

**DOĞAL KAUCUK/BÜTADIEN KAUCUK ESASLI
ELASTOMERİK MALZEMELERİN HAZIRLANMASI,
KARAKTERİZASYONU VE RAYLI SİSTEM
ARAÇLARINDA BİRİNCİL SÜSPANSİYON TİTREŞİM
SÖNÜMLEME ELEMANI OLARAK KULLANIMININ
İNCELENMESİ**

**PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF
NATURAL RUBBER/BUTADIENE RUBBER BASED
ELASTOMERIC MATERIALS AND EXAMINATION OF
ITS USE AS PRIMARY SUSPENSION DAMPING
ELEMENTS IN RAIL SYSTEM VEHICLES**

ECE FATMA ŞAHİN

PROF. DR MURAT ŞEN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Sevgili Aileme,

ÖZET

DOĞAL KAUÇUK/BÜTADIEN KAUÇUK ESASLI ELASTOMERİK MALZEMELERİN HAZIRLANMASI, KARAKTERİZASYONU VE RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA BİRİNCİL SÜSPANSİYON TİTREŞİM SÖNÜMLEME ELEMANI OLARAK KULLANIMININ İNCELENMESİ

Ece Fatma ŞAHİN

Yüksek Lisans, POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANA BİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat ŞEN

Haziran 2022 , 62 Sayfa

Bu tezin amacı doğal kauçuk ve bütadien kauçuk kullanılarak farklı oranda ve farklı türde karbon siyahları ile hamur sistemlerinin hazırlanması, hazırlanan bu karışımların pişme özelliklerinin incelenmesi ve karakterizasyonun yapılması, karbon siyahının elastomer özelliklerine etkisinin değerlendirilmesi ve hazırlanan karışımların raylı sistem araçlarında birincil süspansiyon olarak kullanılan elastomer esaslı konik yaylarda kullanımının incelenmesidir.

Tez kapsamında dört farklı reçete oluşturulmuştur. Reçetelerde doğal kauçuk bütadien kauçuk oranı sabit tutulmuş dolgu maddesi karbon siyahının oranı ve türü değiştirilmiştir. Hazırlanan kauçuk karışımların önce Hareketli Kalıp Reometresinde (MDR) cihazında pişme davranışları incelenmiştir. Pişme özelliklerine göre belirlenen sıcaklık ve sürede hidrolik preste test plakaları üretilmiştir. Hazırlanan test plakaları üzerinden sertlik, kalıcı deformasyon, mekanik testler ve ısıl yaşlandırma testleri yapılmıştır.

Kauçuk karışımlarında kullanılan karbon siyahlarının türünün etkisinin değerlendirilmesi ve diğer dinamik mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi amacı ile Kauçuk Proses Analizör (RPA) cihazı yardımı ile karışımların farklı frekanslarda depo modül değerleri ve çapraz bağ yoğunlukları bulunmuştur.

Karbon siyahının depo modülü üzerindeki etkisini gözlemek amacıyla ayrıca farklı frekanslarda DMA cihazıyla da frekans taraması yapılmıştır. DMA cihazı ile karışımların sönümlenme özellikleri de belirlenmiştir. Ayrıca disklerin konik yay ürünüde kullanımını değerlendirebilmek için Elastomer Test Sistemi cihazı ile yük altında, farklı frekanslarda tarama yapılarak karışımların sönümlenme, doğal frekans, titreşim geçirgenliği ve direngenlikleri değerlendirilmiştir.

Elde edilen veriler ışığında karışımlar arasından seçilen NR50 formülü ile elastomer esaslı konik yay hazırlanarak, konik yay için tanımlanan şartname değerlerine uygunluğu ve araçta kullanılabilirliğini incelemek amacı ile elastomer esaslı konik yaya; kalıcı deformasyon, dikey – yanal yük altında yer değiştirme (direngenlik) testleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ışığında, geliştirilen karışımların elastomer esaslı konik yayda kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal Kauçuk, Bütadien Kauçuk, Karbon Siyahı, Birincil Süspansiyon, Konik Yay, Sönümlenme, Mekanik Özellikler

ABSTRACT

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF NATURAL RUBBER/BUTADIENE RUBBER BASED ELASTOMERIC MATERIALS, AND EXAMINATION OF ITS USE AS PRIMARY SUSPENSION DAMPING ELEMENTS IN RAIL SYSTEM VEHICLES

Ece Fatma SAHIN

Master of Science, Department of Polymer Science and Technology

Supervisor: Prof. Dr. Murat SEN

June 2022, 62 pages

The aim of this thesis is to prepare rubber compound systems with different ratios and different types of carbon blacks by using natural rubber and butadiene rubber, and identification of vulcanization conditions and characterization of these prepared mixtures, to evaluate the effectiveness of carbon black used and also using of these mixtures as the primary suspension in rail systems vehicles to be elastomer based conical springs

In this thesis, four different compounds were prepared. Compounds were prepared by using different ratios and types of carbon black as filler by keeping the ratio of natural rubber butadiene rubber constant. First, the curing behavior of the prepared rubber mixtures in the Moving die Rheometer (MDR) device was investigated. Test plates were produced in the hydraulic press at the temperature and time determined according to the curing characteristics. Hardness, permanent deformation, mechanical tests and thermal aging tests were carried out on the prepared test plates.

In order to evaluate the effect of the type of carbon black used in rubber mixtures and to evaluate other dynamic mechanical properties, the storage modulus values and cross-link densities of the mixtures at different frequencies were found with the help of Rubber Process Analyser (RPA) system.

In order to observe the storage module effect of the carbon black effect, frequency scanning was performed with DMA device at different frequencies by using discs prepared from rubber mixtures. The damping properties of the mixtures were also determined with Elastomer Testing System , in order to evaluate its use in the conical spring product for separator discs, damping, natural frequency, vibration permeability and stiffness of the mixtures were evaluated by scanning at different frequencies under load with the test device.

In the light of the data obtained, an elastomer-based conical spring was prepared with the NR50 formula selected from among the mixtures, and in order to examine its compliance with the specification values defined for the conical spring and its usability in the vehicle, permanent deformation, displacement (resistance) tests under vertical – lateral load were carried out for the elastomer-based conical springs. As a results of the experimental studies, it has been proven that the developed mixtures in this thesis can be used in elastomer-based conical springs.

Keywords: Natural Rubber, Butadiene Rubber, Carbon Black, Primary Suspension, Conical Spring, Damping, Mechanical Properties

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgisi, tecrübesi ve yol gösterici davranışlarıyla desteklerini benden esirgemeyen, kauçuk ve polimer ile ilgili bilgi birikimime büyük katkısı olan, verimli bir yüksek lisans süreci geçirmemi sağlayan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Murat Şen hocama çok teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans sürecimde bana her zaman yardımcı ve destek olan Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü PBT Ana Bilim Dalı Öğretim Görevlisi Dr. Davut Aksüt'e ve laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan Araştırma Görevlisi Zühra Çınar'a teşekkür ederim. DMA çalışmaları için yardımcı olan bilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Bağdagül Karaağaç'a ve öğrencisi Tuba Ünügül'e ayrıca çok teşekkür ederim.

Beni yüksek lisansa teşvik eden, araştırma ve geliştirme çalışmalarımıza destek sağlayan, şirket değil çalışanları için bir 'okul' yaratan, sanayide 50. Yılımı dolduran işverenim Sayın Akman Karakülah'a teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans sürecinde desteklerini esirgemeyen, işverenim Sayın Muammer Karakülah'a teşekkür ederim.

Kauçuk konusundaki bilgi ve tecrübesini bana aktaran, beni her zaman destekleyenler arasında olan, benim için en iyi kauçuk mühendisi Özgül Şenol'a ve benim için en iyi kauçuk ustası Muharrem Arslantaş'a teşekkür ederim. Tez çalışmam sürecinde tasarım ve testler konusunda bana yardımcı olan çalışma arkadaşlarım Kaan Doğanay'a, Fatih Biçer'e, meslektaşlarım Elif Teksoy'a ve Berat Duran'a, aile olarak gördüğüm, yüksek lisans sürecimde her zaman yardımcı ve destek olan tüm Babacan Kauçuk çalışanlarına teşekkür ederim. Kauçuk karışımlarını hazırlama konusunda destek olan, bilgilerini ve tecrübelerini benden esirgemeyen Güven Atal'a teşekkür ederim. Testler konusunda yardımcı olan sayın hocamız Servet Şehirli'ye teşekkür ederim. Prototip denemeleri aşamasında yardımlarını, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Safa Kaplan, Gökhan Arık ve İbrahim Dinçer'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, eğitimim konusunda beni her zaman destekleyen sevgili annem Songül Şahin'e ve sevgili babam Ersan Şahin'e çok teşekkür ederim. Tez yazım sürecimde beni destekleyen ve motive eden yol arkadaşım Deniz Can Baştuğ'a ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Kauçuk Malzemeler	5
2.2. Doğal Kauçuklar	5
2.3. Sentetik Kauçuklar	7
2.4. Bütadien Kauçuklar.....	7
2.5. Kauçuk Karışımların Hazırlanması	8
2.5.1. Karışımlarda Dolgu Maddesi Olarak Kullanılan Karbon Siyahları.....	9
2.5.2. Diğer Dolgu Maddeleri.....	10
2.5.3. Karışımda Kullanılan Diğer Maddeler.....	11
2.5.4. Vulkanizasyon.....	12
2.6. Elastomer ve Sönümlenme.....	17
2.7. Birincil Süspansiyon Konik Yayılar.....	17
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
3.1. Karışımların Hazırlanması	19
3.1.1. Kullanılan Malzemeler.....	19
3.2. Karışım Reçeteleri.....	20
3.2.1. Test Plaklarının Hazırlanması.....	20
3.3. Deneysel Ölçümler.....	22
3.3.1. Reolojik Ölçümler.....	22
3.3.2. Sertlik Testi.....	24
3.3.3. Mekanik Testler.....	25
3.3.4. Kalıcı Deformasyon Testi.....	26

3.3.5. Isıl Yaşlanma Testleri.....	27
3.3.6. Dinamik Mekanik Analiz.....	28
3.3.7. Elastomer Test Sistemi Analizleri.....	29
3.3.8. Birincil Süspansiyon Konik Yayların Kalıcı Deformasyon Testleri.....	30
3.3.9. Birincil Süspansiyon Konik Yayların Yanal ve Dikey Yük – Yer Değiştirme Testleri.....	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Karışımların Pişme Davranışlarının İncelenmesi	33
4.2. Hazırlanan Elastomerlerin Kauçuk Proses Analizörü (RPA) ile İncelenmesi.....	35
4.3. Hazırlanan Elastomerlerin Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Sertlik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi	38
4.4. Hazırlanan Elastomerlerin Kalıcı Deformasyon Sonuçları	41
4.5. Hazırlanan Elastomerlerin DMA ile Sönümlenme Davranışlarının İncelenmesi.....	42
4.6. Hazırlanan Elastomerlerin Elastomer Test Sistemi ile Sönümlenme Davranışlarının İncelenmesi... ..	44
4.7. Raylı Sistem Araçlarında Kullanılan Birincil Süspansiyon Konik Yayların Hazırlanması ve Testlerinin Yapılması	49
5. SONUÇLAR.....	54
6. KAYNAKLAR	58
EK 1 - Tez Çalışması Orjinallik Raporu.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bütadien Kauçuğun Yapısı	7
Şekil 2.2. Kükürt Yapılarının Şematik Gösterimi	13
Şekil 2.3. Vulkanize Edilmemiş Ve Kükürt İle Vulkanize Edilmiş Kauçuk Molekülleri	13
Şekil 2.4. Değişik çapraz bağlanma şekilleri [1].....	14
Şekil 2.5. Tipik Reometre Eğrisi	15
Şekil 2.6. Reometre Eğrisi.....	16
Şekil 2.7. Boji Tasarımı.....	18
Şekil 3.1. Banbury Cihazı (a) Hamur Makinesi (b)	19
Şekil 3.2. Hidrolik Pres	21
Şekil 3.3. Test Plakaları Tasarımları	21
Şekil 3.4. MDR Test Cihazı	22
Şekil 3.5. RPA Test Cihazı.....	23
Şekil 3.6. Tablalı Sertlik Ölçer.....	25
Şekil 3.7. 30 kN Mekanik Test Cihazı	26
Şekil 3.8. Kalıcı Deformasyon Test Düzeneği	27
Şekil 3.9. Etüv Cihazı.....	28
Şekil 3.10. DMA cihazı.....	29
Şekil 3.11. MTS Test Cihazı	30
Şekil 3.12. Konik yay test düzeneği	30
Şekil 3.13. Konik yay yanal yük test düzeneği	31
Şekil 3.14. Dikey Yer Değiştirme Test Düzeneği	32
Şekil 4.1. Karışımların 140°C ve 150°C’de ki Pişme Eğrileri	34
Şekil 4.2. Pişmiş ve Pişmemiş Örneklerin Depo Modülünün Türev – Frekans Grafiği .	36
Şekil 4.3. Karışımların Pişmiş ve Pişmemiş Örnekler İçin Depolama Modülünün Frekans ile Değişimi.....	37
Şekil 4.4. MT 50 Karışımından Hazırlanan Elastomerlerin Mekanik Özellik Eğrisi	39
Şekil 4.5. NR 50 Karışımından Hazırlanan Elastomerlerin Mekanik Özellik Eğrisi.....	39
Şekil 4.6. MT 60 Karışımından Hazırlanan Elastomerlerin Mekanik Özellik Eğrisi	40

Şekil 4.7. NR 60 Karışımından Hazırlanan Elastomerlerin Mekanik Özellik Eğrisi	40
Şekil 4.8. Karışımların Sönümlenme ($\tan \delta$) Değerlerinin Frekansla Değişimi.....	43
Şekil 4.9. Karışımların $\tan \delta$ Değerlerinin Frekansla Değişimi	45
Şekil 4.10. Karışımların İletilebilirlik – Frekans Eğrisi.....	47
Şekil 4.11. Elastomer sistemlerinin direngenliğinin frekansla değişimi	48
Şekil 4.12. Konik Yayda Kullanılan Metal Parçaların Tasarım Görselleri	49
Şekil 4.13. Orjinal konik yay tasarımı	49
Şekil 4.14. Prototip konik yayın dikey yük – yer değiştirme eğrisi.....	52
Şekil 4.15. Üretilen Konik Yay	53
Şekil 4.16. Konik Yayın Sirio Tramvayındaki Kullanım Yeri	53

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Karbon Siyahları	10
Tablo 3.1. Karışım Reçeteleri	20
Tablo 4.1. Karışımların 140°C'deki Reometre Sonuçları	35
Tablo 4.2. Hazırlanan Elastomerlerin Çapraz Bağ Yoğunlukları.	36
Tablo 4.3. Karışımların Isıl Yaşlanma Öncesi Ve Sonrası Mekanik, Sertlik Özelliklerinin İncelenmesi.....	38
Tablo 4.4. Karışımlarının Kalıcı Deformasyon Test Sonuçları	41
Tablo 4.5. Karışımların Doğal Frekans Değerleri.....	46
Tablo 4.6. Karışımların $T_r = 1$ deki Frekans Değerleri.....	47
Tablo 4.7. Prototip Konik Yay Kalıcı Deformasyon Testi	50
Tablo 4.8. Prototip konik yay yanal test sonuçları	51
Tablo 4.9. Prototip konik dikey yük test sonuçları	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
BR	Bütadien Kauçuk
CB	Karbon Siyahı
CRI	Pişme Hız Endeksi
DMA	Dinamik Mekanik Analiz
FEF	Hızlı Ekstrüzyon Siyahı
g	Gram
HAF	Yüksek Aşınma Karbon Siyahı
Hz	Hertz
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
kPa	Kilopascal
m	Kütle
MDR	Hareketli Kalıp Reometresi
MPa	Megapascal
mm ³	Milimetreküp
MT	Yarı Kuvvetlendirici Karbon Siyahı
MTS	Malzeme Test Sistemi
N	Newton
NR	Doğal Kauçuk
phr	Yüz Kısım Kauçuk Başına
R	İdeal gaz sabiti
RPA	Kauçuk Proses Analizörü

1. GİRİŞ

Kauçuk malzemeler Charles Goodyear'ın 19. Yüzyılda vulkanizasyonu bulmasından beri kullanılmaktadır. Doğal kauçuk ve sentetik kauçuk olarak iki farklı türü mevcuttur. Araç lastikleri, sızdırmazlık elemanları, titreşim sönümlenme elemanları gibi hayatımızda önem teşkil eden birçok malzemenin hammaddesi kauçuktur [1].

Kauçuk esaslı titreşim sönümlenme elemanları raylı sistemler, otomotiv, iş makineleri, endüstriyel makineler, hava araçları gibi birçok araç ve ekipmanda kullanılmaktadır. Dinamik bir ortamdan kaynaklanan titreşim etkilerini en aza indirmek için mühendislik uygulamalarında titreşim sönümlenme elemanları olarak yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Ekipmanın veya aracın yük değerine, titreşim frekansına, operasyon sıcaklıklarına bağlı olarak ürünlerde farklı kauçuk türleri ve karışımları kullanılmaktadır. Kauçuk malzeme reçeteleri kullanılacak olan operasyon şartlarına bağlı olarak hazırlanmaktadır. Geleneksel olarak kauçuk titreşim takozlarında doğal kauçuk polimeri ve güçlendirici etkisi bulunan dolgu maddesi olarak karbon siyahı kullanılmaktadır. Doğal kauçuklar, yırtılma mukavemeti, elastikiyet, düşük sıcaklık dayanımı ve titreşim sönümlenme özelliklerinden dolayı titreşim sönümlenme elemanlarında tercih edilmektedir. Bütadien kauçuklar ise karışımlarda, doğal kauçuk ile karıştırılarak aşınma mukavemeti, düşük ısı dayanımı, yaşlanmaya karşı özelliklerinin iyileştirilmesi ve viskozitesi sabit olmayan doğal kauçuğun karışımda viskozitesini dengelemek için kullanılırlar. Karbon siyahları ise kauçuk bileşikleri yapımında en yaygın olarak kullanılan dolgu türüdür. Tanecik boyutu ve yüzey alanına göre sınıflandırılırlar. Özellikle tanecik boyutu küçük olan karbon siyahlarının kauçuk karışımlarının fiziksel özellikleri üzerinde güçlendirici bir etkisi vardır. Aktif olarak kullanılan bir karbon siyahı vulkanize olmuş bir kauçuğun performansını arttırabilir [3].

Literatür taraması incelediğinde doğal kauçuk (NR) ve Bütadien kauçuk (BR) karışımları ile ilgili yapılan çalışmalar bazı çalışmalara rastlanmaktadır.

