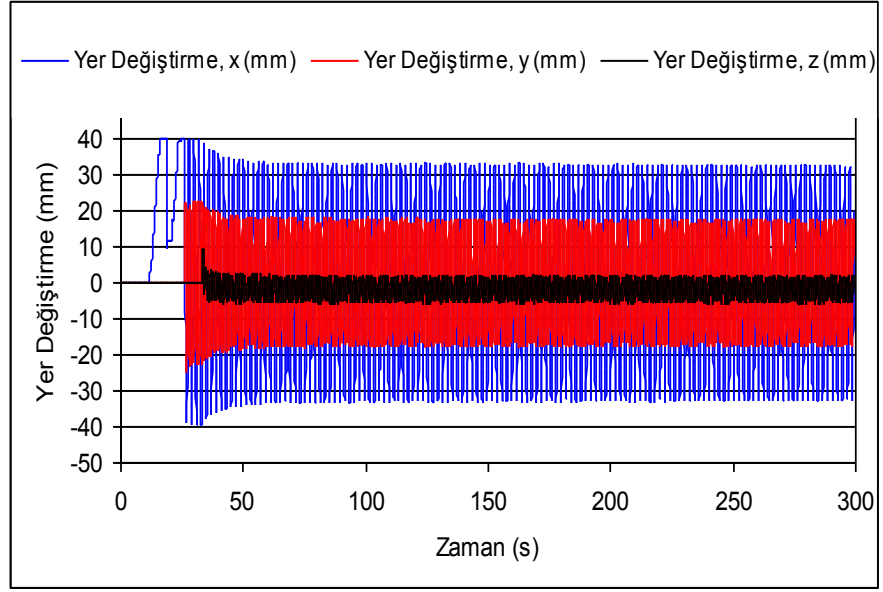
± 5 mm lik yatay yer değişimi altında yarıçaplar; R1 yarıçapı 253,9 mm ile 260,9 mm arasında değişmekte. R2 yarıçapı 253,8 mm ile 260,9 mm arasında değişmektedir.

4.8. Üretilen Hava Körüğüne ait Ömür Test Sonuçları

3.3.2.6’da belirtildiği şekilde yapılan Ömür Testi sırasında testin ilk 5 dakikası için elde edilen değerler kullanılarak çizilen grafikler Şekil 4.11’de ve Şekil 4.12’de görölmektedir. Şekil 4.11. zamana bağlı olarak x, y ve z eksenlerindeki kuvvet değerlerinin değişimini göstermektedir. Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kuvvet kontrollü bir makine olduğu için deney sırasında kuvvet değerlerindeki değişimi görmek mümkün olmuştur. Şekil 4.12. ömür testi sırasında x, y ve z eksenlerindeki yer değiştirme miktarlarını göstermektedir. Testin başlangıç bölümünden sonra kuvvet değerlerindeki değişimin kararlı bir şekilde devam ettiği ve yer değiştirme değerlerinin belirtilen aralıklarda kaldığı söylenebilir.



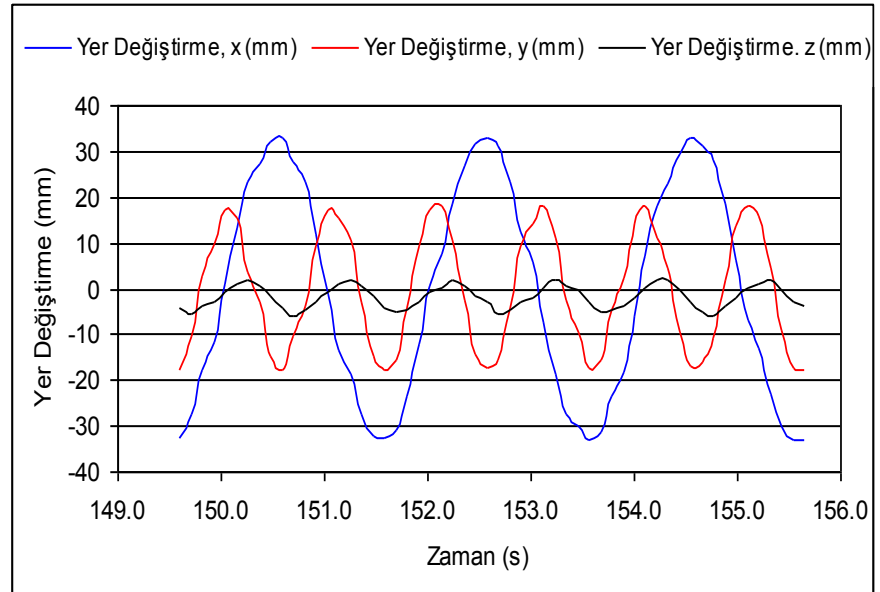
Şekil 4.11. Ömür testi sırasında zamana bağlı olarak x,y ve z eksenlerindeki kuvvet değerlerindeki değişim