Yapılan bir çalışmada doğal kauçuk, bütadien kauçuk ve dolgu maddesi olarak farklı miktarda karbon siyahı (CB) eklenerek yapılan karışımlara, karbon siyahı miktarının reolojik, morfolojik ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. 70 phr NR, 30 phr BR içeren karışımlara 0, 10, 20, 30, 40, 50 phr karbon siyahı eklenmiştir. Karışımların, Flory Rehner denklemi kullanılarak çapraz bağ yoğunlukları bulunmuştur. Karbon siyahı miktarının artması ile çapraz bağ yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Bu

artışın nedenin, kauçuk zincirler ile CB yüzeyi arasındaki fiziko-kimyasal adsorpsiyon nedeniyle oluşan 3D ağların oluşumuna ve iyileştiricilerin varlığı nedeniyle oluşan kimyasal çapraz bağlara bağlanabildiği savunulmuştur. Karbon siyahı miktarının artması ile karışımların sertlik değeri artmıştır. Kauçuk karışımların belirli bir hacme kadar CB siyahı alabildiği ve sertlik değerinin CB miktarı arttıkça artacağı fakat kritik hacim konsantrasyonundan sonra sertlik değerinin düşeceği savunulmuştur. Yapılan çalışmada ayrıca karışımların kopma mukavemeti ve kopma anındaki uzama değerleri incelenmiştir. NR, BR ve CB arasındaki fiziko-kimyasal adsorpsiyonun birleşik aktivitesi (yani, CB'nin BR fazına bölünmesi, kısıtlı alanlar, NR ve BR arasındaki ara yüzey kuvveti ve doldurulmuş karışımlarda NR'nin stres kaynaklı kristalleşmesi) ve CB – CB ağı, kopma mukavemetinde bir artışa neden olduğu savunulmuştur. Kopma mukavemeti 40 phr CB dolgu eklenmesine kadar artmış, ardından 50 phr için %15 azaldığı gözlemlenmiştir. Kopma mukavemetindeki azalışın, partikül karmaşıklığının bir sonucu olarak CB'nin artan yapısına, optimum çapraz bağ oluşumundan sonraki aşırı çapraz bağların oluşumunun kopma mukavemetini azaltmasına bağlanabileceği savunulmuştur. Kopma anındaki uzama değerleri incelendiğinde; dolgunsuz karışımın kopma anındaki uzama değeri en yüksektir. 30 phr CB eklenen karışımlara kadar kopma anındaki uzama değerinde artış, daha sonra azalış gözlemlenmiştir. Bunun nedenin 30 phr'a kadar CB, BR fazını güçlendirmesi ile polimer – dolgu etkileşiminin olabileceği, 40 ve 50 phr CB eklenmesinden sonra kauçuk zincirlerin serbest hareket edememesi ile kopma anındaki uzama değerinin azalacağı savunulmuştur [4].

Chiu ve Tsai'nin yapmış olduğu çalışmada, yüksek aşınma karbon siyahı (N330) ile desteklenen, farklı oranlarda doğal kauçuk ve bütadien kauçuk kullanılarak hazırlanan karışımlarının mekanik özellikleri, hava geçirgenliği ve yaşlanma özellikleri incelenmiştir. Karışımlarda kullanılan NR oranının artması ile kopma mukavemeti, kopma uzaması ve yırtılma mukavemeti değerlerinin arttığı görülmüştür. Sıcaklık altında yapılan kalıcı deformasyon testinde ise BR oranının artması ile kalıcı deformasyonun azaldığı görülmüştür. BR oranının artması ile ısıl yaşlanma direncinin arttığı gözlemlenmiştir [5].

Karbon siyahı ile güçlendirilmiş doğal kauçuk/bütadien kauçuk ve doğal kauçuk/bütadien kauçuk/stiren-bütadien (SBR) kauçuk bileşiklerinin reolojik, mekanik ve termomekanik özelliklerini incelemek amacı ile yapılan bir diğer çalışmada, düşük ısı birikimi özelliği ile bilinen SBR 1502 , Nd katalizörü ile üretilen, 63 ve 44 Mooney

viskoziteli (M.V) farklı iki BR türü ve standart Vietnam kauçuğu (SVR CV60), 50 phr CB (HAF330) kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. NR, NR/SBR, NR/BR1 (63 M.V), NR/BR1/SBR, NR/BR2 (44 M.V), NR/BR2/SBR ile hazırlanan karışımlarda en iyi kalıcı deformasyon değerinin 50 phr NR, 50 phr BR2 ile hazırlanan NR/BR2 karışımında olduğu gözlemlenmiştir. Yine 50 phr NR, 50 phr BR1 ile hazırlanan NR/BR1 karışımının kalıcı deformasyonun diğer karışımlardan iyi olduğu gözlemlenmiştir. Karışımlar 180 °C'de vulkanize edilerek RPA cihazında, dolgu maddelerinin çapraz bağlanmış yapıyı güçlendirici etkisi yani payne etkisi incelenmiştir. En iyi durum NR/BR karışımlarında görülmüştür. BR'nin eklenmesinin NR, CB arasındaki olumlu etkileşimler nedeni ile dolgu dispersiyon kalitesini iyileştirdiği gözlemlenmiştir [6].

Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü Polimer Bilimi Ana Bilim Dalı'nda Arta Babapour tarafından yapılan yüksek lisans tezinde; dolgu maddesi olarak farklı oranlarda N330 ile farklı oranlarda NR/BR kauçukları kullanılarak karışımlar hazırlanmış, karışımların reolojik, mekanik, yaşlanma, kalıcı deformasyon, aşınma özellikleri ve ozon dayanımı incelenmiştir. BR oranının artması ile vulkanizasyon aktivasyon enerjisinin azaldığı gözlemlenmiştir. NR içerisine eklenen BR miktarının artması ile karışımların ısıl yaşlanma, kalıcı deformasyon, aşınma kaybı özelliklerinde iyileşme gözlemlenmiştir. Ancak mekanik dayanım ve yırtılma özelliklerinde azalma gözlemlenmiştir. Ozon dayanımını incelemek amacı ile değişik karbon siyahı tipleri (N330,N660,N990) karbon siyahları ile karışımlar hazırlanmış olup; N660, N990 ile hazırlanan karışımların ısıl yaşlanma ve ozon dayanım özelliklerinde iyileşme gözlemlenmiştir. Ancak bu tip karbon siyahlarının kuvvetlendirici etkisinin az olmasından dolayı mekanik özelliklerinde azalma gözlemlenmiştir. [7].

Bu tezde dört farklı karışım hazırlanmış olup karışımlarda titreşim sönümlenme özelliğinin iyi olduğu bilinen doğal kauçuk ile doğal kauçuğun eksi yönlerini dengelemek amacı ile kullanılan bütadien kauçukla karışımlar hazırlanmıştır. Reçetelerde doğal kauçuk bütadien kauçuk oranı sabit tutulmuş, dolgu maddesi karbon siyahının oranı ve türü değiştirilmiştir. Karbon siyahı türlerinin ve oranlarının pişme özelliklerine, mekanik özelliklere, yaşlandırma özelliklerine, kalıcı deformasyona ve dinamik mekanik özelliklere etkisini incelemek amacı ile çeşitli testler yapıp sonuçlar değerlendirilmiştir.

Raylı sistem araçlarında süspansiyon sağlamak ve titreşim sönümlemeyi sağlamak amacı ile boji kısmında birincil ve ikincil yaylar kullanılmaktadır. Aracın taşıdığı yüke, istenen konfora göre metal yaylar ve metal kauçuk bileşenlerden oluşan birincil süspansiyon yaylar kullanılmaktadır. Özellikle metal – kauçuk bileşenlerden oluşan birincil süspansiyon titreşim sönümleme elemanlarının, raylı sistem araçlarının süspansiyon özelliklerini arttırdığı bilinmektedir [8].

Ülkemizde raylı sistem araçlarında kullanılan birincil süspansiyon konik yaylar ithal ürün olarak temin edilmektedir. Aynı zamanda temin edilen ürünlerin herhangi bir kauçuk şartnamesi bulunmamaktadır. Literatür taraması yapıldığında ise daha önce yapılan çalışmalarda kauçuk karışımlara ait karakterizasyon çalışması yapılmadığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında nihai ürün birincil süspansiyon konik yaylarda istenen kalıcı deformasyon, yanal – dikey yük test verileri ışığında kauçuk karışımlar hazırlanıp, karışımların karakterizasyonu yapılarak, prototip ürünlerinde şartnameye uygunluğunun değerlendirilmesi ile yapılacak testlerle literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kauçuk Malzemeler

Kauçuk malzemeler; çapraz bağlanmamış ama çapraz bağlanabilme özelliğine sahip yani vulkanize olabilen polimerlerdir. Yüksek sıcaklıkta ve deforme edici kuvvetlerin etkisi altında koyu kıvamsı akış özelliği gösterirler. Böylece uygun şartlar altında şekillendirilebilirler. Kauçuk 16. ve 19. yüzyıllarda çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Kristof Kolomb'un kauçuğu ilk tanıyan kaşif olduğu tahmin edilmektedir. 19. Yüzyılda Charles Goodyear'ın vulkanizasyon işlemini bulması ile kauçuk hayatımızdaki birçok önemli parçanın içerisinde yer almaya başlamıştır.

Kauçuk çok maksatlı, geniş kullanım potansiyeli olan, yaşamın her alanında iç içe olduğumuz bazıları hayati önem taşıyan lastik malzemelerin yegane hammaddesidir [1]. Özellikle otomotiv sektöründe insan hayatı için çok önemli fonksiyonel parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Kauçuğun kullanımı sadece otomotiv sektörü ile sınırlı değildir. Enerji, maden, savunma, medikal, raylı sistemler, iş makineleri, tekstil, elektronik, beyaz eşya, inşaat gibi birçok sektörde önemli bir yer teşkil etmektedir. Araç lastikleri, akaryakıt ve fren hortumları, cam silecekleri, sızdırmazlık contaları, kapı ve cam profilleri, titreşim takozları, izolasyon elemanları, kaplin lastikleri, diyaframlar gibi birçok ürün kauçuk malzemelerden üretilmektedir. Kauçuğun, doğal ve sentetik olarak geliştirilmiş birçok farklı çeşidi mevcuttur.

2.2. Doğal Kauçuklar

Doğal kauçuk (NR), Kristof Kolomb'un Haiti yerlilerini "cau-uchu" veya ağlayan odun denilen bir ağacın salgılarından yapılmış toprakla oynarken bulduğu 1493 yılından beri kauçuk türüdür. 'Kauçuk' terimi ise İngiliz kimyager Joseph Priestly tarafından kurşun kalem izlerini silme yeteneği nedeniyle ortaya çıktı. Doğal kauçuğu 1736'da Avrupa'ya ilk kez tanıtan ve 1745'te gözlemlerini yayınlayan Fransız bilim adamı Charles de la Condamine'dir. Bundan sonra yavaş yavaş kauçuğun endüstriyel uygulamaları keşfedildi. Modern kauçuk endüstrisinin büyümesinin yolunu açan şey, 1841'de Charles Goodyear tarafından vulkanizasyonun keşfi olmuştur.

Doğal kauçuğun molekül yapısı cis 1-4 poliizoprendir ve dünyanın birçok bölgesinde çok çeşitli bitkilerde lateks olarak bulunur. Önemli miktarda kauçuk içeren lateks Moraceae, Euphorbiaceae, Apocynaceae ve Compositae familyalarına ait bazı bitki türlerinde bulunur. En önemli kaynak ise Hevea brasiliensis ağacıdır. Diğer

kaynaklardan elde edilen lateksler, düşük kauçuk içeriği, yüksek reçine içeriği ve ekstraksiyondaki zorluklar gibi dezavantajlara sahiptir [9].

Hevea brasiliensis ağacı Tayland, Endonezya, Malezya, Brezilya, Vietnam gibi tropikal iklimlerde yetişir. Ağacın iç kabuğunda bulunan lateks, gövdede açılan yarıklardan akıtılarak toplanır ve pıhtılaştırılır. En eski pıhtılaştırma yöntemi Güney Amerika'da uygulanan dumanlı pıhtılaştırma yöntemidir. Diğer adıyla tütsüleme olarak bilinir. Çağdaş plantasyonlarda ise lateks, seyreltik asit ya da formik asit gibi kimyasal maddelerle su yüzeyinde bir katman halinde toplanır. Daha sonra merdaneler arasından sıkıştırılarak geçirilir ve fazla suyu atılır. Kurutma işlemlerinden sonra blok, pale krep, blok kauçuk, brown krep haline getirilerek paketlenir [10].

Doğal kauçuklar üretim yöntemine göre RSS (Ribbed Smoked Sheets) , Pale Krep, ve üretilen ülkeye göre teknik olarak sınıflandırılmış SMR (Standard Malaysian Rubber), SIR (Standard Indonesian Rubber) gibi içerisindeki kirlilik oranı, kül miktarı azot içeriği, uçucu madde gibi özelliklere göre ayırt edilen türleri vardır.

Doğal kauçuk %99,9 cis - poliizopren yapısında ve ortalama molekül ağırlığı 200.000 – 400.000 arasındadır. Geniş bir molekül ağırlığı dağılımına sahiptir. Her polimer zincirinde 3000 – 5000 arasında izopren birimi bulunmaktadır.

Doğal kauçuklar, geniş bir molekül ağırlığı dağılımına sahip olması nedeni ile mükemmel bir işleme özellikleri gösterirler. Polar olmayan diğer kauçuklarla yüksek oranda karıştırılabilmektedir. Diğer kauçuklarla karıştırılarak, doğal kauçuğun eksik yönleri güçlendirilebilir.

Doğal kauçuktan üretilen ürünler; dolgu maddeleri, vulkanizatlar ve yumuşatıcıların da etkisi ile 30 Shore A'dan ebonit sertliğine kadar geniş bir aralıkta sertlik elde edilebilir.

Diğer mühendislik malzemelerinde olduğu gibi, doğal kauçuğun pratik uygulamalarının çoğunda da mukavemet özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bu özelliklerin çoğu tanımlanabilir ve ölçülebilirdir. Bunlar arasında en yaygın olarak ölçülenler çekme mukavemeti, yırtılma mukavemeti ve yorulmaya karşı dirençtir.

Çoğu sentetik elastomer ile karşılaştırıldığında NR'nin belki de en çarpıcı özelliği, herhangi bir takviye maddesinin yardımı olmadan bile yüksek gerilme mukavemetidir. Takviye edici dolgu maddeleri ve vulkanizatların etkisi ile kopma mukavemeti değerleri 30 MPa değerini bulabilmektedir. NR, aynı zamandan %200 – 1000 arasında değişebilen yüksek kopma anında uzama değerine sahiptir.

Yırılma mukavemeti, elastikiyet, kalıcı deformasyon, düşük sıcaklık dayanımı, yaşlanmaya dayanım, aşınma mukavemeti ve titreşim sönümleme doğal kauçuğun önemli özellikleridir. Bu nedenle doğal kauçuktan; araç lastikleri, hortumlar, vibrasyon, şok ve ses emici malzemeler, cam silecek lastikleri, ayakkabı tabanı, konveyör bant, körükler ve deprem izolatörleri gibi birçok önemli ürün üretilmektedir.

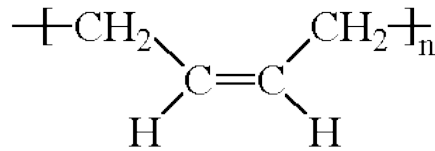
2.3. Sentetik Kauçuklar

Doğal kauçuğun sadece tropikal iklimlerde yetişmesi ve 1900'li yıllarda artan kauçuk ihtiyacından ve kauçuğun tropikal ülkelerde tekelleştirilmesinden dolayı sanayi ülkelerini 'kauçuk sentetik olarak üretilebilir mi?' sorusuna yöneltti. 1909 yılında Alman kimyacı Firtz Hofmann sentetik kauçuğun formülünü buldu. Ardından özel uygulamalar için birçok kauçuk türü üretilmiştir. Günümüzde de geliştirilmeye ve yeni türler üretilmeye devam edilmektedir. Başlıca kullanılan sentetik kauçuk türleri ise; doğal kauçuğun yerine bulunan izopren (IR), aşınmaya ve dış hava koşullarına karşı dirençli ürünler elde edilebilen stiren bütadien (SBR).

Ozon, ısı ve aleve karşı direnci olan kloropren kauçuk (CR), ozona karşı mükemmel dayanım gösteren etilen – propilen terpolimeri (EPDM), yağ ve yakıtlara karşı direnç gösteren akrilonitril bütadien (NBR), yüksek sıcaklıklarda çalışabilen metil – vinil silikon (VMQ) ve florokarbon (FKM), elastikiyet özellikleri iyi olan epiklorohidrin (CO) ve onun geliştirilen tipi olan epiklorohidrin kopolimeri (ECO) , bu tez kapsamında kullanılan, detaylı olarak anlatılan bütadien (BR) kauçuklar sentetik kauçukların başlıca türleri arasındadır.

2.4. Bütadien Kauçuklar

1930 yıllarında doğal kauçuğa muadil benzer malzeme arayışında ortaya çıkan bütadien kauçuklar, 1960'lı yıllarda ticari olarak kullanılmaya başlamıştır.



Şekil 2. 1. Bütadien Kauçuğun Yapısı

Bütadienin katılma 1,4 veya 1,2 şeklinde polimerizasyonu ile elde edilirler. Tekrarlanan birim bütadiendir. Titan, kobalt, nikel, neodmiyum ve alkil lityum bileşikleri gibi katalizörler kullanılarak üretilirler [10]. Genellikle yüksek cis 1 – 4 içeren polibütadien tipleri ticari olarak tercih edilmektedir. Üretim yöntemine ve kullanılan katalizörlerin bütadiene etkisine göre karışımda kullanılacak olan bütadien türü tercih edilir. Polimerizasyon esnasında kullanılan katalizör tipleri bütadien kauçuğun camsı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı, kristalizasyon sıcaklığı, karışımlarda işlenebilirlik, molekül ağırlığı dağılımı, mekanik özellikler gibi birçok özelliğe etkisi vardır.

Bütadien kauçuklar aşınma, elastikiyet, düşük ısı oluşumu, dinamik yorulmaya karşı direnç, oksidasyon direnci gibi birçok özelliği bir arada barındırırlar. Fakat kauçuk karıştırma sistemlerinde tek başına kullanılması oldukça zordur. Bu nedenle doğal kauçuk ve stiren – bütadien kauçuk ile karıştırılarak kullanılırlar. Özellikle doğal kauçuk ile karıştırılarak aşınma mukavemeti, düşük ısı dayanımı, yaşlanmaya karşı özelliklerinin iyileştirilmesi ve viskozitesi sabit olmayan doğal kauçuğun karışımda viskozitesini dengelemek için tercih edilir.

Bütadien kauçuğun en önemli kullanım alanı araç lastiğidir. Bunun dışında titreşim sönmüleme elemanları, konveyör bantlar, silindir kaplamaları, ayakkabı taban imalatı gibi ürün üretimi için kullanılırlar.

2.5. Kauçuk Karışımların Hazırlanması

Kauçuk ve diğer dolgu maddeleri, yumuşatıcılar, proses kolaylaştırıcılar, aktivatörler, hızlandırıcılar, bağlayıcılar, yapışma özelliği sağlanan maddeler, pişiriciler ve geciktiriciler gibi hammaddelerin birleştirilmesi kauçuk karışımları elde edilir. Pişirici sistemlerinin eklenmesi ile kauçuklar vulkanizasyon işlemine tabi tutulur [11].

Kauçuk türü ve eklenecek hammaddelerin seçimi nihai ürüne göre yapılır. Hammadde seçiminde dikkat edilecek bir başka husus ise uygulanacak proses ve kullanılacak ekipmana uygunluğu sağlamaktadır. Ürünün rekabet edilebilirliği açısından kullanılacak hammadde türü önemlidir.

Kauçuk reçeteleri hazırlanırken kauçukların toplamı 100 birim olacak şekilde hazırlanır. Kauçuk dışında kullanılan tüm malzemeler phr (part per hundred rubber) yüz kısım kauçuk için gerekli olan miktar olarak tanımlanır [1].