Şekil 4.12. Ömür testi sırasında zamana bağlı olarak x,y ve z eksenlerindeki yer değiştirme değerleri

Ömür testinin 149,6 s ile 155,7 s aralığındaki 6,1 s lik bölümü için çizilen zaman-yer değiştirme grafiğinden hareketler sırasındaki frekans değerinin x eksenini için 0,5 Hz, y eksenini ve z eksenini için 1 Hz olduğu görülmektedir.

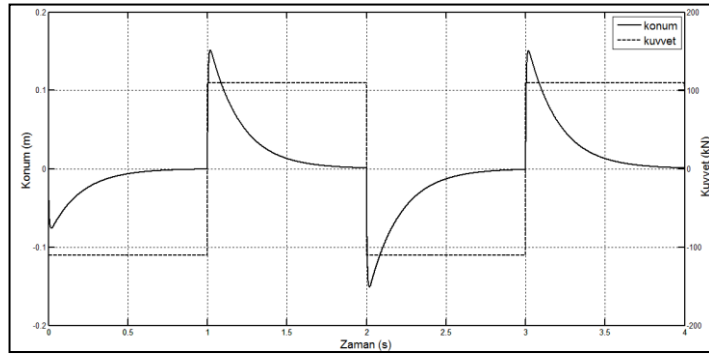
Şekil 4.13'de 6,1 s lik bölümü için çizilen zaman-yer değiştirme grafiği görülmektedir.



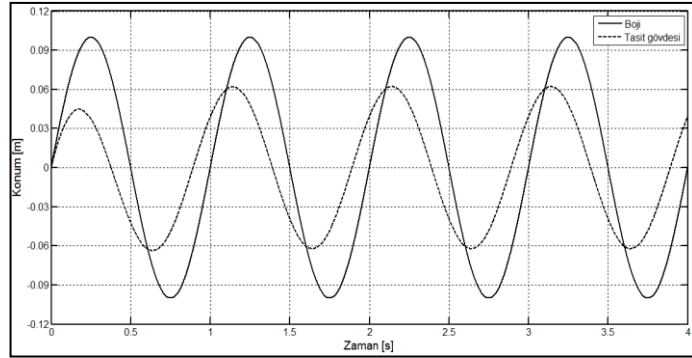
Şekil 4.13. 6,1 s lik bölüm için çizilen zaman-yer değiştirme grafiği

4.9. Üretilen Hava Süspansiyon Kırüğü Dinamik Davranış Eğrileri

Kurulan model üzerinde sistem üzerine vagondan yaklaşık olarak 110 kN şiddetinde 0,5 Hz titreşim frekansında kare dalga şeklindeki yüke ve 0,1 m şiddetinde 1 Hz'lik titreşim frekansındaki sinusoidal boji yer değiştirmesine karşılık gösterdiği dinamik davranış eğrileri Şekil 4.14'de görölmektedir. Buradan da görüldüğü gibi ikincil süspansiyon sistemlerinde havalı yay sistemlerinin kullanılmasıyla titreşimlerin sönümlenebildiği söylenebilir.



(a). Vagona $F=110$ kN şiddetinde $f= 0,5$ Hz frekansında yük uygulanması durumunda vagon gövdesi konum değişimi



(b). Bojide $x_{boji}= 0,1$ m şiddetinde $f= 1$ Hz frekansında konum değişimi olması durumunda vagon gövdesi konum değişimi

Şekil 4.14. Hava kırük sisteminin dinamik davranış eğrileri

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

Patlatma testi sonuçlarına göre A ve B tipi körüklerde test sonuçları sırasıyla $18,2 \pm 0,1$ bar ve $18,3 \pm 0,1$ bar olarak belirlenmiştir.