İyi bir karışım genelde %50 oranında kauçuk içerir. Diğer özellikleri belirlemede etken rol oynayan dolgu maddeleri de karışımın büyük bir oranını oluşturur.

Kauçuk karışım hazırlama işlemleri açık karıştırıcılar veya kapalı karıştırıcılarda yapılır. Günümüzde kauçuk karıştırma işlemi karışımın homojenliğinin sağlanabilmesi ve karışımda kullanılan karbon siyahı gibi ince taneli dolgu maddelerinin uçuşmasını engellemek amacı ile kneader, banbury adı verilen kapalı karıştırıcılarda yapılır. Pişirici sistemlerinin eklenmesi genellikle açık karıştırıcı kalender veya valslerde yapılır.

2.5.1. Karışımlarda Dolgu Maddesi Olarak Kullanılan Karbon Siyahları

Karbon siyahları kauçuk karışımların kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti, aşınma dayanımı, sönümlenme gibi özelliklerini oluşturmak için kullanılan dolgu maddeleridir. Aynı zamanda ürün sertliğini ve viskozitesini de arttırmaları [12].

Metan gazı, ağır ve hafif petrol yağları, aromatik hidrokarbonların kısmi yanması veya ısıl bozunması sonucunda elde edilirler. Fırın siyahları, kanal siyahları ve termal siyahlar olarak üretim yöntemine göre isimlendirirler.

Sanayide en yaygın kullanılan karbon siyahı tipi fırın siyahlarıdır. Tanecik büyüklüğü 18 – 85 nanometre arasında olan karbon siyahlarının elde edilmesinde kullanılırlar. Hidrokarbonların kısıtlı oksijen içeren ortamlarda 1200°C - 1600°C sıcaklıkları arasında yakılması ile elde edilirler. Tanecik boyutu ve yüzey alanına göre ASTM standardınca SAF, ISAF, HAF, FF, FEF, GPF, SRF olarak isimlendirilmişlerdir. Kodlamaların sonunda bulunan F ‘Furnace’ dan gelmektedir.

Kanal siyahları ise doğal gazın demir plakalar üzerinde kısıtlı oksijen ile yakılmasından elde edilirler. Verimlerinin düşük oluşu ve çevre kirliliğine yol açmaları sebebiyle çok tercih edilmezler. En önemli tipleri EPC ve MPC’dir. Kodlamanın sonundaki C ‘Chanell’ i temsil eder.

Termal siyahlar, doğal gazın havasız ortamda 1300°C civarında yakılması ile elde edilirler. Bu yöntemle orta taneli karbon siyahları elde edilir. Kauçuk sanayinde yaygın olarak kullanılan tipi MT ve FT’dir. Kodlamanın sonundaki T ‘Thermal’den gelir [1].

Günümüzde geliştirilmekte olan farklı üretim yöntemleri ile üretilmiş karbon siyahları da vardır fakat yaygın olarak kullanılan karbon siyahı türleri fırın ve termal karbon siyahlarıdır.

Tablo 2.1.’de görüldüğü gibi yüzey alanı arttıkça tanecik boyutu azalmaktadır. Tanecik boyutunun azalması ile karışımların; kopma mukavemeti, aşınma dayanımı, sertlik, ısı birikimi gibi özellikleri artmaktadır. Ancak yüzey alanının artması karbon siyahının

kauçuk içerisinde homojen olarak dağılmasını güçleştirmektedir. Bu sebepten dolayı proses şartları güçlenmektedir. Enerji maliyetlerinin artmasından dolayı karışımlarda ekstra maliyetlere sebep olmaktadır. Bu nedenle karışımlarda kullanılan karbon siyahlarının oranı ve türü; maliyet, karışım kolaylığı ve nihai üründe istenilen özelliklere etkisi baz alınarak belirlenir.

Tablo 2. 1. Karbon Siyahları

ASTM Sınıfı	İsmi	Özelliği	Tane Büyüklüğü (nm)	Yüzey Alanı (m ² /g)
N 110	SAF	Üstün aşınma	11 - 19	125 - 155
N 220	ISAF	Orta üstün aşınma	20 - 25	110 - 140
N 330	HAF	Yüksek aşınma	26 - 30	70 - 90
N 440	FF	İnce fırın siyahı	31 - 39	45 - 69
N 550	FEF	Hızlı ekstrüzyon siyahı	40 - 48	36 - 52
N 660	GPF	Genel amaçlı siyahlar	49 - 60	26 - 42
N 762	SRF	Yarı kuvvetlendirici siyahlar	61 - 100	17 - 33
N 990	MT	Yarı kuvvetlendirici siyahlar	250 - 350	<10

2.5.2. Diğer Dolgu Maddeleri

Karışımlarda karbon siyahı dışında kullanılan diğer dolgu maddeleri karışımın maliyetini azaltmak, siyah dışında istenilen farklı renkleri elde etmek için kullanılır. Kauçuk karışımlara diğer dolgu maddeleri olarak; silikalar, kaolin, talk, kalsiyum karbonat gibi beyaz dolgu maddeleri eklenebilir.

Beyaz dolgu maddeleri kauçuktaki işlevlerine göre üç kategoride sınıflandırılabilir.

Birinci kategorideki beyaz dolgu maddelerine güçlendirici pigmentler denir. Bunlar, çökeltmiş silika, ince parçacık boyutunda çökeltmiş kalsiyum karbonat ve yüzey işlemleri sert kil içerir. Özellikle sentetik kauçuklara yüksek mukavemet kazandırmak için hepsinin 1 µm'den küçük çok ince parçacık boyutuna sahip olduğuna dikkat edilmesi gerekir.

İkinci kategorideki beyaz dolgu maddelerine güçlendirici etkisi olmayan beyaz dolgular denir. Karışımlarda, bileşiğin maliyetini azaltmak için kullanılırlar. Yumuşak kil, öğütülmüş kalsiyum karbonat, talk ve baritler bu kategoriye girer. Bunların tümü inert

dolgu maddeleri olarak kabul edilir ve bazen bileşimin modülünü önemli ölçüde artırmadan 200 phr kadar yüksek yüklemelerde kullanılabilirler.

Beyaz dolguların üçüncü kategorisi, örneğin renk, elektriksel iletkenlik, alev direnci, geçirimsizlik veya yağ direnci özellikleri gibi bileşiğe özel özellikler ekleyen malzemelerden oluşur. Bu malzemelere, alüminyum trihidrat, alüminyum oksit örnek verilebilir [12].

2.5.3. Karışımda Kullanılan Diğer Maddeler

Karışımlarda proses esnasında oluşan şartları sağlamak ve nihai üründe istenilen özellikleri sağlamak amacı ile kauçuk ve dolgu maddelerine ilave olarak; yumuşatıcılar, kür edici sistemler, aktivatörler, geciktiriciler, proses kolaylaştırıcılar, yaşlanmayı önleyiciler ve koruyucular, şişiriciler, boya maddeleri ve diğer özel malzemeler kullanılır [1].

Proses kolaylaştırıcı olarak kullanılan malzemeler, bileşiklere eklendiklerinde işleme sırasında işlenebilirliklerini iyileştirecek, bileşik özelliklerini değiştirecek ve maliyeti azaltacak nispeten uçucu olmayan organik malzemelerdir. Peptizerler, yağlayıcılar ve reçineler bunlara örnek verilebilir [12].

Karışımlarda; prosesi kolaylaştırmak, dolgu maddelerin kimyasalların içerisindeki dağılımını kolaylaştırmak, karışımın yapışkanlığını ve akışkanlığını arttırmak, ön vulkanizasyon süresini arttırmak, maliyet düşürmek gibi etkileri olan yumuşatıcı malzemeler kullanılır. Bu malzemelere petrol türevli mineral yağlar, tabii yağlar, sentetik yağlar örnek verilebilir [1].

Nihai üründe kullanım ömrü sırasında bazı geri dönüşü olmayan değişiklikleri azaltmak amacı ile karışımlarda yaşlanma önleyici sistemler kullanılır. Yaşlanma önleyici maddeler antioksidanlar ve antiozonantlar olarak sınıflandırılabilir. Nihai üründe; ozon, oksidasyon, sıcaklık etkisi, dinamik yorulma, radyasyon, ağır metal oksidasyonu gibi yaşlanma sebeplerini azaltmak için kullanılırlar. Ticari olarak çok sayıda bozulma önleyici mevcuttur [12].

Pişirici sistemleri detaylandırılması gereken bir konu olduğundan başlık 2.5.4.'de vulkanizasyon konusunda tanımlanmıştır.

2.5.4. Vulkanizasyon

Vulkanizasyon, genellikle kauçuk veya elastomerik malzemelere uygulanan bir işlemdir. Vulkanizasyon işlemi sıcaklık – basınç ve bazı malzemeler için sadece sıcaklığın etkisi altında olur. Malzemenin yapısına ve kullanılan vulkanizatlara göre vulkanizasyon süresi değişir.

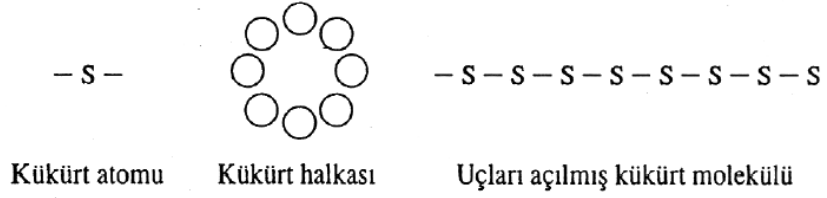
Vulkanize edilmiş malzemeler, oldukça büyük bir mekanik olarak uygulanan deformasyondan sonra, yaklaşık orijinal şekillerine zorla geri dönebilirler. Vulkanizasyon, geri çekme kuvvetini artıran, deforme edici kuvvetin kaldırılmasından sonra kalan kalıcı deformasyon miktarını azaltan bir süreç olarak tanımlanabilir. Böylece vulkanizasyon esnekliği arttırırken plastisiteyi azaltır. Genellikle çapraz bağlı bir moleküler ağ oluşumu ile gerçekleştirilir

Kauçuk elastikiyet teorisine göre, bir deformasyona direnmek için geri çekme kuvveti, birim elastomer hacmi başına polimer zincirlerini destekleyen ağ sayısı ile orantılıdır. Destekleyici bir polimer zinciri, ağ bağlantıları arasındaki doğrusal bir polimer moleküler segmenttir. Bağlantı noktalarının veya çapraz bağların sayısındaki artış, destekleyici zincirlerin sayısında bir artış sağlar. Vulkanize edilmemiş lineer yüksek polimerde (erime noktasının üzerinde), yalnızca moleküler zincir dolanmaları bağlantı noktaları oluşturur. Bu nedenle vulkanizasyon, polimer zincirleri arasına çapraz bağların eklenmesiyle ağ bağlantılarını kimyasal olarak üretme sürecidir. Bir çapraz bağ, kısa zincirli bir kükürt atomu grubu, tek bir kükürt atomu, bir karbon-karbon bağı, çok değerlikli bir organik radikal, bir iyonik küme veya çok değerlikli bir metal iyonu olabilir [13].

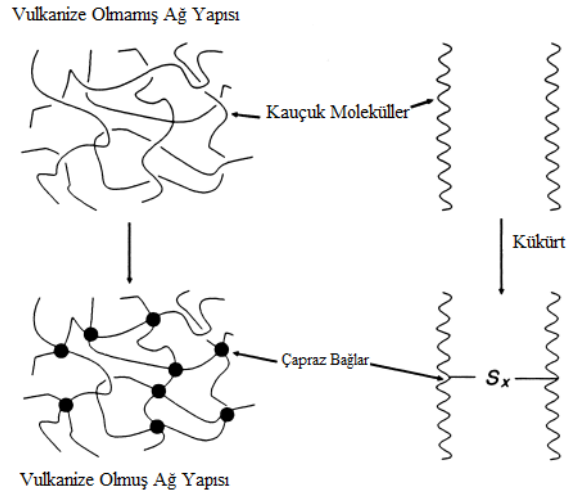
Vulkanizasyon işleminin gerçekleşmesi için bazı kimyasal maddeler gereklidir. Bu kimyasal maddelere; kükürt, peroksit, kükürt donörleri, reçineler ve metal oksitler örnek verilebilir. Karışımda kullanılan polimer tipine ve nihai üründe istenilen özelliklere göre vulkanizasyon kimyasalları belirlenir [11].

Doğal kauçuk, bütadien, nitril, epdm, sbr gibi kauçuk tiplerinde genellikle kükürt vulkanizasyonu tercih edilir. Vulkanizasyon esnasında kükürt halkaları uzun polimer zincirlerine köprüler ile bağlanarak üç boyutlu bir yapı şekline gelir. Vulkanizasyon sonrasında kükürt moleküllerinin uzun zincirlere bağlanması ile dayanıklı ve elastik yapılar ortaya çıkar. Vulkanizasyon için kullanılan kükürtün %99,5 saflıkta, maksimum %0,5 kül içerikli, orta irilikte tane boyutunda olması gerekir. Asidik maddeler

içermemelidir [1]. Kükürt yapılarının şematik gösterimi şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Vulkanize edilmemiş ve kükürt ile vulkanize edilmiş kauçuk molekülleri ağ yapısı Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 2. Kükürt Yapılarının Şematik Gösterimi



Şekil 2.3. Vulkanize Edilmemiş Ve Kükürt İle Vulkanize Edilmiş Kauçuk Molekülleri

Vulkanize kauçuğun özellikleri büyük ölçüde çapraz bağlanma şeklinde ve yoğunluğuna bağlıdır. Çapraz bağlanma şekilleri Şekil 2.4.de gösterilmiştir [1].



Şekil 2. 4. Değişik çapraz bağlanma şekilleri [1]

X = çapraz bağdaki kükürt atomu sayısı

S = Kürt atomu

- 1 : Mono sülfür
- 2 : Di sülfür
- 3 : Poli sülfür
4. : $x \geq 3$ komşu bağ yapısı
5. : C – C bağı
6. : Zincir modifikasyonu, çiklik sülfür yapısı
7. : Kükürt zincirleri

R – S_x – R bağlanması görünür. R hidrokarbonu S kükürtü ifade eder.

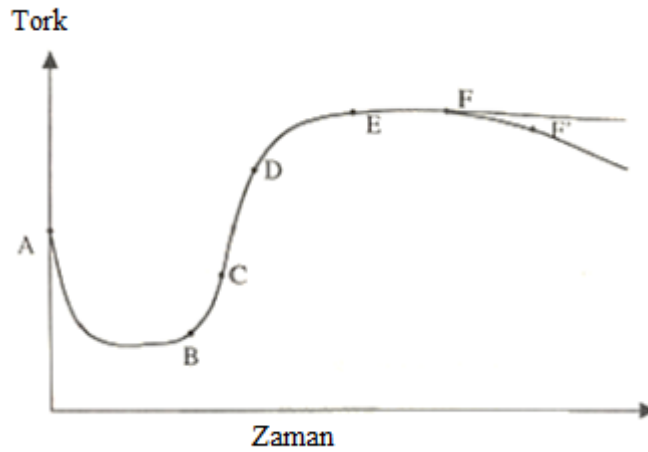
Kükürt vulkanizasyonu geleneksel, yarı etkili (semi – EV), etkili (EV) olarak üç farklı başlıkta tanımlanır. Bu terimler çapraz bağlanmadı ki kükürt atomlarını ifade eder [6]. Vulkanizasyon tiplerine bağlı olarak oluşan kükürt çapraz bağ tipinde farklılıklar gözlemlenir.

- Geleneksel vulkanizasyon sistemleri (C-S_x-C), daha düşük seviyelerde hızlandırıcı(lar) (0,6 phr) ile birlikte nispeten yüksek seviyelerde (2,5 phr ve daha yüksek) kükürt kullanır. Polisülfür çapraz bağ oluştururlar. Bunlar tipik olarak yüksek başlangıç fiziksel özellikleri, aşınma dayanımı, çekme mukavemeti, yırtılma mukavemeti ve iyi bir başlangıç yorulma direnci sağlar, ancak bu özellikleri ısıyla yaşlandırmadan sonra dinamik – mekanik özelliklerini kaybetme eğilimi daha fazladır [11].

- Yarı etkili vulkanizasyon sistemlerinde (C-S-S-C) (Semi - EV), disülfür çapraz bağ oluştururlar. 0,5 – 1,5 phr arasında kükürt ve 1,2 phr seviyelerinde hızlandırıcılar kullanılırlar. Yarı EV kürleri, geleneksel ve EV kürleri arasında bir uzlaşmayı temsil eder. Yarı-EV vulkanizasyonda polisülfid çapraz bağları oluşsa da, kendi kendisiyle kükürt köprülemesi, hızlandırıcı sonlandırılmış kükürt bağlantıları vb. gibi verimsiz kısımların oluşumunu en aza indirme eğilimindedir. Yarı etkili yapılan vulkanizasyon sistemlerinde esneklik ve ısıl yaşlandırma değerlerinin artması sağlanabilir.
- Etkili vulkanizasyon sisteminde (C-S-C) neredeyse yok denecek kadar az kükürt kullanılır. Kükürt yerine yüksek oranda (yaklaşık 3 phr) hızlandırıcılar kullanılır. Mono sülfür ve disülfür çapraz bağlar oluşur. Etkili vulkanizasyon ile nihai ürünlerdeki ısıya dayanıklılık, baskı altında kalıcı deformasyon dayanımı ve ürün üretimi prosesi esnasındaki reversiyon dayanıklılığı artırılmış olur.

Nihai ürünün özelliklerine, polimer tipine, dolgu maddelerine, nihai ürün sertliğine, proses şartlarına göre kükürt sistemleri belirlenir.

Karışımların vulkanizasyon (pişme) özelliklerini ölçmek için MDR ve RPA cihazları kullanılır. Pişme davranışları reometre eğrileri ile tanımlanır. Tipik bir Reometre eğrisi Şekil 2.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 5. Tipik Reometre Eğrisi

AB: Akma zamanı: Hamur plastiktir, yumuşar ve kalıba akar.

BC: Yanma zamanı: Kükürt halkası açılarak polimeri etkilemeye başlamıştır.

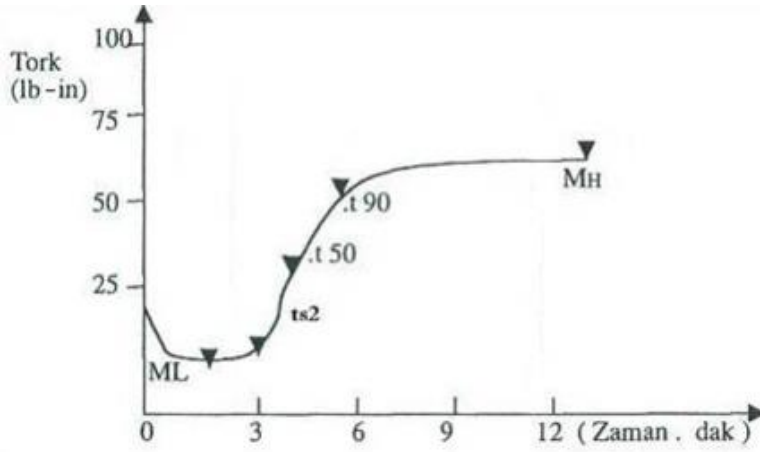
CD: Yetersiz vulkanizasyon: Çapraz bağlanmaların başladığı zaman. Kükürt halkası açılıp yeni bağlar kurar.