Hava sızdırmazlık testi sonucuna göre üretimi ve testleri gerçekleştirilen raylı taşıt körüğündeki basınç kaybı değerinin yaklaşık %0,91 olduğu belirlenmiştir.

Taşıma-Genişleme test sonuçlarına göre körük içindeki hava basıncının artmasıyla taşıma yükünün lineer olarak arttığı görülmüştür.

7 bar lık bir basınç altında körüğün çapındaki artış yaklaşık 19,7 mm yani % 3,8 lik bir artış meydana gelmiştir. Körüğün boyundaki artış yaklaşık 8,9 mm yani %5,7 lik bir artış meydana gelmiştir.

Düşey yay kat sayısı tespit sonuçlarına göre; imal edilen raylı taşıt körüğünün 105 kN luk taşıma yükü, ± 10 mm lik yer değiştirme ve 0,1 mm/s lik test hızı için hesaplanan düşey yay katsayısı 810 N/mm olarak hesaplanmıştır.

Yatay yay kat sayısı tespit sonuçlarına göre; imal edilen raylı taşıt körüğünün 102 kN luk taşıma yükü, ± 5 mm lik yer değiştirme ve 0,1 mm/s lik test hızı için hesaplanan yatay yay katsayısı 210 N/mm olarak hesaplanmıştır.

± 5 mm lik yatay yer değişimi altında yarıçap ve yükseklik değerleri; H1 yüksekliği 151,7 mm ile 155,9 mm arasında değişmekte. H2 yüksekliği 151,3 mm ile 155,9 mm arasında değişmektedir. R1 yarıçapı 253,9 mm ile 260,9 mm arasında değişmekte. R2 yarıçapı 253,8 mm ile 260,9 mm arasında değişmektedir.

Ömür testinin seçilen zaman aralığında ki (6,1 s) bölümü için çizilen zaman-yer değiştirme grafiğinden hareketler sırasındaki frekans değerinin x eksenini için 0,5 Hz, y eksenini ve z eksenini için 1 Hz olduğu görülmüştür.

Sistemin dinamik davranışından elde ettiğimiz sonuçlara göre de ikincil süspansiyon sistemlerinde havalı yay sistemlerinin kullanılmasıyla titreşimlerin sönmülenebildiği söylenebilir.

Yukarıda belirtilen özelliklerin iyileştirilmesine yönelik olarak Ar-Ge çalışmalarına devam edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Aba, E., 1994. Bir Yolcu Vagonunun Dinamik Tasarımı ve Titreşim Konforunun Analizi Üzerine Bir Yaklaşım, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü., İstanbul.

Alfi S., Bruni, S., Diana, G., Facchinetti, A., Mazzola. L., 2011. “Active Control of Air spring Secondary Suspension to Improve Ride Quality and Safety against Crosswinds”. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: *Journal of Rail and Rapid Transit*. Vol :225 No:1, pp:84-98.

Anonim, 2001. Kauçuk Ürünleri Özel İhtisas Komisyonu Raporu, www.dpt.gov.tr/DocObjects/Download/3289/oik612.pdf, 2001, Ankara.

Anonim, 2001. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/524KI0245.pdf, 2001(Erişim Tarihi: Temmuz 2012).

Anonim, 2003. “BS-EN 13913 Demir Yolu Uygulamaları: Lastik Süspansiyon Elemanları, Elastomer Tabanlı Mekanik Parça Standardı”

Anonim, 2004. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Schwebebahn_ueber_Strasse.jpg (Erişim Tarihi: Şubat 2013).

Anonim, 2004 . “TS-EN 13597 Demir yolu Uygulamaları - Lastik Amortisör Sistemleri - Pnömatik Amortisör Yayları için Lastik Diyaframlar”

Anonim, 2006. “BS-EN 14817 Demir Yolu Uygulamaları: Süspansiyon Elemanları-Hava Yayı Denetim Elemanları Standardı”

Anonim, 2007. http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_rapid_transit (Erişim Tarihi: Mart 2013).

Anonim, 2008. http://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Banliy%C3%B6_Treni.jpg (Erişim Tarihi: Şubat 2013).