DE: Optimum vulkanizasyon: Vulkanizasyon için en uygun zaman.

EF: NBR kauçuklarda sertleşme, kauçuk bağlarının kısılması ve esnekliğin azalması.

EF': NR kauçuklarda karbon – karbon bağlarının açıldığı durum ve fiziksel özelliklerde düşme. [1]

Şekil 2.6.'da bir reometre testi sonucu elde edilen tipik bir vulkanizasyon eğrisinden elde edilen parametreler gösterilmiştir [1]. Burada;



Şekil 2. 6. Reometre Eğrisi

ML: Minimum viskozite.

MH: Maksimum tork değeri. Bu noktada vulkanizasyon işlemi tamamlanmış hale gelir.

ts2: Ön vulkanizasyon Scorch zamanı. Malzemenin pişmeye başlama zamanı olarak tanımlanır. Proses şartlarına göre belirli bir aralıkta olması istenir. Kısa ts2 zamanı proses esnasında erken pişmeye yol açabilir

t50: Maksimum torkun %50 sinin oluşması için gereken zaman

t90: Maksimum torkun %90 nının oluşması için gereken zaman [1] Optimum pişme süresi olarak tanımlanır.

Δ tork: Vulkanizasyon derecesini ifade eder.

CRI: Pişme hız endeksi. Karışımda tam pişmenin gerçekleşmesi için gereken süreyi tanımlar.

$$CRI = \frac{100}{t_{90} - t_{s2}}$$

2.6. Elastomer ve Sönümleme

Kauçuk malzemeler, titreşim sönümleyici sistemlerde oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Titreşim sönümleyici sistemlere;

- Araçlarda kullanılan; motor – kabin takozları,
- Deprem izolatörleri,
- Demiryolu araçlarında kullanılan süspansiyon takozları,
- Yüksek frekansta çalışan makinelerin titreşimini sönümlemek için kullanılan titreşim takozları

örnek verilebilir. Araç veya makine üzerinde çalışan titreşimi sönümlemek, insan sağlığı ve aracın – makinenin kullanım ömrünü arttırmak açısından oldukça önemlidir. Sönümleme özellikleri frekansa, yüke ve çalışma sıcaklığı gibi koşullara bağlı olarak değişir.

Özellikle doğal kauçuk yüksek bir titreşim sönümleme özelliğine sahiptir. Bu nedenle doğal kauçuk titreşim sönümleyici sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal kauçuğun karbon siyahı ile güçlendirilmesiyle mekanik özellikleri ve sönümleme özellikleri arttırılabilir [14].

2.7. Birincil Süspansiyon Konik Yaylar

Raylı sistem araçları; metro, tramvay, yük vagonları, tren - yüksek hızlı trenler gibi araçlarda süspansiyon sağlamak amacı ile boji kısmında birincil ve ikincil yaylar kullanılır. Yolcu titreşim konforunun sağlanması, taşınan yükün ve aracın yapısının bütünlüğü araç süspansiyon kalitesine bağlıdır.

Birincil süspansiyon sönümleme elemanlarının temel amacı, dönen tekerlekler ve raylar arasındaki kuvvet etkileşimi nedeniyle ortaya çıkan yüksek frekanslı salınımların sönümlenmesi, bunların lokomotif araç gövdesine ve boji çerçevesine aktarılmasının önlenmesi ve ayrıca kabinin titreşiminin sönümlenmesidir.

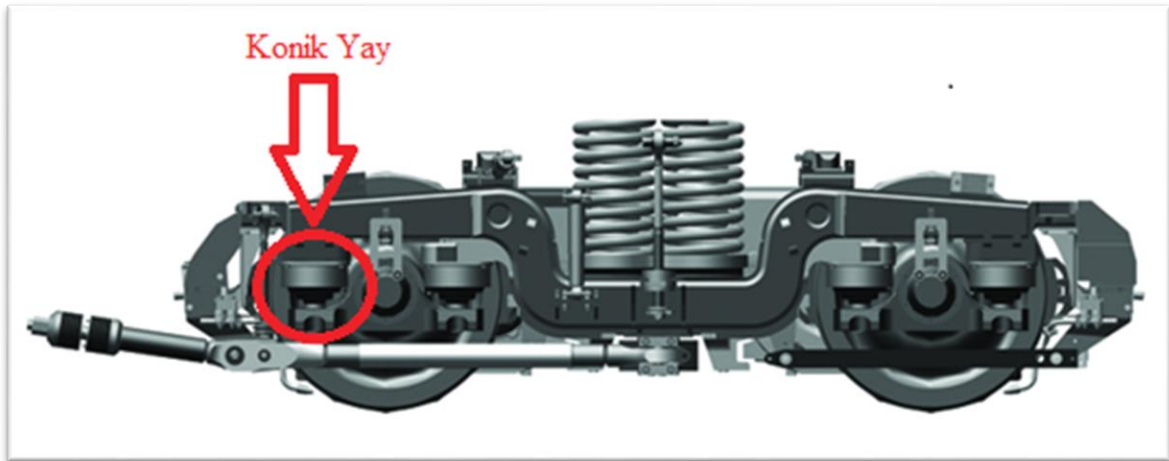
Taşıma kapasitesi yüksek ve yüksek hızlarda çalışabilen araçların kullanılma eğiliminin olduğu günümüzde, süspansiyon optimizasyonu sorunu ayrı bir önem kazanmaktadır. Bir demiryolu aracı, çalışma süresi boyunca, sürüş kalitesi üzerinde olumsuz etkileri olan titreşim üreten darbelere maruz kalır. Araç, haddeleme işlemi sırasında üretilen bu darbelere, etkilerini kabul edilebilir seviyelere indirmesi gereken süspansiyonu ile yanıt

verir. Gövdenin kendisi ve tekerlek ile ray arasındaki kuvvet etkileşimi üzerindeki etkisini azaltır. Ek olarak, birincil süspansiyon elemanları, bojidaki tekerlekler veya tekerlek takımları arasındaki yükü dengeleyebilir ve yeniden dağıtabilir. Tipik olarak, birincil süspansiyonun statik sapması, bir lokomotifin toplam süspansiyon sapmasının %30-40'ı kadardır. Bu yüksek frekans ve düşük sapma özellikleri göz önüne alındığında, birincil süspansiyonlar helezon yaylar, yaprak yaylar veya kauçuk elemanlar gibi elastik elemanları kullanabilir. Bu amaçla, damperler, yüksek enerji emme kapasitesine sahip oldukları için kauçuk veya polimer malzemelerden yapılmış eklere sahiptir.

Birincil süspansiyon yaylar olarak aracın ağırlığına, kapasitesine göre kauçuk aksamli chevron yayı veya konik yaylar kullanılır. Bu tez kapsamında konik yay çalışması yapılacağı için konik yaylardan bahsedilmiştir. Konik yay, kauçuk katman tasarımının şeklinden adlandırılmıştır. Yapı, metale yapıştırılmış kauçuk katmanlarla tasarlanmıştır.

Konik yay genellikle bir dingil kutusuna çiftler halinde takılır ve üç sertlik yönü sağlar; dikey (uzunlamasına) ve yatay (yanal ve boyuna). Dikey sertlik yumuşaktır ve raydan çıkmayı önlemek için giderek sertleşir. Boyuna ve yanal sertlik, hem frenleme ve çekiş kuvvetinin aktarılması hem de vagonun dengesi için önemlidir [8].

İki dingilli bir bojinin birincil süspansiyonunda konik yayların kullanımına bir örnek Şekil 2.7.'de gösterilmektedir.



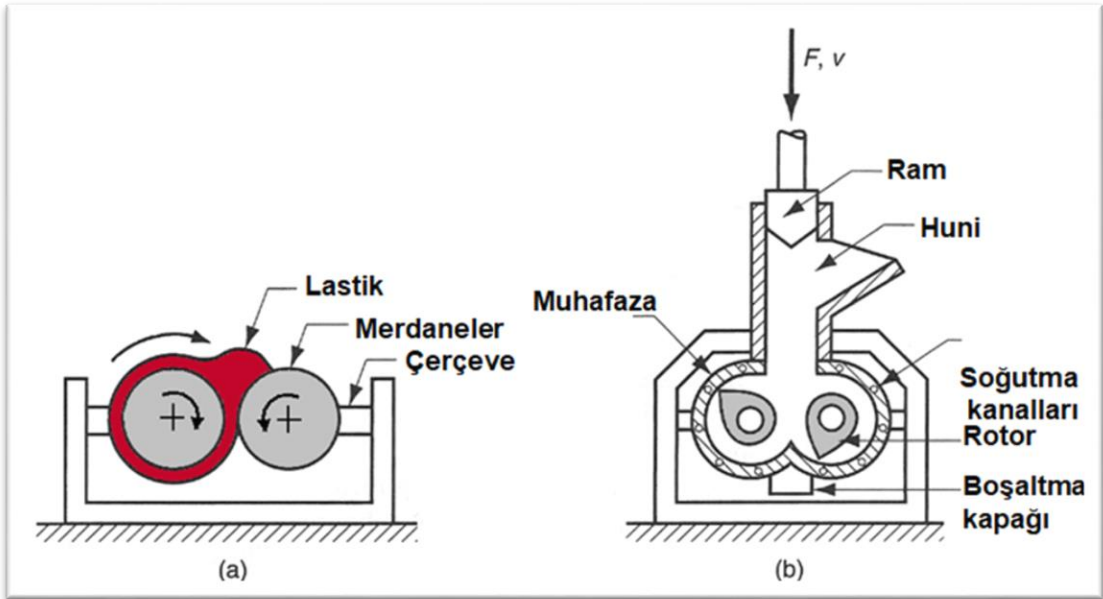
Şekil 2. 7. Boji Tasarımı

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Karışımların Hazırlanması

Karışımlar MGS Kauçuk firmasında MET-GÜR marka MG60 model 60 litre banbury cihazında hazırlanmıştır. Lastik karışımları hazırlanırken önce kauçuk polimerleri banbury cihazında 80°C derece sıcaklıkta 4 dakika yumuşatılmıştır. Ardından sırası ile karbon siyahı ve proses yağı karışıma eklenmiştir. Daha sonra aktivatör ve koruyucu kimyasallar karışıma eklenerek yaklaşık 8-10 dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım açık milde 1 dakika döndürülerek askılara asılarak soğumaya bırakılmıştır. Bir gün soğumaya bırakılan karışım açık mile alınarak 4-5 dakika döndürülerek pişirici sistemleri ilave edilmiştir. 8-10 dakikalık çevrimin ardından karışım hazır hale getirilmiştir. Hamur istenilen kalınlığa getirildikten sonra soğutma (batch-off) sisteminde soğumaya bırakılmıştır.

3



Şekil 3. 1. Banbury Cihazı (a) Hamur Makinesi (b)

3.1.1. Kullanılan Malzemeler

Bu tez kapsamında araştırması yapılan doğal kauçuk reçetelerinde polimer ana malzemesi olarak NR (doğal kauçuk) ve BR (bütadien kauçuk) polimerleri kullanılmıştır. NR polimeri olarak PRI indisi (Plasticity Retention Index) 83 olan

%0,294 kül içerikli RSS3 polimeri ve BR kullanılmıştır. BR cis içeri % 96,7 ve Mooney viskozite değeri (ML 1+4) 47 Mooneydir.

Dolgu maddesi olarak HAF330, FEF550, MT990 karbon siyahları kullanılmıştır. HAF 330'un yüzey alanı (CTAB) 70 m²/g ve FEF 550 nin yüzey alanı (CTAB) 55 m²/g. MT990'ın iyot adsorpsiyonu 7,6g/kg'dir.

Karışımlarda kullanılan diğer kimyasallar ve kimyasalların nereden temin edildiği formül gizliliği açısından verilmemiştir.

3.2. Karışım Reçeteleri

Karışımlar doğal kauçuk ve bütadien kauçuk oranı sabit tutularak, farklı karbon siyahı tipleri ve oranları kullanılarak hazırlanmıştır. Karışımlardaki yağ ve pişirici miktarları karışımın sertliğine ve karbon siyahlarının özelliklerine göre belirlenmiştir. MT50, MT60, NR50 ve NR60 olarak kısaca isimlendirilen dört farklı karışım hazırlanmıştır.

Karışım reçeteleri Tablo 3.1.'de verilmiştir. Telif hakları ve gizlilik açısından reçeteler açık olarak verilememiştir.

Tablo 3. 1. Karışım Reçeteleri

Reçete Adı	MT50	MT60	NR50	NR60
Bileşen	Miktar (phr)	Miktar (phr)	Miktar (phr)	Miktar (phr)
RSS3	80,0	80,0	80,0	80,0
CBR1203	20,0	20,0	20,0	20,0
MT990	40,0	40,0	0,0	0,0
FEF550	8,0	16,0	28,0	52,0
HAF330	8,0	16,0	12,0	12,0
Pişirici Sistem Bileşenleri	3,2	3,2	3,2	3,2
Diğer	27,2	27,2	38,8	24,4
Toplam	186,4	202,4	182,0	191,6
Polimer Oranı	53,6	49,4	54,9	52,2
Karbon Siyahı Oranı	30,0	35,6	22,0	33,4

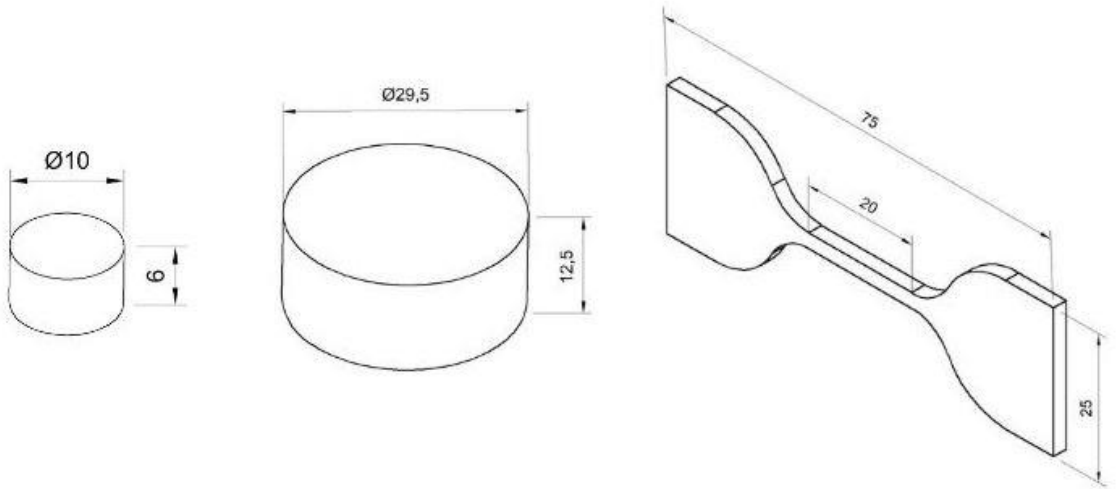
3.2.1. Test Plaklarının Hazırlanması

Karışımlardan mekanik ve yaşlandırma testleri için 2 mm kalınlığında test plakaları hazırlanmış ve ISO 37 Tip 2 ye göre papyon numuneler çıkartılmıştır. DMA ve MTS cihazında sönümlenme özelliklerinin belirlenmesi için 10 mm çapında 6 mm kalınlığında diskler, kalıcı deformasyon testi için 29,5 mm çapında 12,5 mm kalınlığında diskler hazırlanmıştır.

Disk ve papyon numuneler Babacan Marka 20 tonluk hidrolik pres cihazı (Şekil 3.2.) kullanılarak hazırlanmıştır. Disk ve papyon numunelerinin boyutları Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Hidrolik Pres



Şekil 3.3. Test Plakaları Tasarımları

3.3. Deneysel Ölçümler

3.3.1. Reolojik Ölçümler

3.3.1.1 Reometre Cihazı

Reometre cihazı kauçukların reolojik özelliklerini belirlemek için kullanılır. Kauçuk karışımların vulkanizasyon özelliklerini ölçerek vulkanizasyon eğrisini kayıt altına alır. Karışıma yüksek sıcaklık ve basınç altında salınım gerilimi uygular ve çapraz bağ yoğunluğundaki artışın sonucu olarak tork değerindeki artışı zamanın bir fonksiyonu olarak gösterir. Doğrusal Reometre, Torsiyonel Reometre (ODR) ve Hareketli Kalıp Reometresi (MDR) olmak üzere 3 tip reometre bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında Şekil 3.4.'de verilen Alpha Technologies MDR 2000B model Hareketli Kalıp Reometresi kullanılarak test ASTM D 5286 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Reolojik özellikler 140°C ve 150°C'de 20 dakika boyunca incelenmiştir.



Şekil 3. 4. MDR Test Cihazı

3.3.1.2. Kauçuk Proses Analizörü (RPA)

Kauçuk Proses Analizörü RPA, pişmiş ve pişmemiş kauçuk karışımların farklı frekans ve deformasyon oranlarında reolojik özelliklerinin ve MDR’de olduğu gibi pişme davranışlarının belirlenmesinde kullanılan bir tekniktir.

Tez kapsamında kauçuk karışımların çapraz bağ yoğunlukları ve farklı frekanslardaki depo modül değerlerini incelemek amacı ile TA Instrument – Elite marka RPA test cihazı kullanılmıştır. RPA test cihazı Şekil 3.5.’de verilmiştir.



Şekil 3.5. RPA Test Cihazı

İlk olarak RPA cihazında karışımlara gerinim taraması yapılarak lineer visko-elastik bölge belirlenmiştir. Gerilim taramaları eğrileri değerlendirilerek tüm sistemlerde deformasyon değeri %0,140 olarak belirlenmiştir. Pişmemiş karışımlara önce % 0,140 gerinimde 80°C’de frekans taraması yapılmıştır. Ardından aynı örnek yapılan ön çalışmalar sonunda belirlenen optimum pişme sıcaklığı olan 140°C’de pişirilmiştir. Daha sonra pişmiş örnekler cihazdan çıkarılmadan yeniden frekans taraması yapılmıştır. RPA cihazında frekans taraması sonucunda elde edilen verilerle Lee Pawlowsky Coran (LPC) yaklaşımı ve eşitliği (Eşitlik 3.1) kullanılarak çapraz bağ yoğunluğu hesaplanmıştır. Pişmiş ve pişmemiş örneklerin depo modülünün (G') türevinin sabit olduğu frekans değerinde ki G' değerleri alınmıştır [15].

$$X_{kimyasal} = \frac{[G' P_{i\text{şmiş}}(@Hz) - G' P_{i\text{şmemiş}}(@Hz)]}{g_n 2RT} \quad (3.1)$$

$$X_{fiziksel} = \frac{[G' P_{i\text{şmemiş}}(@Hz)]}{g_e 2RT} \quad (3.2)$$

$$X_{toplam} = X_{kimyasal} + X_{fiziksel} \quad (3.3)$$

$X_{fiziksel}$ = Pişmemiş örneğin çapraz bağların konsantrasyonu

$X_{kimyasal}$ = Kür sırasında oluşan çapraz bağların konsantrasyonu

X_{toplam} = Toplam çapraz bağ konsantrasyonu

G' Pişmiş = Pişmiş Örneğin Depo Modülü

G' Pişmemiş = Pişmemiş Örneğin Depo Modülü

R = İdeal gaz sabiti

T = Sıcaklık

g_e = Hareketsiz yapıda $g_e = g_n$ olarak 1 kabul edilir [15]

g_n = Ön faktör

3.3.2. Sertlik Testi

Hazırlanan elastomerlerin sertlik ölçümü TS ISO 7619-1 [16] standardına göre yapılmıştır. Kauçukların sertliğini ölçmek için kullanılan 0 – 100 Shore A değerinde ölçüm alabilen tablalı Mitech NDT marka sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.6.). Cihazın çalışma prensibi; cihazın ucunda bulunan koni şeklinde uç standartlara göre en az 6 mm kauçuk parçaya batırılır ve iğnenin kauçuğa batmasından kaynaklanan direnç ile kauçuk sertliği ölçülmüş olur. 6 mm olarak hazırlanan diskler üzerinden sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik ölçümü için 6 adet disk hazırlanıp ortalama sertlik baz alınmıştır.



Şekil 3. 6. Tablalı Sertlik Ölçer

3.3.3. Mekanik Testler

Kauçuk karışımlarının kopma mukavemeti ve kopma anındaki uzaması, elastik modül, tokluk vb. değerlerini ölçmek için evrensel mekanik test cihazı kullanılmaktadır. Bu değerler kauçukların elastikiyet ve dayanımları hakkında bilgi vermektedir.

Bu tezde kauçuk karışımların çekme kopma ve kopma anında uzama mekanik özelliklerinin tayin edilmesi amacı ile Devotrans marka 30 kN kapasiteli mekanik test cihazı (Şekil 3.7.) kullanılmıştır. Mekanik testler ISO 37 [17] standardına göre yapılmıştır. Kauçuk karışımlardan tip 2 kalıbına göre papyon (dog-bone) numuneler hazırlanmıştır. Test hızı standartta belirtilen 500 mm/dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.7. 30 kN Mekanik Test Cihazı

3.3.4. Kalıcı Deformasyon Testi

Kauçuklarda kalıcı deformasyon testi 6 mm veya 12,5 mm kalınlığında diskler üzerinden polimer türüne ve sertliklerine göre belirlenen şartlarda Şekil 3.8.'de gösterilen test düzeneğinin içerisine yerleştirilerek basınç ve yine polimer tipine, değişken şartlara göre tayin edilen sıcaklık altında kauçuk parçaların sabit ısı ve sabit basınç altındaki kalıcı ezilme oranı tayin edilir. Kalıcı deformasyon testi sayesinde kauçuk yük ve sıcaklık altında ki değişken şartlarda tanımlanan ezilme oranı tayin edilir.

Bu tezde kalıcı deformasyon testi, TS 4595 ISO 815 [18] standardına uygun kalıcı deformasyon test düzeneği ile yapılmıştır. Test ASTM D 395 metot B [19] standardına uygun olarak yapılmıştır. TS 4595 ISO 815 Standardına uygun olarak 29 mm çapında 12,5 mm kalınlığında tip A deney parçaları kullanılmıştır. Testten önce disklerin kalınlıkları ölçülmüştür. Üçer adet test diski deformasyona tabi tutulmuştur. Test düzeneği İldam marka etüv içerisine yerleştirilerek ASTM D 395 metot B'ye göre 70°C, 70 saat olarak yapılmıştır.

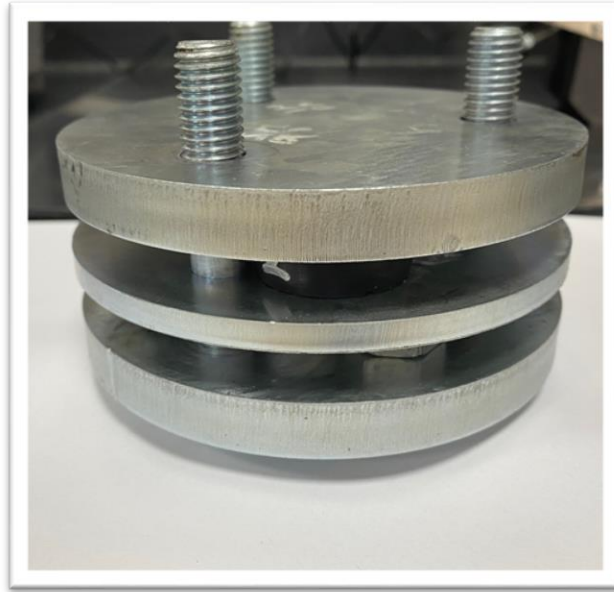
Test disklerine %25 sıkıştırma uygulanmıştır. Daha sonra kauçuk disklerin üzerinden kuvvet kaldırılarak disklerin kalınlıkları tekrar ölçülmüştür. Eşitlik 3.4 kullanılarak kalıcı deformasyon yüzdeleri bulunmuştur.

$$\% \text{ Kalıcı Deformasyon} = \frac{T_o - T_r}{T_o - T_s} \times 100 \quad (3.4)$$

T_o = Orijinal Kalınlık

T_r = Sıkıştırılmış Kalınlık (İlk kalınlığın %25'i baz alınır)

T_s = Test Sonrası Kalınlık



Şekil 3. 8. Kalıcı Deformasyon Test Düzenegi

3.3.5. Isıl Yaşlanma Testleri

Kauçuk malzemelerin kullanım yerlerinde oluşabilecek deformasyonları (şekil değişimlerini) görmek amacı ile ısıl yaşlandırma testleri yapılır. Isıl yaşlandırma testleri sabit nem ve sıcaklık altında hava sirkülasyonlu etüv cihazlarında (Şekil 3.9.) yapılır. Sertlik ve mekanik özelliklerde ki değişim +/- ve % olarak raporlanarak kaydedilir. Polimer türüne ve kullanım yerine göre sınır değerler literatür çalışmaları sonucunda standartlarda belirlenmiştir.

Bu tezde ısıl yaşlandırma deneyleri ASTM D 573 [20] standardına göre İldam marka hava sirkülasyonlu etüv cihazında yapılmıştır. Test plakaları 70°C 72, 168, 336 saat

etüvde içerisinde yaşlandırılarak sertlik ve mekanik testleri tekrar yapılarak raporlandırılmıştır.

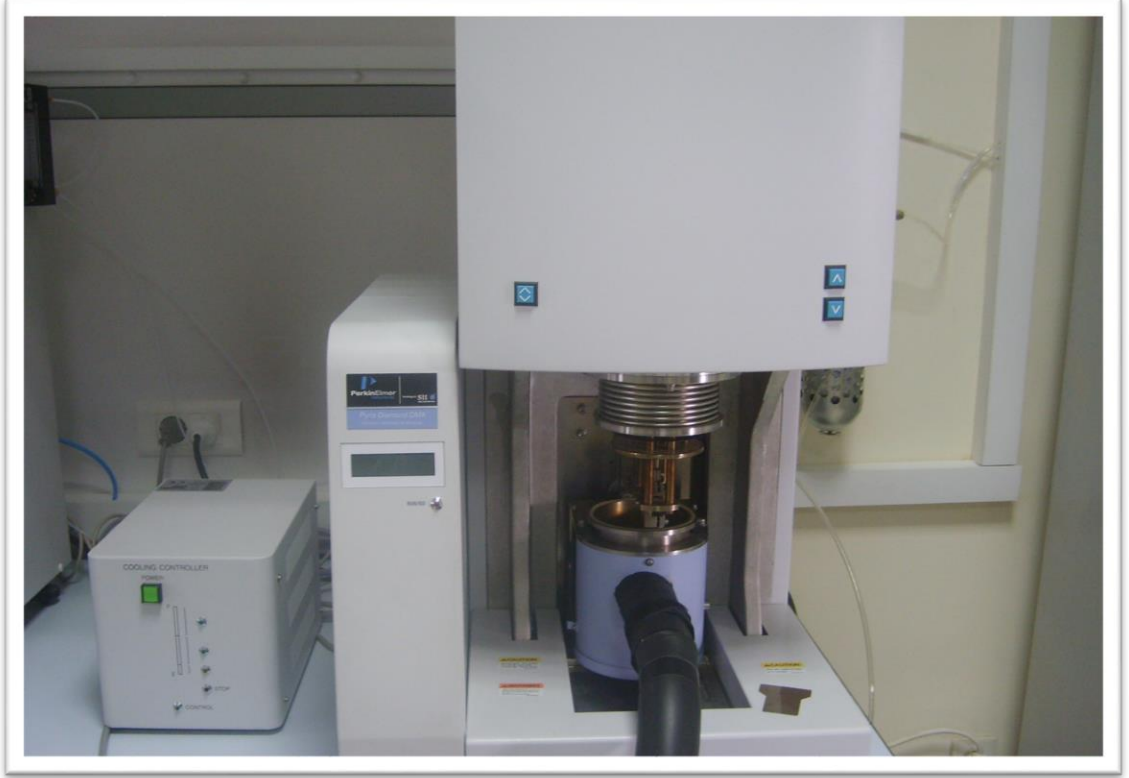


Şekil 3.9. Etüv Cihazı

3.3.6. Dinamik Mekanik Analiz

Dinamik mekanik analiz cihazı (DMA), numune üzerine belirli bir frekansta artıp azalan yük motoru kullanarak, numunenin viskoelastik özelliklerini frekans, zaman, sıcaklık şekil değiştirme ve çevre fonksiyonu olarak ölçen analitik bir cihazdır [21].

Elastomerlerin dinamik mekanik özellikleri Pelkin Elmer model DMA cihazı (Şekil 3.10.) kullanılarak incelenmiştir. Deneyler oda sıcaklığında 0,2 gerinim değerinde 0,2-100 Hz aralığında yapılmış, sönümlenme katsayısı, kayıp ve depo modül değerleri belirlenmiştir. Test plakası olarak 10 mm çapında 6 mm kalınlığında optimum pişme değerlerine göre vulkanize edilmiş kauçuk diskler kullanılmıştır.



Şekil 3.10. DMA cihazı

3.3.7. Elastomer Test Sistemi Analizleri

Elastomer test sistemi MTS firmasının elastomer malzemelere ve bileşenlerine tek - çok yönlü doğrusal ve döngülü kuvvetler uygulayarak malzemelerin farklı frekanslarda ve deformasyon oranlarında dinamik-mekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla kullanılan özel bir DMA sistemidir.

MTS test cihazı sayesinde geniş frekans aralığında ve farklı yük altında elastomer malzemelerin sönümlenme özellikleri değerlendirilir.

Bu tez kapsamında MTS firmasının Elastomer Test Sistemi (Şekil 3.11.) kullanılarak hazırlanan karışımların farklı frekanslardaki sönümlenme değeri ($\tan\delta$), doğal frekans ve enerjiyi sönümlenmeye başladığı andaki frekans değerleri ve dinamik dirençlik değerleri incelenmiştir. Testler oda sıcaklığında 0-200 Hz aralığında, 250 N yük altında dikey (aksiyel) yönde yapılmıştır. Test plakası olarak 10 mm çapında 6 mm kalınlığında optimum pişme değerlerine göre vulkanize edilmiş kauçuk diskler kullanılmıştır.



Şekil 3.11. MTS Test Cihazı

3.3.8. Birincil Süspansiyon Konik Yayların Kalıcı Deformasyon Testleri

Bu tez kapsamında konik yayların kullanım yerindeki çökme direncini gözlemlemek amacı ile yük altında kalıcı deformasyon testi yapılmıştır. Test orijinal ürünün şartname verilerine göre; oda sıcaklığında 20 kN yük altında, dikey yönde 24 saat ve 1 hafta olarak yapılmıştır. Test düzeneği Şekil 3.12.'de gösterilmiştir. Test düzeneği tasarlanırken kuvvet – kuvvet kolu ilkesinden yararlanılmıştır.



Şekil 3.12. Konik yay test düzeneği

3.3.9. Birincil Süspansiyon Konik Yayların Yanal ve Dikey Yük – Yer Değişirme Testleri

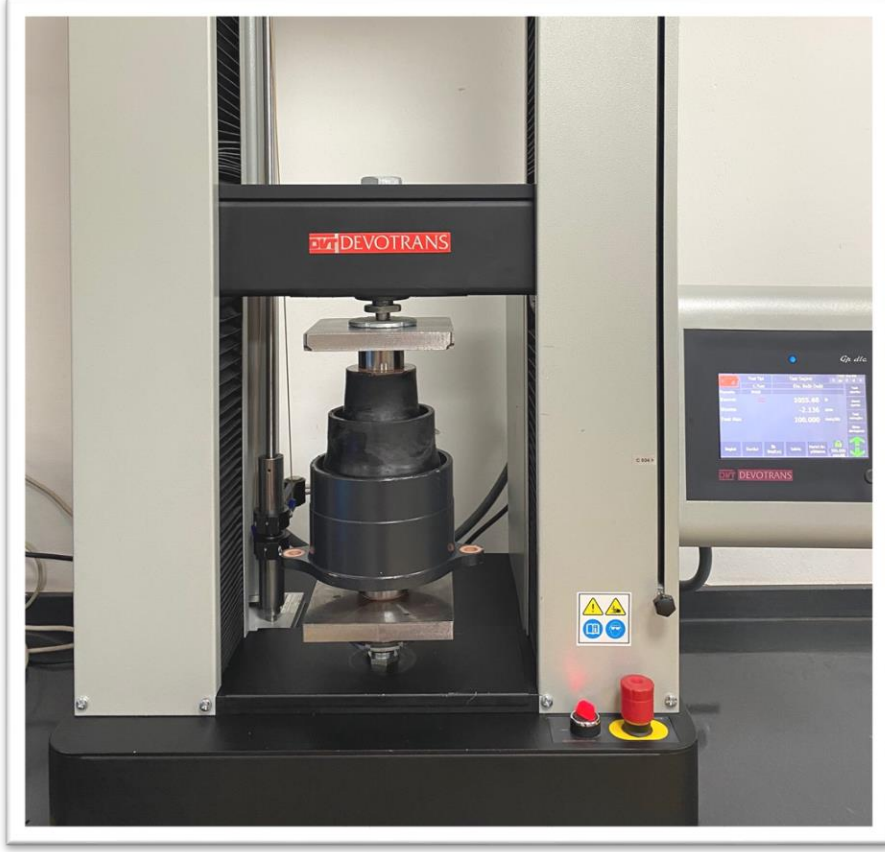
Konik yayların kullanım yerindeki dikey ve yanal yük altında ki yer değişirme (çökme) değerlerinin gözlemlemek amacı ile yanal ve dikey yük testleri yapılmıştır. Yanal test orjinal ürünün şartname verilerine göre; oda sıcaklığında dikey olarak sabit 14,2 ve 22,8 kN yük verilerek, yanal yönde yük uygulanarak yanal direngenlik değerleri ölçülmüştür. Veri olarak 4. Çevrim değerleri alınmıştır. Test BESMAK Marka yanal yük test cihazında yapılmıştır. Test düzeneği Şekil 3.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Konik yay yanal yük test düzeneği

Test düzeneğinin yapısından dolayı konik yaylar iki adet olarak bağlanmıştır.

Dikey testler ise orijinal ürünün şartname verilerine göre oda sıcaklığında maksimum 23 kN yük verilerek 4. çevrimdeki yük altındaki – yer değişirme değerleri ve histerisis grafikleri incelenmiştir. Test Devotrans marka 30 kN'lik test cihazında yapılmıştır. Test düzeneği Şekil 3.14.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Dikey Yer Değiştirme Test Düzenegi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

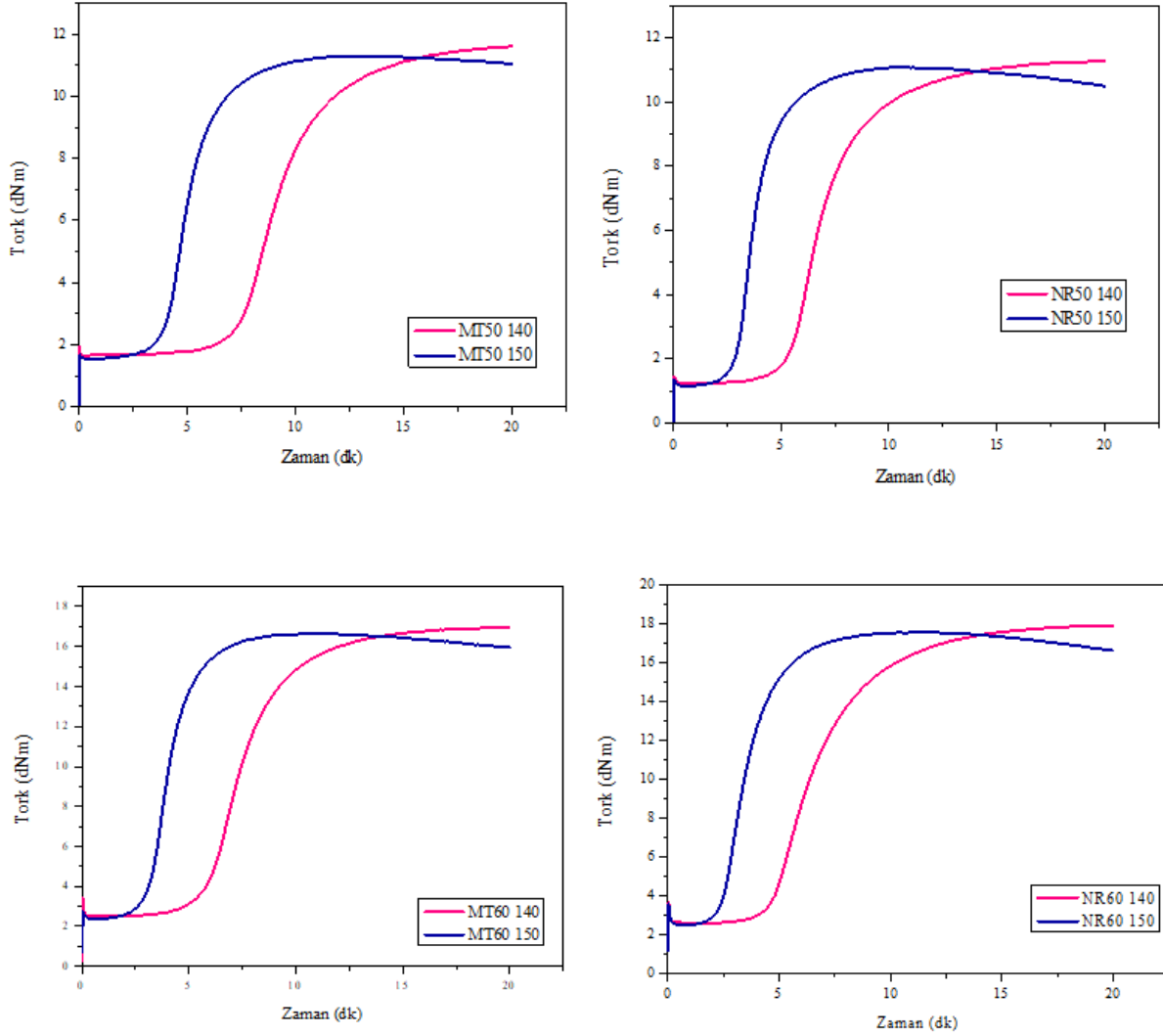
Bu çalışmanın amacı doğal kauçuk ve bütadien kauçuk kullanılarak farklı oranda ve farklı türde karbon siyahları ile hamur sistemlerinin hazırlanması, hazırlanan bu karışımların karakterizasyonunun yapılması, farklı oranda ve farklı türde kullanılan dolgu maddesi karbon siyahının etkinliğinin değerlendirilmesi ve hazırlanan karışımların raylı sistemler araçlarında birincil süspansiyon olarak kullanılacak olan elastomer esaslı konik yaylarda kullanımının incelenmesidir.