Anonim, 2008. <http://www.theepochtimes.com/news/8-1-12/63946.html> (Erişim Tarihi: Şubat 2013).

Anonim, 2009. Ulaşımında Demiryolu Gerçeği. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8509a15320d3d1a_ek.pdf, 2009 (Erişim Tarihi: Temmuz 2012).

Anonim, 2010. <http://hizlitren.tcdd.gov.tr/#/photos/img3.gif>, (Erişim Tarihi: Mart 2013)

Anonim, 2010. Pnömatiksüspansiyonlar.<http://gurultutitresim.com/category/titresim-yalitim-izolasyonu/air-spring/> (Erişim Tarihi: Haziran 2012).

Anonim, 2011. <http://www.urbanrail.net/af/alg/algiers.htm> (Erişim Tarihi: Şubat 2012).

Anonim,2011. http://www.contitech.de/pages/presse/messen-veranstaltungen/pr-messen/2011/111020_Bus_on_rails/presse_en.html (Erişim Tarihi: Kasım 2012).

Anonim, 2011. http://www.contitech.de/pages/produkte/luftfedersysteme/schienenfahrzeuge/produkte_sekundaer_en.html (Erişim Tarihi: Kasım 2012).

Anonim, 2012. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8509a15320d3d1a_ek.pdf, 2009 (Erişim Tarihi: Haziran 2012).

Anonim, 2012. <http://www.enerjiport.com/wpcontent/uploads/2012/03/%C4%B0pekb%C3%B6ce%C4%9Fi1.jpg>. (Erişim Tarihi: Mart 2013).

Anonim, 2012. http://news.xinhuanet.com/english/photo/2012-12/28/c_132069857_6.htm (Erişim Tarihi: şubat 2013).

Anonim, 2012. Patent Araştırma Veri Tabanı www.espacenet.com (Erişim Tarihi: 2012).

Anonim, 2013. “Kauçuk Malzemeler”, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kau%C3%A7uk> – (Erişim Tarihi: şubat 2013).

Bahrekazemi, M., 2004. Train-Induced Ground Vibration and Its Prediction.

Bayraktar, M., Güçlü, R., Metin. M., 2009. “Modelling of Air Springs in a Rail Vehicle”.13th International Research/Expert Conference. “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2009, Hammamet, Tunisia, 16-21 October 2009. pp:829-832.

Bleakley, S.S., 2006. Time Frequency Analyses of Railway Wagon Body Accelerations for a Low-Power Autonomus Device, Central Queensland University, Australia.

Broeck, P. V., 2001. A Prediction Model for Ground-borne Vibrations due to Railway Traffic, Katholieke Universiteit Leuven, *Thesis for the degree of Doctor of Philosophy*, Belgium.

Cai, Z., 1992. Modelling of Rail Track Dynamics and Wheel/Rail Interaction, Department of Civil Engineering, Queen’s University, *Thesis for the degree of Doctor of Philosophy*, Canada.

Codecà F., Savaresi, S. M., Spelta, C., Montiglio, M., Leluzzi, M., 2007. “Semiactive Control of a Secondary Train Suspension”. 2007 IEEE/ASME international conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 4-7 Sept. 2007. Zürich. pp: 1-6

Collette, C., Preumont, A., 2010. “High frequency energy transfer in semi-active suspension” *Journal of Sound and Vibration* Vol:329, pp: 4604–4616.

Dengiz, B. ve Kutay, F., 1997. “Türkiye’de ve Avrupa Birliği Ülkelerinde Demiryolları”, 2. Ulusal Demiryolu Kongresi, 15-17 Aralık, _stanbul, 31-42.

Dikmen. F., Bayraktar, M., Güçlü, R. 2011. “Vibration analysis of 19 degrees of freedom rail vehicle”. *Scientific Research and Essays* Vol. 6(26), pp. 5600-5608.

Dong, R., 1994. Vertical Dynamics of Railway Vehicle-Track System, Concordia University, Canada.

Durmuş, A., Özgün, R.E., Ülkü, S., 2010. “Kauçuk-Metal Burçlarda Kauçuk Sertliği ve Çaplama İşleminin Kopma Mukavemetine Etkisi”, 5. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 07-08 Haziran 2010, Bursa, s. 425-431.