Tez kapsamında dört farklı reçete oluşturulmuştur. Hazırlanan bu karışımların önce MDR cihazında pişme davranışları incelenmiştir, RPA cihazı yardımı ile karışımların farklı frekanslardaki depolama modül değerleri ve çapraz bağ yoğunlukları bulunmuştur, sertlik ve mekanik özellikleri, yaşlandırma sonrası sertlik ve mekanik özelliklerindeki değişim, DMA ve Elastomer Test Cihazında sönümlenme davranışları incelenmiştir. Elde edilen verilerin ışığında karışımlar arasından seçilen NR50 formülü ile elastomer esaslı konik yay hazırlanarak, konik yay için tanımlanan şartname değerlerine uygunluğu ve araçta kullanılabilirliğini incelemek amacı ile elastomer esaslı konik yaya; kalıcı deformasyon, dikey – yanal yük altında yer değiştirme (direngelik) testleri yapılmıştır.

4.1. Karışımların Pişme Davranışlarının İncelenmesi

Karışımların pişme davranışlarının incelenmesi için hareketli kalıp reometresi (MDR) kullanılmıştır. Doğal kauçuğun doğası gereği yüksek sıcaklıklarda pişirilmemesi gerekir. Daha önce yapılan ön çalışmalar temel alınarak tüm karışımlardan alınan 5(+0,5) gram hamur 140 °C ve 150°C’lerde pişirilmiştir.

Reometre sonucuna göre zamana karşı tork değerini gösteren eğriler Şekil 4.1’de verilmiştir. Eğrilerden de görüldüğü gibi karbon siyahının artmasından kaynaklanan sertlik değerinin artması ile delta tork değeri artmıştır. Bunun sebebi malzeme RPA sonuçlarından da elde edilen verilere göre çapraz bağ yoğunluğundaki artıştır [3]. Sıcaklık arttıkça optimum pişme için gerekli olan t90 değeri azalmıştır. Ancak ön vulkanizasyon (scorch time) ts2 değerinde azalma görülmüştür. Büyük kütleler şeklinde üretilen titreşim sönümlenme sistemleri için ön vulkanizasyon önemli bir süreçtir. Bu nedenle güvenli aralıklarda çalışması için pişme sıcaklığı olarak 140°C değeri seçilmiştir.



Şekil 4. 1. Karışımların 140°C ve 150°C’de ki Pişme Eğrileri

Reçeteler tekrar incelediğinde, nihai ürün olarak titreşim sönümlenme sistemleri elde edilecek olan karışımlarda mekanik özellikler ve yorulma direnci özelliklerinin iyi olması istendiği için geleneksel vulkanizasyon sistemleri kullanılmıştır. Geleneksel vulkanizasyon sisteminin yaşlanma direncini düşürdüğü bilinmektedir [11]. Yaşlanma direnci değişimindeki sonuçlar başlık 4.3’te anlatılacaktır. Karışımların pişirici oranları; kullanılan karbon siyahının tipine ve miktarına göre belirlenmiştir.

140 °C’ de karışımların reometre sonuçları Tablo 4.1.’de verilmiştir.

MT50 ve MT60 karışımlarının pişirici miktarları aynıdır. Ancak dolgu miktarından kaynaklı olarak pişme süresi MT50’nin daha fazladır. Pişme hız endeksi, CRI ise malzemenin çapraz bağ yoğunluğuna ulaşacağı süresinin bir ölçütüdür. CRI ne kadar

küçükse malzeme o kadar kısa sürede çapraz bağlanır. NR60 formülünün en düşük CRI'ya sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.1. Karışımların 140°C'deki Reometre Sonuçları

REOMETRE SONUÇLARI (140°)						
FORMÜL ADI	ts2 (dk)	T90 (dk)	ML (dNm)	MH (dNm)	ΔTork	Pişme Hız Endeksi (CRI)
MT50	7,96	13,16	1,63	11,62	9,99	19,23
MT60	6,04	10,96	2,50	16,94	14,44	22,83
NR50	5,88	10,78	1,24	11,27	10,03	20,40
NR60	4,99	10,92	2,58	17,92	15,34	16,86

4.2. Hazırlanan Elastomerlerin Kauçuk Proses Analizörü (RPA) ile İncelenmesi

Kauçuk proses analizörü (RPA) ile kauçuk karışımların; çapraz bağ yoğunlukları, sönümlenme davranışları, reolojik özellikleri ve pişme kinetiği özellikleri incelenebilir.

Tez kapsamında RPA ile kauçuk karışımların çapraz bağ yoğunlukları ve farklı frekanslardaki depo modül değerlerini incelenmiştir. Hazırlanan karışımlar RPA cihazında pişmemiş örnekler için 80°C sıcaklığında, pişmiş örnekler için ideal pişmenin gerçekleştiği 140°C sıcaklığında ve lineer visko-elastik bölgede çalışabilmek adına %0,140 gerinim değerinde frekans taraması yapılmıştır. Frekans taramaları 0,1 ile 50 Hz arasında yapılmıştır. Elastomerlerin çapraz bağ yoğunlukları bulunurken Lee-Pawlowsky-Coran yöntemi kullanılmıştır [15].

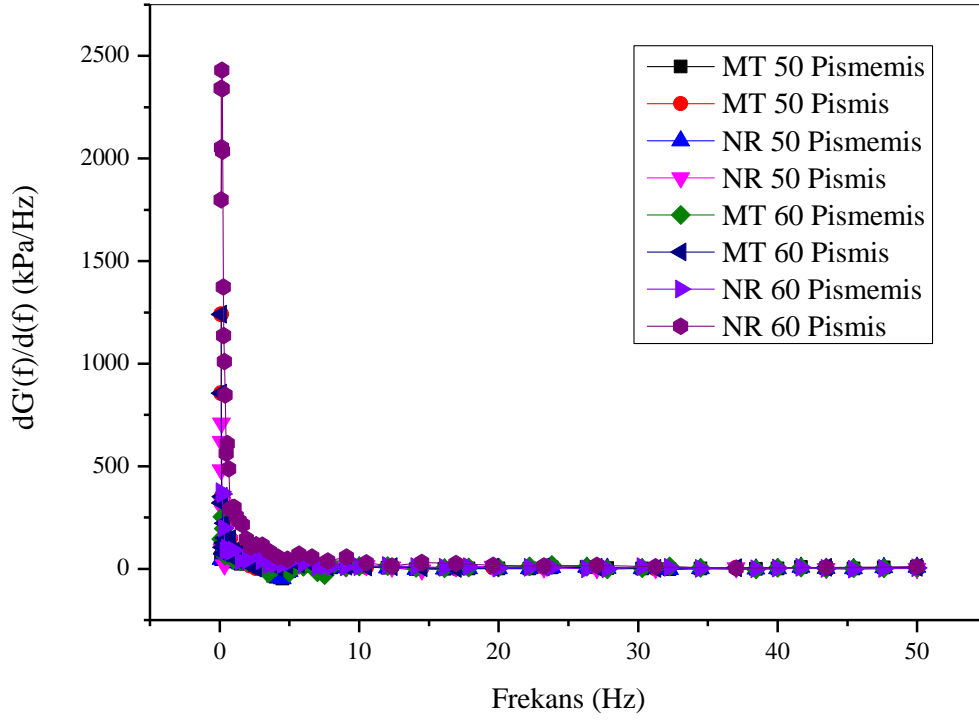
$$T = 323,15 \text{ Kelvin}$$

$$R = 8,1345 \text{ J/kmol.K}$$

$$g_e = g_n = 1$$

olarak alınmıştır.

G' türev – frekans grafiği şekil 4.2'de verilmiştir. Frekans değeri olarak pişmiş ve pişmemiş örneklerin G' değerlerinin türevinin sabitlendiği değer alınmıştır. Bu değer 20 Hz olarak belirlenmiştir. Daha düşük ve yüksek frekanslarda ki çapraz bağ yoğunluğu değerleri de hesaplanmıştır. Fakat 20 Hz ile yaklaşık olarak aynıdır.



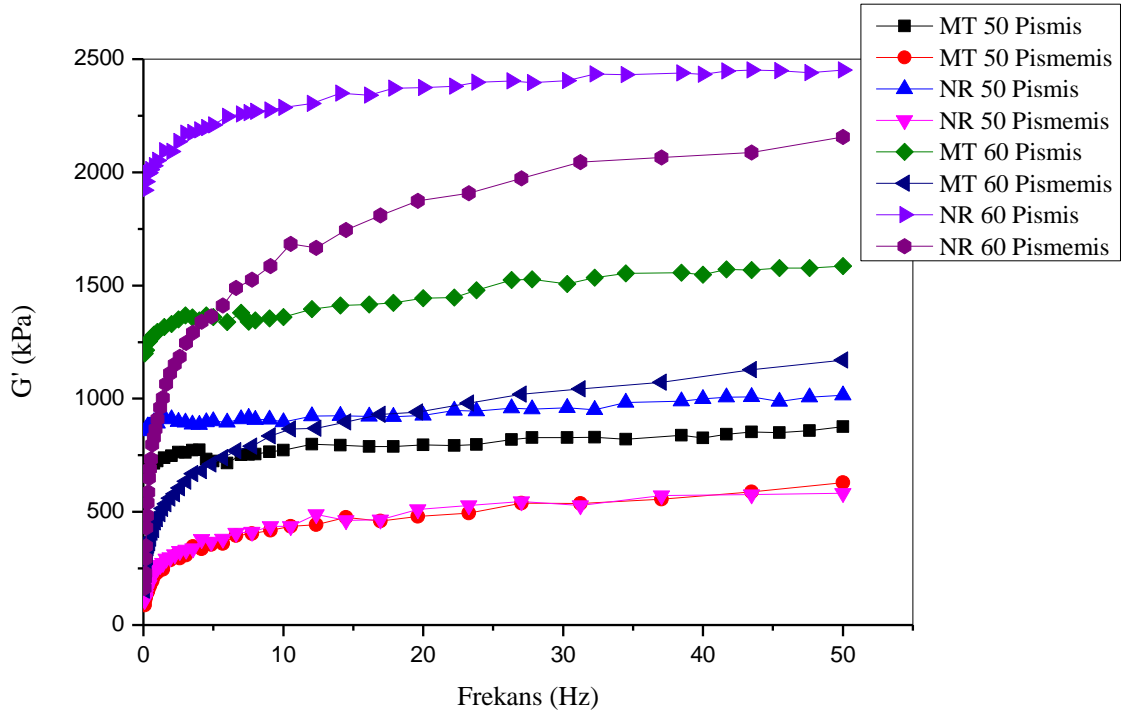
Şekil 4. 2. Pişmiş ve Pişmemiş Örneklerin Depo Modülünün Türev – Frekans Grafiği

Tablo 4.2.'de verilen karışımların çapraz bağ yoğunlukları incelendiğinde 60 Shore A karışımların 50 Shore A karışımlara göre daha yüksek çapraz bağ yoğunluğuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. MT50 ve MT60 formülünde yüzey alanı daha düşük olan MT990 karbon siyahının olması FEF550 ve HAF330 karbon siyahı ağırlıklı NR50 ve NR60 karışımlarına göre daha düşük çapraz bağ yoğunluğuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun polimer – dolgu etkileşiminin artmasıyla polimer-polimer etkileşiminin azalmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.2. Hazırlanan Elastomerlerin Çapraz Bağ Yoğunlukları.

HAZIRLANAN ELASTOMERLERİN ÇAPRAZ BAĞ YOĞUNLUKLARI					
<i>Deformasyon 0.140% Pişirme Sıcaklığı :140°C Pişmemiş ve Pişmiş Örnek Frekans Taraması : 80°C @20 Hz</i>					
FORMÜL ADI	G'pişmemiş @20 Hz	G'pişmiş @20 Hz	XLD (fiz) mol/m ³	XLD (kim) mol/m ³	XLD (top) mol/m ³
MT 50	480	795	89,3	147,9	237,2
MT 60	940	1444	174,9	268,7	443,7
NR 50	510	926	94,9	172,3	267,2
NR 60	1874	2374	348,7	441,8	790,5

Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi pişmemiş örneklerin depo modülünün frekansa bağlı olarak değişimi pişmiş örneklerle göre daha fazladır. Bu durum çapraz bağlanmaların sonucu olarak değerlendirilebilir [22].



Şekil 4. 3. Karışımların Pişmiş ve Pişmemiş Örnekler İçin Depolama Modülünün Frekans ile Değişimi

Pişmiş örneklerin depo modülleri karşılaştırıldığında NR60>MT60>NR50>MT50 şeklindedir. Sertlik artışı ile depo modülünün arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum çapraz bağ yoğunluğundaki artış ile de ilişkilendirilebilir. MT990 karbon siyahı ağırlıklı hazırlanan karışımların depo modüllerinin FEF550 karbon siyahı ağırlıklı hazırlanan

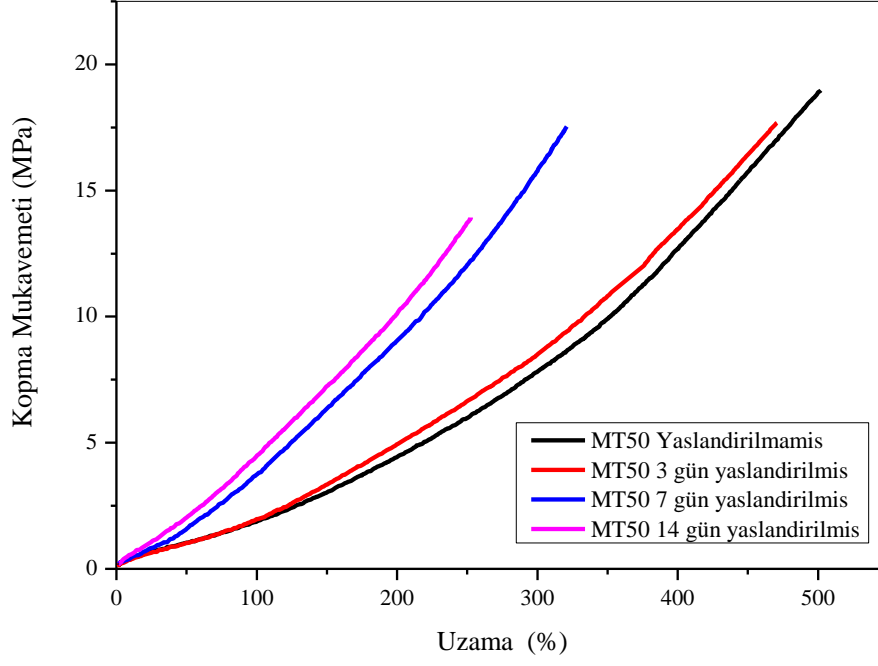
karişimlara göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin polimer dolgu etkileşiminin azalmasından kaynaklandığı düşünölmektedir [23].

4.3. Hazırlanan Elastomerlerin Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Sertlik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

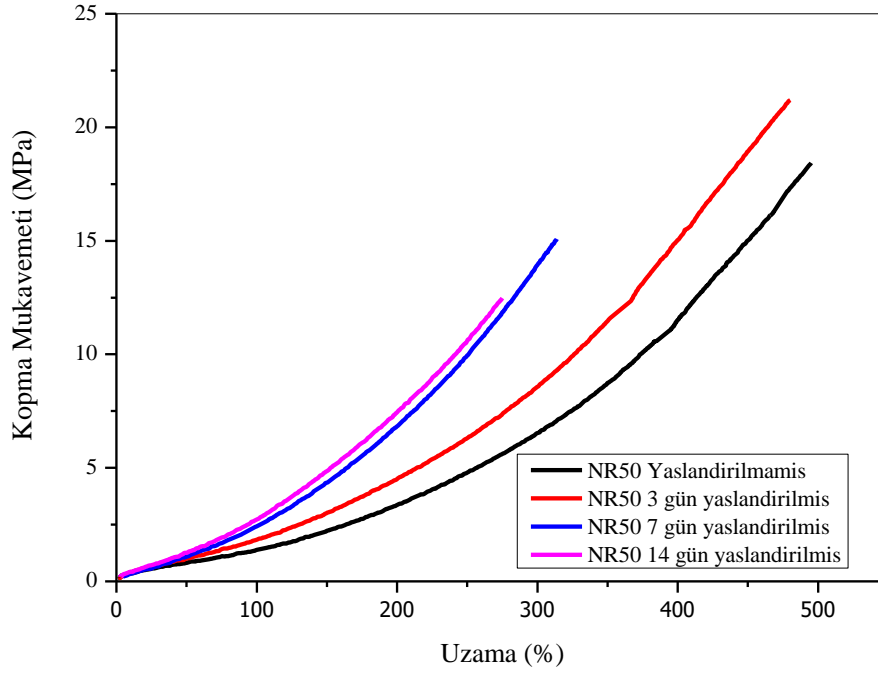
Karişimlerin yaşlandırma öncesi ve sonrası mekanik, sertlik özellikleri incelendiğinde; aynı sertlikte farklı karbon siyahları ile hazırlanan karişimlerin mekanik özelliklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 4.4.,4.5.,4.6.,4.7.) Sertliğin azalması ile kopma anındaki uzama değerinde artış olmuştur. MT990 karbon siyahı ağırlıklı hazırlanan karişimlerin FEF550 ağırlıklı hazırlanan karişimlere göre 7 ve 14 gün yaşlanma değerlerinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Yaşlanma süresi ile mekanik özelliklerdeki değişimler Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3.Karişimlerin Isıl Yaşlanma Öncesi Ve Sonrası Mekanik, Sertlik Özelliklerinin İncelenmesi

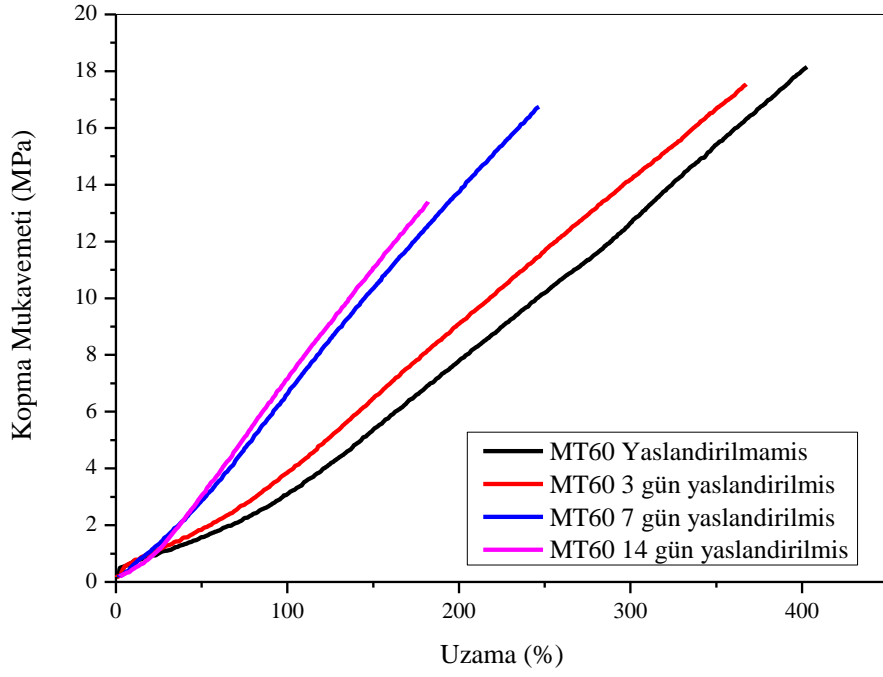
Karişim Adı	Test	Isıl Yaşlanma Süresi (Gün)			
		0	3	7	14
MT 50	Sertlik (Shore A)	50	56	57	58
	Kopma Mukavemeti (MPa)	19	17,6	17,5	13,9
	Kopma Anında Uzama (%)	502	470	320	252
	Sertlik Değişimi (+/-)		6	7	8
	Kopma Mukavemeti Değişimi (%)		-7,4	-7,9	-26,9
	Kopma Anında Uzama Değişimi (%)		-6,4	-36,3	-49,9
NR 50	Sertlik (Shore A)	50	53	54	54
	Kopma Mukavemeti (MPa)	18,5	21	15	12,5
	Kopma Anında Uzama (%)	495	480	313	278
	Sertlik Değişimi (+/-)		3	4	4
	Kopma Mukavemeti Değişimi (%)		13,5	-29	-32,5
	Kopma Anında Uzama Değişimi (%)		-3	-36,8	-43,9
MT 60	Sertlik (Shore A)	60	64	65	66
	Kopma Mukavemeti (MPa)	18,1	17,6	16,7	15,8
	Kopma Anında Uzama (%)	402	367	246	232
	Sertlik Değişimi (+/-)		4	5	6
	Kopma Mukavemeti Değişimi (%)		-2,8	-7,8	-12,8
	Kopma Anında Uzama Değişimi (%)		-8,7	-38,9	-42,3
NR 60	Sertlik (Shore A)	63	65	65	66
	Kopma Mukavemeti (MPa)	19,9	19,5	18	17
	Kopma Anında Uzama (%)	370	347	267	186
	Sertlik Değişimi (+/-)		2	3	3
	Kopma Mukavemeti Değişimi (%)		-2	-9,6	-14,6
	Kopma Anında Uzama Değişimi (%)		-6,2	-27,9	-49,8



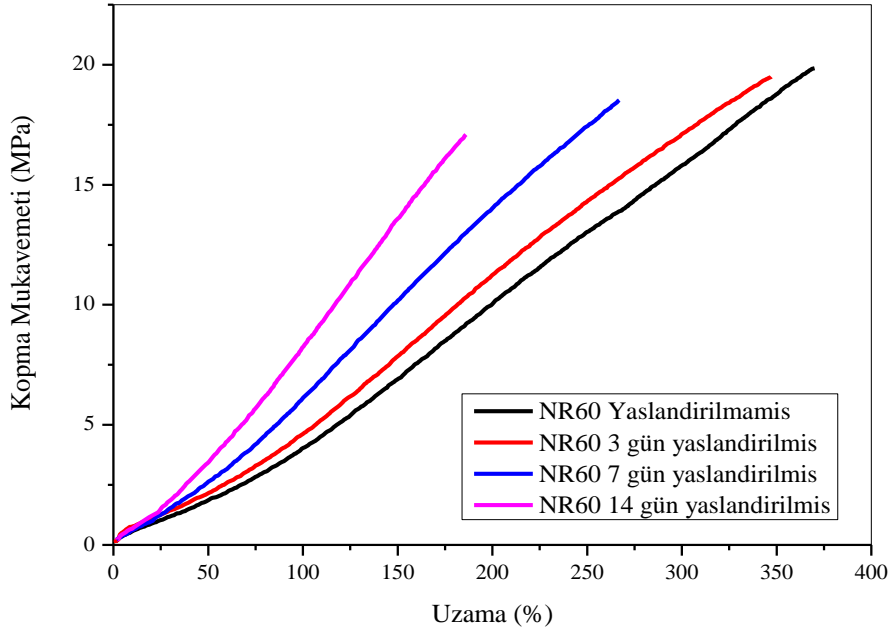
Şekil 4.4. MT 50 Karışımından Hazırlanan Elastomerlerin Mekanik Özellik Eğrisi



Şekil 4.5. NR 50 Karışımından Hazırlanan Elastomerlerin Mekanik Özellik Eğrisi



Şekil 4.6. MT 60 Karışımından Hazırlanan Elastomerlerin Mekanik Özellik Eğrisi



Şekil 4.7. NR 60 Karışımından Hazırlanan Elastomerlerin Mekanik Özellik Eğrisi

4.4. Hazırlanan Elastomerlerin Kalıcı Deformasyon Sonuçları

Tüm karışımlara standartta belirtilen şekilde 70°C 70 saat kalıcı deformasyon testleri yapılmıştır. Test sonuçları Tablo 4.4.'de verilmiştir. NR kauçuklar düşük kalıcı deformasyon özellikleri gösterir [1]. Karışımlarında kullanılan MT990 karbon siyahının düşük kalıcı deformasyon sağladığı da bilinmektedir [1]. Yapılan bu çalışmada HAF330, FEF550 ve MT990 ağırlıklı karbon siyahları ile hazırlanan MT karışımlarının ve FEF550, HAF330 karbon siyahları ile hazırlanan NR karışımlarının kalıcı deformasyon testleri yapılarak karbon siyahı kombinasyonlarının kalıcı deformasyon üzerinde etkisi incelenmiştir. Kalıcı deformasyon yük altında çalışan sönümlenme elemanları için önemli bir ölçüttür. Yüksek kalıcı deformasyona uğrayan malzemeler kullanım yerine uygun değildir. ASTM D 395 standardına göre otomotiv parçalarında istenilen maksimum kalıcı deformasyon 22 saat 70°C'de %25 ile %50 arasında değişmektedir. Dinamik olarak çalışan parçaların kalıcı deformasyonun 22 saat 70°C'de maksimum %50 olması gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada elde edilecek optimum karışım veya karışımlardan hazırlanacak nihai ürünlerin kullanım ömürlerinin fazla olması istenmektedir. Bu husus göz önünde bulundurularak kalıcı deformasyon değerleri 70 saat sıkıştırma sonunda incelenmiştir. Karışımların kalıcı deformasyon sonuçları Tablo 4.4.'de verilmiştir. Aynı tipte karbon siyahı kullanılan karışımları dikkate alırsak, sertliğin artması ile kalıcı deformasyon değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, karbon siyahı yüklenmesi arttıkça çapraz bağ yoğunluğunun artması ve kauçuk zincirlerinin hareketliliğinin azalması, dolayısıyla doldurulmuş bileşiklerde sertliğe neden olmasıdır. Bu yapıdan dolayı kalıcı deformasyon özelliği etkilenmektedir [24]. Aynı zamanda MT990 karbon siyahı kullanılarak hazırlanan karışımların FEF550 karbon siyahı kullanılarak hazırlanan karışımlara oranla daha yüksek kalıcı deformasyona uğradığı gözlemlenmiştir. En iyi kalıcı deformasyon değeri çapraz bağ yoğunluğu fazla olan NR60 karışımında gözlemlenmiştir.

Tablo 4.4. Karışımlarının Kalıcı Deformasyon Test Sonuçları

Karışım Adı	% Kalıcı Deformasyon
NR 50	28,4
MT 50	36,0
NR 60	27,5
MT 60	32,0

4.5. Hazırlanan Elastomerlerin DMA ile Sönümlenme Davranışlarının İncelenmesi

Aynı polimer tipleri, farklı koşullarda birbirinden oldukça farklı davranışlar sergileyebilir. Bir malzeme üzerine yük uygulandığında deformasyon meydana gelir. Malzeme ideal elastik bir malzeme ise yük kaldırıldığında deformasyon yok olur. Elastik deformasyon, malzemeye uygulanan yük ile doğru orantılıdır ve gecikmeksizin gerçekleşir. Fakat polimerler gibi malzemelerde, deformasyon doğrusal değildir ve gecikmeli olarak gerçekleşir. Elastik davranışın zıttı viskoz davranıştır. İdeal viskoz bir malzemede deformasyon hızı yük ile doğru orantılıdır. Polimer gibi bazı malzemeler hem elastik hem de viskoz davranış gösterirler ve bu tür malzemeler viskoelastik malzemeler olarak adlandırılır. DMA, sıcaklığa bağlı visko-elastik özellikleri kaydederek ve numuneye salınımlı bir güç uygulayarak elastik modülü ve sönümlenme katsayısını belirler.

DMA cihazı ile polimer malzemelerin depo modülü (E' veya G') ve kayıp modülü (E'' veya G'') özellikler incelenir. G' bir malzemenin ne kadar enerji depolayabileceğini tanımlar. G'' ise malzemenin ısı olarak kaybettiği enerjiyi tanımlar [14]. DMA cihazı malzemelerin G' , G'' ve $\tan \delta$ değerlerini frekans veya sıcaklık taraması yaparak ölçer. Sistemi daha iyi tanımlayabilmek için aşağıda konu ile ilgili bazı eşitliklerin tanımlaması yapılmıştır.

$$\text{Depo Modülü : } G' = \frac{\text{Gerilme}}{\text{Gerinim}} \times \cos \delta \quad (4.1)$$

$$\text{Kayıp Modülü : } G'' = \frac{\text{Gerilme}}{\text{Gerinim}} \times \sin \delta \quad (4.2)$$

Eşitliklerde kullanılan gerilme değeri malzemeye uygulanan kuvvetin bastığı yüzey alanına oranına eşittir.

$$\text{Gerilme (Pa)} = \frac{\text{Kuvvet (N)}}{\text{Alan (m}^2\text{)}} \quad (4.3)$$

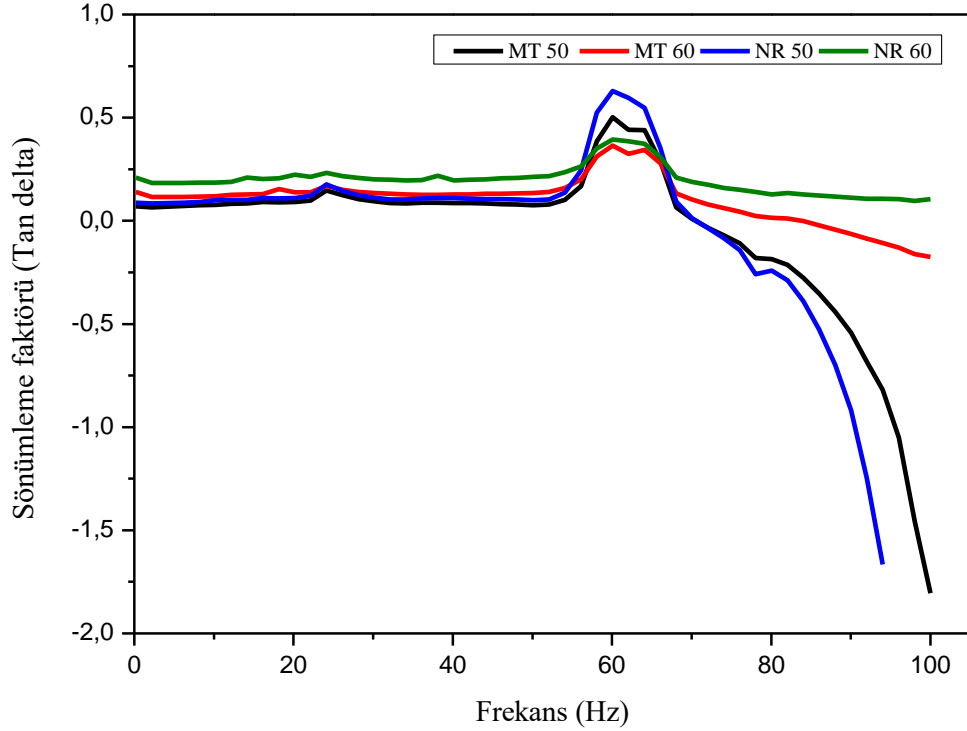
Gerinim değeri ise deformasyonun uzunluğa oranıdır.

$$\text{Gerinim} = \frac{\text{Deformasyon (m)}}{\text{Uzunluk (m)}} \quad (4.4)$$

$\tan \delta$ olarak tanımlanan sönümlenme ölçütü ise malzemenin kayıp modülünün depo modülüne oranıdır.

$$\tan \delta = \frac{\text{Kayıp Modülü (G'')}}{\text{Depo Modülü (G')}} \quad (4.5)$$

Bu tez çalışmasında Tan δ değeri, farklı frekanslarda incelenmiştir. Tan δ değerinin büyük olması malzemenin enerji sönümlenme kapasitesinin iyi olmasını ifade eder. Karışımların farklı frekanslarda ki Tan δ değerleri Şekil 4.8.'de verilmiştir.



Şekil 4. 8. Karışımların Sönümlenme (Tan δ) Değerlerinin Frekansla Değişimi

Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi 0 - 56 Hz aralığında FEF550 ağırlıklı NR60 karışımlarının Tan δ değerinin diğer karışımlardan biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Tüm sistemler 56-70 Hz aralığında Tan δ değerinde bir pik vermiştir. Tüm sistemlerin maksimum sönümlenme değeri yaklaşık 62 Hz civarındadır. Bu frekansa en yüksek sönümlenme NR50 sisteminde gözlenmiştir. Kullanılan karbon siyahı türünün yüzey alanının artmasıyla oluşan polimer dolgu etkileşimi sayesinde, sönümlenme kapasitesini arttırdığı sonucuna varılmıştır [22].

Aynı zamanda sertlik ve çapraz bağ yoğunluğunun artışının da sönümlenme oranını arttırdığı görülmektedir. Karışımların çapraz bağ yoğunluklarını sıraladığımızda NR60>MT60>NR50>MT50 şeklindedir. 0 – 56 Hz aralığında ki sönümlenme özellikleri

de yine aynı sıralamadır. Çapraz bağların artması ile sönümleme özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

56 Hz'den sonra sertliği 50 Shore A olan karışımların $\tan \delta$ değerlerinin sertliği 60 Shore A olan karışımlara göre arttığı gözlemlenmiştir. 60 Hz'den sonra tüm karışımlar için $\tan \delta$ değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Fakat NR60 karışımının $\tan \delta$ değeri 100 Hz frekansına kadar 0,1 değerlerinde seyretmiştir. 100 Hz'den sonraki frekanslar için Elastomer Test cihazında ölçüm yapılmıştır.

4.6. Hazırlanan Elastomerlerin Elastomer Test Sistemi ile Sönümleme Davranışlarının İncelenmesi

Hazırlanan elastomerlerin farklı frekanslardaki sönümleme ölçütü ($\tan \delta$), doğal frekans ve enerjiyi sönümlemeye başladığı andaki frekans değerleri ve dinamik dirençlik değerleri MTS firmasının Elastomer Test Sistemi kullanılarak incelenmiştir. Elastomer Test Sistemi sayesinde geniş frekans aralığında ve farklı yüklerde elastomer malzemelerin sönümleme özellikleri değerlendirilir. Yük altında, titreşim sönümleme amacı ile kullanılan elastomer malzemeler için frekans taraması yaparak hangi frekans aralığında çalışabilirliğini görmek, hangi frekanstan sonra sönümleme özelliğini kaybettiğini görmek önemli bir çalışmadır. Bu sayede nihai ürünün kullanım yerine göre elastomer malzeme karışımı seçimi yapılabilir.

Testler oda sıcaklığında 0 - 200 Hz aralığında, 250 N yük altında dikey yönde yapılmıştır. Test plakası olarak 10 mm çapında 6 mm kalınlığında optimum pişme değerlerine göre vulkanize edilmiş kauçuk diskler kullanılmıştır.

MTS firmasının Elastomer Test Sistemi cihazı ile yapılan DMA çalışmalarının yukarıda verilen DMA çalışmalarından farkı disklerin yük altında sönümleme davranışlarının incelenmesidir. Nihai ürün olarak hazırlanacak titreşim sönümleme elemanlarının yük altında çalıştığı göz önüne alınırsa, karışımların sönümleme davranışlarını yük altında incelenmesi gerçek koşulları simüle etmek anlamında daha gerçekçi olacaktır.

Sönümleme tekrarlanan veya döngüsel yükleme sırasında titreşim izolasyon sistemi tarafından dağıtılan enerjiyi dolaylı olarak temsil etmek için kullanılabilen karmaşık bir olgudur. Sönümleme viskoz, coulomb ve yapısal sönümleme olarak üç ayrı şekilde incelenebilir. Viskoz sönümleme, birçok titreşim sönümleme elemanının sönümlemesini modellemek için yaygın olarak kullanılır. Viskoz sönümü karakterize etmek için kullanılan üç değişken, sönüm sabiti, kritik sönüm sabiti ve sönüm oranıdır

(sönüm faktörü de denir). Sönüm sabiti (C), birim bağıl hız (v) başına uygulanan kuvvet olarak tanımlanır [25].

$$C = \frac{F}{v} \quad (4.6)$$

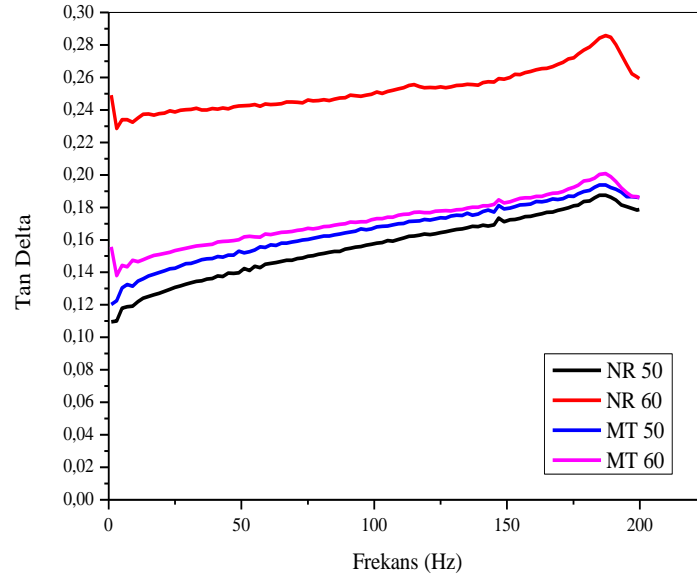
Kritik sönüm ise salınımlı ve salınımlı olmayan hareket arasındaki sınırlayıcı durumu tanımlamak için tanımlanır ve kritik sönüm sabiti eşitlik 4.7’de tanımlanmıştır. k direngenlik sabitini, m ise sistemin kütlesini ifade eder.

$$C_c = 2\sqrt{km} \quad (4.7)$$

Sönümlenme oranı (damping ratio) ise sönüm sabiti ile kritik sönüm sabiti arasındaki birimsiz oran olarak tanımlanır. Eşitlik 4.8’de tanımlanmıştır

$$\zeta = \frac{C}{C_c} \quad (4.8)$$

Daha önceki konularda tanımlanan malzemenin kayıp modülünün depo modülüne oranı olan $\tan \delta$ değeri, farklı frekanslarda incelenmiştir. $\tan \delta$ değerinin büyük olması malzemenin enerji sönümlenme kapasitesinin iyi olmasını ifade eder. Karışımların farklı frekanslarda ki $\tan \delta$ değerleri Şekil 4.9.’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Karışımların $\tan \delta$ Değerlerinin Frekansla Değişimi

Şekil 4.9.’da görüldüğü gibi 0 – 200 Hz aralığında 60 Shore A olarak hazırlanan FEF550 ağırlıklı NR60 karışımının $\tan \delta$ değerinin diğer karışımlardan daha yüksek

olduğu görülmüştür. Diğer karışımların Tan δ değerlerinin yaklaşık olarak birbiri ile aynı olduğu gözlemlenmiştir. Yine sıralama sönümlenme özelliği ile ilgili sıralama yapıldığında NR60>MT60>MT50>NR50 şeklinde sonuç çıkarımı yapılmıştır. Tüm sistemler için DMA da düşük yüklerde 60 Hz civarında gözlenen artışa benzer bir tan delta değerinde artış yaklaşık 190 Hz civarında gözlenmiştir.