Erzan, E. , 2000. “Bir Elektromekanik Kumandalı Hidrolik Takoz Tasarımı ve Analizi”, Uludağ Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Bursa.

Eser, M. ve Tarhan, Z., 1997. “2000’li Yıllarda Demiryolu Tasımacılığı”, 2. Ulusal Demiryolu Kongresi, 15-17 Aralık, _stanbul, 383-390.

Esveld, C., 2001. Modern Railway Track, Second Edition, TU Delf University, Netherlands.

Gardien, W. ve Stuit, H.G., 2003. “Modelling of Soil Vibrations from Railway Tunnels”, *Journal of Sound and Vibration* 267: 605-619.

Gavriloski, V., Jovanova, J., 2010. “Dynamic Behaviour of an Air Spring Element”. International Virtual Journal. *Machine- Technologies- Materials*. Issue: 4-5. pp.24-27.

Goodall, R.M., Mei T. X. ve Li H., 2003. “Steering Controllers for Rail Vehicles with Independently-driven Wheel Motors”, Electronic Systems and Control Division Research., 4-6.

Güçlü, R., Metin, M., 2009. “Fuzzy Logic Control of Vibrations of a Light Rail Transport Vehicle in Use in Istanbul Traffic”. *Journal of Vibration and Control*. Vol:15, No: 9. pp: 1423-1440.

Jalili, N., 2002. “A Comparative Study and Analysis of Semi-Active Vibration Control Systems”. *Journal of Vibration and Acoustics*. Vol: 124. pp: 593-605.

Karayel, D. ve Erel, K., 1997. “Raylı Sistemlerde Süspansiyon Sistemlerinin Performans Analizi”, Ulaşım Kongresi, 399-411.

Karnopp, D., Crosby, M.J., Harwood. R.A., 1974. “Vibration Control Using Semi-Active Force Generators”. *Journal of Engineering for Industry*. pp: 619-626.

Kırısık, R. ve Yüksel, S., 2003. “Demiryolu Ray Yapısının Tittresim Modeli”, 11. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Ankara, 301-306.

Kim, H., H. Lee. 2011. “Height and Leveling Control of Automotive Air Suspension System Using Sliding Mode Approach”. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Vol: 60, No: 5. pp: 2027-2041.

Knothe, K., 2001. *Gleisdynamik*, Technische Universität Berlin, Berlin.

Lei, X. ve Noda, N.A., 2002. “Analyses of Dynamic Response of Vehicle and Track Coupling System with Random Irregularity of Track Vertical Profile”, *Journal of Sound and Vibration*, 258(1):147-165.

Li, H. ve Goodall, R. M., 1999. “Linear and Non-linear Skyhook Damping Control Laws for Active Railway Suspensions”, *Control Engineering Practice* , 7:843-850.

Li, H., Mei, T. X., Pearson, J. T. ve Goodall, R. M., 2002. “Non-linear Kalman Filter Estimation for Active Steering of Profiled Rail-wheels”, 15th Triennial World Congress, Barcelona.

Li, P., Goodall, R.M. 2003. Model Based Approach to Railway Vehicle Fault Detection and Isolation

Li Z., Shen, X., Li, M., Guo, J., Wu, Y., Jiang, W., 2011. “Analysis on Mechanical Characteristics of Diaphragm Air Spring for Semi-active Suspension”. 2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet 2011), Xianning, China, 16-18 April 2011, Vol: 6, pp:4781-4784.

Liu Y., Waters, T.P. Brennan, M.J., 2005. “A comparison of semi-active damping control strategies for vibration isolation of harmonic disturbances”. *Journal of Sound and Vibration*. Vol: 280, pp: 21–39.

Liu Y ., Matsuhisa, H., Utsuno, H., 2008. “Semi-active vibration isolation system with variable stiffness and damping control”. *Journal of Sound and Vibration* 313 . pp:16–28.

Mastinu, G. R. M., Gobbi, M., Pace, G.D., 2001. “Analytical Formulae for the Design of a Railway Vehicle Suspension System”. IMechE 2001. *Proc. Instn. Mech. Engrs.* Vol 215, Part C. pp. 683-698.

Mei, T. X., Li, H., Goodall, R. M. 2001. “Kalman Filters Applied to Actively Controlled Railway Vehicle Suspensions”, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*,23,3:163-181.

Mei, T. X. ve Goodall, R. M., 2006. “Stability Control of Railway Bogies Using Absolute Stiffness: Sky-hook Spring Approach”, *Vehicle System Dynamics*, 44:83-92.

Mellado, A., Conde , Casanueva, C., Vinolas, J. and Giménez, J. G., 2009. “A Lateral Active Suspension for Conventional Railway Bogies”. *Vehicle System Dynamics*, 47: 1, pp. 1- 14.

Metin, M. 2007. Raylı Sistem Araçlarının Modellenmesi ve Titreşimlerinin Kontrolü

Metin, M., Güçlü, R., Yazıcı, H., Yalçın, N.S., 2007. “Raylı Taşıt Titreşimlerinin Bulanık PID Kontrolör ile Aktif Kontrolü”, TOK’07. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı Bildirileri Kitabı*, 5-7 Eylül 2007.s:77-82.

Nieto, A.J., Morales, A.L., Chicharro, J.M., Pintado, P., 2010. “Unbalanced machinery vibration isolation with a semi-active pneumatic suspension”. *Journal of Sound and Vibration* 329. pp:3–12.

Nishimura, K., Perkins, N.C., Zhang, W., 2004. “Suspension Dynamics and Design Optimization of a High Speed Railway Vehicle”. *Proceedings of the IEEE Joint Rail Conference*. April 6-8, 2004, Baltimore, Maryland, USA. pp. 129-139.

Oman, S., Nagoda, M., Fajdiga, 2009. “The material characterization of the air spring bellow sealing layer”, *Materials and Design* Vol:30 pp:1141-1150.

O’Neill, H. R., Wale, G.D., 1994. “Semi-Active Suspension Improves Rail Vehicle Ride”. *Computing & Control Engineering Journal*. August 1994. pp. 183-188.

Orlava, A. ve Boronenko, U., 2006. *The Anatomy of Railway Vehicle Running Gear*, Handbook of Railway Vehicle Dynamics Edited by Simon _vnicki, CRC Pres Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Orvnäs A, Stichel S and Persson R., 2011. “Active Lateral Secondary Suspension with H_{∞} Control to Improve Ride Comfort: Simulations on a Full-Scale Model”. *Vehicle System Dynamics*, Vol. 49, No. 9, pp. 1409-1422.

Orvnäs A, Stichel S and Persson R., 2010. “Ride Comfort Improvements in a High-Speed Train with Active Secondary Suspension”. Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics (JSME), Vol. 3, No. 1, pp. 206-215.

Presthus, M., 2002. Derivation of Air Spring Model Parameters for Train Simulation, Lulea University of Technology, Sweden.

R. Toprak, Aktürk. N., 2002. “Raylı Ulaşım Sistemlerinin Neden Olduğu Gürültü ve Çevresel Etkileri”. Tmh - *Türkiye Mühendislik Haberleri* Sayı 417 - 2002/1. s:33 -38.

Sasaki, T., 2000. “A Lateral Semi-Active Suspension of Tilting Train”. QR of RTRI. Vol 41, No 1, pp. 11-15.

Savran, H.Ö., 2001. Elastomer Teknolojisi 2, *Kauçuk Derneği yayınları*, 1996, İstanbul

Sayyaadi, H., Shokouhi, N., 2010. “Effects of Air Reservoir Volume and Connecting Pipes Length and Diameter on the Air Spring Behaviour in Rail Vehicles”. Iranian Journal of ScienceTechnology. Transaction B. Vol: 34 (5). pp: 499-508

Sezer, S., Atalay, A. E., 2011. ”Dynamic modeling and fuzzy logic control of vibrations of a railway vehicle for different track irregularities”. Simulation Modelling Practice and Theory 19 (2011) 1873–1894.

Sihong, Z., Jiasheng, W., Ying, Z., 2008. “Research on Theoretical Calculation Model for Dynamic Stiffness of Air Spring with Auxiliary Chamber” . IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), September 3-5, 2008, Harbin, China.

Solak, A.O., Kabasakal, A. 2010. Demiryolu ve Karayolu Ulaştırma Sistemlerinin Ekonomik Etkinlik Analizi

Stribersky, A., Kienberger, G., Wagner, H., Müller, 1998. “Design and Evaluation of a Semi-Active Damping System for Rail Vehicles”, Vehicle System Dynamics Supplement. Vol.28,pp. 669-681.

Suda Y., Wang, W., Komine, H., Sato, Y., Nakai, T., Shimokawa, Y., 2006. “Study on control of air suspension system for railway vehicle to prevent wheel load reduction at low-speed transition curve negotiation”. Vehicle System Dynamics Vol. 44, pp:814–822.

Sun, J., 2011. “Calculation of vertical stiffness of air spring with FEM”. 4th ANSA & µETA International Conference. Greece. <http://www.beta-cae.gr/conference04.htm>.

Şengirgin, M., Yüksel, İ., Erzan, E., Şefkat, G., Şiren. M.N., 2000. “Pasif ve Yarı Aktif Süspansiyon Sistemlerinin Titreşim Yalıtım Performansının İncelenmesi”. 9. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, UMTİK’2000. ODTÜ. Ankara. Eylül 2000. s.213 -222.

Tabak, S.M., 2003. “Dört Akslı Bir Tren Modelinin Titresimlerinin Kontrolü”, 11. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Ankara, 459-462.

Tang, J. S. 1996. “Passive and Semi-Active Airspring Suspensions for Rail Passenger Vehicles-Theory and Practice”. IMechE 1996. Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol 210, pp. 103-117.

Tanifujia, K., Koizumib, S., Shimamune, R., 2002. “Mechatronics in Japanese Rail Vehicles: Active and Semi - Active Suspensions”. *Control Engineering Practice*. 10. pp: 999–1004.

Topçu E.E., Yüksel, İ., Kamiş, Z., 2002. “The Design and Analysis of an Active Hydraulic Mount”. ASME International ESDA2002, 6th Biennial Conference on Engineering System Design and Analysis, July 8-11 2002. ITU, Istanbul-Turkey.

Qualia, G., Sorli, M., 2001. “Air Suspension Dimensionless Analysis and Design Procedure”. *Vehicle System Dynamics*. Vol. 35, No. 6, pp. 443-475.

Yagiz, N., Gursel, A., 2005. “Active Suspension Control of a Railway Vehicle with a Flexible Body”, *Int. J. Vehicle Autonomous Systems*. 3, (1).

Yang J., Huang, Q., Li, W., Yang. J., 2006. “A Bench Study on Lateral Semi-active Control System for High-speed Railway Vehicle” *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, June 25 - 28, 2006, Luoyang, China. pp: 1335-1339.

Yang, Q., Xu, X., Zhou, K., 2010. “Fuzzy Adaptive PID control of Semi-Active Air Suspension”. 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), 24-26 Aug. 2010 China. Vol: 2 pp: 513-516.

Yang, Z.B., Zhang, J., Wang, C., 2011. “ Research on Semi-active Control of High-speed Railway Vehicle Based on Neural Network-PID Control”. 2011 Seventh International Conference on Natural Computation. pp: 673 -676.

Yılmaz, V. O., 2004. Demiryolu Üstyapısının Dinamik Davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü., İstanbul.

Yu, W., Wei, L., Li, N., 2009. “Application of Self-Adjustable Fuzzy Control Algorithm in the Air Suspension of the Vehicle”. Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. China. pp: 676-680.

Zolotas, A.C., Shen, S. , Mei, T.X., Goodall, R.M., Pearson, J.T. 2004. Kalman Filter Design for a High Speed Bogie Active Stability System.

Zolotas, A. C., Pearson, J. T. ve Goodall, R. M., 2006. “Modelling Requirements for the Design of Active Stability Control Strategies for a High Speed Bogie”, Multibody System Dynamics, 15:51-56.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burhan SARIOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Yozgat -1983
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Yozgat Atatürk Lisesi (1997 - 2001)
Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
(2002 - 2006)
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana
Bilim Dalı
(2010 - 2013)

Çalıştığı Kurum/ Kurumlar ve Yıl : ÜÇGE A.Ş.
(2006 -)

İletişim (e-posta) : sarioglu.burhan@gmail.com