Titreşim sönümlenme elemanlarında bir diğer önemli husus doğal frekansın belirlenmesidir. Doğal frekans (f_n), malzemelerin esnekliğine ve kütlesine bağlı olan serbest titreşim frekanslarıdır. Her malzemenin bir doğal frekansı vardır. Doğal frekanslar tetiklenmediği sürece ortaya çıkmazlar ve malzemeye zarar vermezler. Örneğin malzemeye küçük bir salınım verildiğinde ortaya çıkan salınım frekansı malzemenin doğal frekansını ifade eder. Doğal frekanslar yöne bağlıdır. Bir malzemenin dikey veya eksenel yöndeki doğal frekansı birbirinden farklı olabilir. Doğal frekanslar (f_n) olarak tanımlanır. Doğal frekanslar malzemenin dirençlilik değeri (stiffness) ve desteklediği kütleyle (M) bağlıdır. Eşitlik 4.9'da tanımlanmıştır.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{K/M} \quad (4.9)$$

MTS test cihazı, malzemelere yük altında frekans taraması yaparak, malzemelerin doğal frekansını ölçebilir. Şekil 4.10.'da iletilebilirlik – frekans eğrisi verilmiştir. Eğrinin tepe noktası doğal frekansını verir. Titreşim sönümlenmede kullanılacak elastomerleri seçerken elastomerin sönümlenme yapmasını sağlamak için, malzemeye gelecek dinamik frekansın (f_d)'nin, elastomerin doğal frekansından en az 1,41 kat büyük olması gerekmektedir [26].

Karışımların doğal frekansları Tablo 4.5'de verilmiştir. Doğal frekans sisteme gelen yüke bağlı değişen bir durumdur. Tabloda 4.5'de ki değerlere bakıldığında 250 N yükte 50 Shore A olan karışımların doğal frekansının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.5. Karışımların Doğal Frekans Değerleri

Karışım Adı	Doğal Frekans (Hz)
MT 50	21
NR 50	21
NR 60	29
MT 60	25

Titreşim geçirgenliği olarak bilinen iletilebilirlik (Tr)'yi (Transmissibility) tanımlamak gerekirse, malzemeye giren enerjinin çıkan enerjiye oranıdır. Elastomerler Tr – Frekans grafiklerinde $Tr = 1$ 'den çizilen yatay doğrunun eğriyi kestiği frekanstan sonraki

frekanslarda sönümlenmeye başlarlar[15]. Titreşim geçirgenliği eşitlik 4.10'da tanımlanmıştır.

$$T = \frac{A_{\text{çıkış}}}{A_{\text{giriş}}} = \frac{1 + (2\zeta \left(\frac{fd}{fn}\right))^2}{\sqrt{[1 - \left(\frac{fd}{fn}\right)^2]^2 + [2\zeta \frac{fd}{fn}]^2}} \quad (4.10)$$

T = Titreşim geçirgenliği

ζ = Sönümlenme oranı

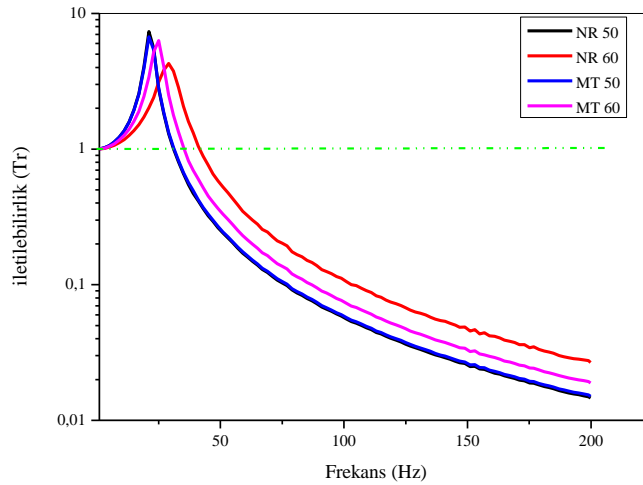
fd = Dinamik frekans

fn = Doğal frekans

$A_{\text{giriş}}$ = Sisteme giren enerji

$A_{\text{çıkış}}$ = Sistemden çıkan enerji

olarak tanımlanır.



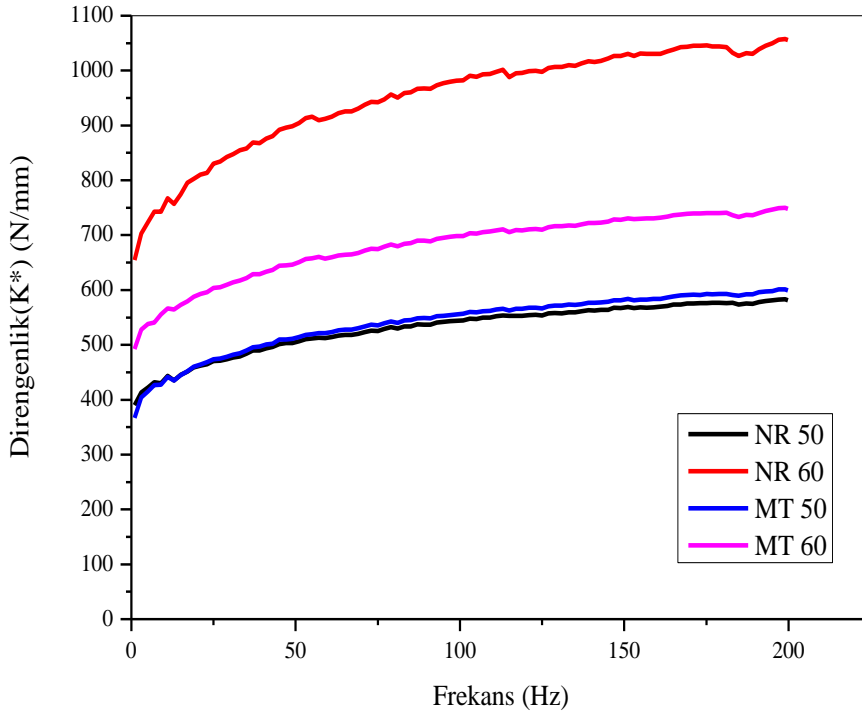
Şekil 4.10. Karışımların İletilebilirlik – Frekans Eğrisi

Karışımlar $Tr = 1$ 'den çizilen yatay doğrunun eğriyi kestiği frekanstan sonraki frekanslarda sönümlenmeye başlarlar. Bu değerler aşağıdaki Tablo 4.6.'de belirtilmiştir. Yine 50 Shore A karışımların daha erken frekanslarda sönümlenmeye başladığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.6. Karışımların $Tr = 1$ deki Frekans Değerleri

Karışım Adı	Tr = 1 'de ki Frekans Değeri (Hz)
MT 50	30,9
NR 50	30,9
NR 60	41,0
MT 60	35,0

Dirençlik ve sönümlenme titreşim sönümlenme elemanlarında aranan en önemli iki özelliktir ve dinamik bir modeli karakterize etmek için kullanılır. Dirençlik (stiffness) değeri bir malzemenin uygulanan kuvvete dayanma yeteneğini tanımlar [25]. MTS cihazında malzemelerin dirençlik değerleri bulunabilir. Şekil 4.11.'de karışımların frekansa karşı dirençlik değerleri verilmiştir. Diğer test sonuçlarında da olduğu gibi çapraz bağ yoğunluğu yüksek olan malzemelerin dirençlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Aynı zamanda FEF550 karbon siyahı ağırlıklı NR60 karışımının sönümlenme özelliğinin MT990 karbon siyahı ağırlıklı MT60 karışımına göre daha iyi dirençlik özelliğine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

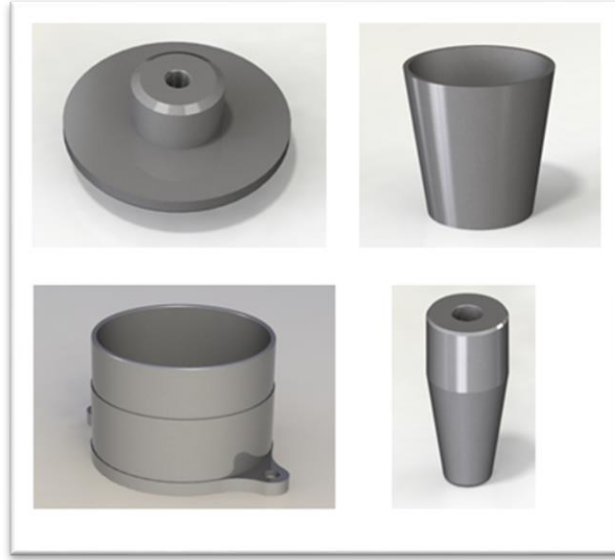


Şekil 4.11. Elastomer sistemlerinin dirençliğinin frekansla değişimi

4.7. Raylı Sistem Araçlarında Kullanılan Birincil Süspansiyon Konik Yayların Hazırlanması ve Testlerinin Yapılması

Tez çalışmasının bu aşamasında hazırlanan karışımların raylı sistem araçlarında birincil süspansiyon konik yay sistemi olarak kullanılması araştırılmıştır. Önce tasarımı araç ve orijinal parça üreticisine ait olan konik yaylarının kalıp tasarımı yapılmıştır.

Şekil 4.12.'de görülen metal aksamları hazırlanarak üretime hazır hale getirilmiştir. Metal ve ürün tasarımı orijinal ürün (şekil 4.13.) ile birebir aynı olarak hazırlanmıştır.



Şekil 4.12. Konik Yayda Kullanılan Metal Parçaların Tasarım Görselleri



Şekil 4.13. Orijinal konik yay tasarımı

Orijinal ürüne ait herhangi bir kauçuk şartnamesi bulunmamaktadır. Yurt içinden temin edilen ithal numuneler 8 yıl rafta beklediği için ve şeklinin test parçaları çıkarılmaya müsait olmaması nedeni ile kauçuk için geri mühendislik çalışmaları yapılamamıştır. Kauçuk parça üzerinden sertlik ölçümü yapılarak 54 Shore A sertlik değerleri ölçülmüştür.

Bu konuda daha önce yapılan çalışmalar göz önüne alınarak hazırlanan MT50, NR50, MT60 ve NR60 karışımlarının yukarıdaki bölümlerde belirtilen karakterizasyon çalışmaları sonunda elde edilen bilgiler nihai ürüne göre uygunluğu değerlendirilmiş ve orijinal ürünün dikey-yanal yükte yer değiştirme, direngenlik ve kalıcı deformasyon verileri dikkate alınarak karışımların içerisinde NR50 karışımı seçilmiştir. NR50 karışımı 50 Shore A sertliği nedeni ile dikey ve yanal yük altında yer değiştirme değerlerini sağlamıştır. MT50 karışımı ve NR50 karışımı aynı sertlik değerindedir ancak NR50 karışımının kalıcı deformasyon değeri MT50'den daha iyidir. Kauçuk diskler üzerinde yapılan çalışmalarla bu değer kanıtlanmıştır. Ardından prototip ürün üzerinde NR50 karışımı kullanılarak şartname değeri baz alınarak 20 kN yük altında 24 saat ve 1 hafta kuvvet – kuvvet kolu etkisinden yararlanarak konik yay test düzeneğinde yük altında kalıcı deformasyon testi yapılmıştır. Konik yay için şartname de tanımlanan limit değerler ve NR50 hamuru kullanılarak elde edilen yayın sonuçları Tablo 4.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Prototip Konik Yay Kalıcı Deformasyon Testi

Zaman	Şartname tanımlanan toplam çökme Değeri (mm)	NR50 kullanılarak üretilen konik yay için toplam çökme değeri (mm)
t = 24 Saat	$\leq 3,2$	0,83
t = 168 Saat	$\leq 3,56$	2,46

Konik yayın yük altında çalışması nedeni ile kalıcı deformasyon üründe istenen en önemli özelliklerden bir tanesidir. Toplam çökme sonuçları karşılaştırıldığında NR50 formülünden üretilen konik yayın 24 saatte ki kalıcı deformasyon değerinin orijinal ürünün yaklaşık 3,8 kat altında, 168 saatte ki kalıcı deformasyon değerinin 1,4 kat altında olduğu gözlemlenmiştir.

Raylı sistem araçların ileri – geri hareketleri esnasında konik yaylar yanal olarak esneme hareketi yaparlar. Bu davranış ve şartname değerleri temel alınarak 400 tonluk MTS cihazında konik yaylara yanal test yapılmıştır. Yanal test esnasında şartnamede;

- 14,2 kN dikey yükte 2300 N/mm yanal direngenlik

22,8 kN dikey yükte 3600 N/mm yanal direngenlik değerleri istenmektedir. Yapılan testlere göre sonuç tablosu Tablo 4.8.'de verilmiştir.

Tablo 4.8. Prototip konik yay yanal test sonuçları

Dikey Yük (kN)	Şartname tanımlanan Direngenlik Değeri (N/mm)	NR50 kullanılarak üretilen konik yay için Direngenlik Değeri (N/mm)	% Fark
14,2	1955 - 2645	2246	14,9
22,8	3060 - 4140	4062	32,7

Yanal yük test sonuçları incelediğinde sonuçların şartnamede tanımlanan isterlerin aralığında olduğu 14,2 kN dikey yük uygulanan sistemde en düşük değerden %14,9 daha iyi, 22,8 kN dikey yük verilerek uygulanan sistemde ise en düşük değerden %32,7 daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Konik yaylar raylı sistem araçlarında belirli bir yük altında çalışır. Şartname de bu değer maksimum 29,9 kN olarak tanımlanmıştır. Konik yaylar için istenen dikey direngenlik şartname değerleri ise;

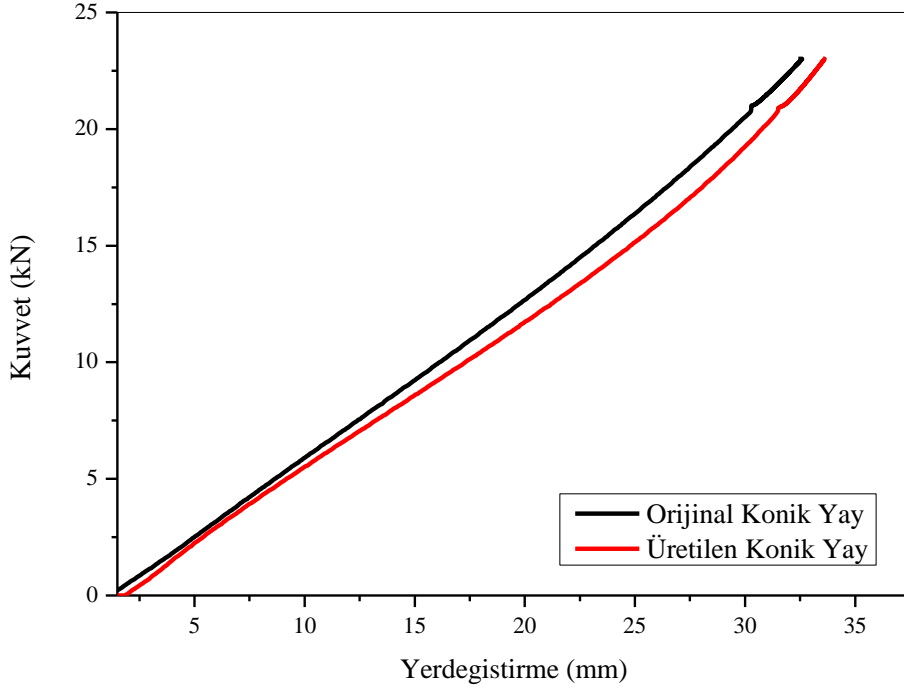
- 23,0 kN dikey yükte 860 N/mm dikey direngenlik değeri istenmektedir.

Konik yayın dikey yük-yer değiştirme eğrisi Şekil 4.14.'de gösterilmiştir. 16,3 kN ve 23 kN arasında ki direngenlik değeri hesaplanmıştır. Şartnamede tanımlanan direngenlik değeri ve NR50 kullanılarak üretilen konik yay için elde edilen dikey direngenlik değeri Tablo 4.9.'da verilmiştir.

Tablo 4. 9. Prototip konik dikey yük test sonuçları

Dikey Yük (kN)	Şartname tanımlanan Dikey Direngenlik Değeri (N/mm)	NR50 kullanılarak üretilen konik yay için Dikey Direngenlik Değeri (N/mm)	% Fark
16,3 - 23	731 - 989	877,4	20,0

Dikey yük test sonuçları incelediğinde direngenlik değerinin şartnamede belirlenen aralıkta olduğu ve en düşük direngenlik değerden %20 daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.14. Prototip konik yayın dikey yük – yer değiştirme eğrisi

Hazırlanan karışımların arasından seçilen NR50 ile yapılan ön testlerin ve NR50 hamuru kullanılarak hazırlanan konik yaylarla yapılan çalışmaların sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde;

- Sertlik değerinin yük – yer değiştirme değerlerini sağlaması,
- Kauçuk disklere yapılan kalıcı deformasyon testinde MT50 karışımından hazırlanan elastomerlerin daha iyi kalıcı deformasyon değeri sergilemesi,
- Kauçuk papyon numunelere yapılan mekanik test ve yaşlandırma testlerinin iyi sonuçlar vermesi,
- Kauçuk disklere yapılan MTS test sonuçlarına göre iyi direngenlik değeri sergilemesi,

NR50 hamuru kullanılarak hazırlanan prototip konik yaylarla yapılan çalışmalar sonunda elde edilen verilere göre, konik yay için tanımlanan şartname değerlerini sağlaması sebebiyle ülkemizde üretilebilecek milli ve yerli yeni bir titreşim sönümleyici konik yay sistemi olma potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır.

Üretilen 16 adet numune konik yay kullanıcıya teslim edilerek AnsaldoBreda Sirio Marka Tramvaylarda denenmiştir. Üretilen konik yay Şekil 4.15.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Üretilen Konik Yay

6 aylık denemeden sonra kauçuk yayların herhangi bir deformasyona uğramadığı ve süspansiyonu kullanıcı görüşüne göre yeterli miktarda sönümlendiği tespit edilmiştir. Konik yayın tramvaya takılı şekli Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 16. Konik Yayın Sirio Tramvayındaki Kullanım Yeri

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında NR/BR esaslı farklı karbon siyahı türleri ile hazırlanan karışımların karakterizasyonları yapılarak, farklı karbon siyahı tiplerinin karışım üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda NR50 ve NR60 karışımlarının raylı sistem araçlarında birincil süspansiyon olarak kullanılan elastomer esaslı konik yaylarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışmalara literatür taraması yapılarak başlanmış ve daha önce yapılan çalışmalar sonunda elde edilen bilgi birikimi ışığında hazırlanan reçetelere göre karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlarda ağırlıklı olarak doğal kauçuk kullanılmıştır. Doğal kauçuk çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ekonomik bir kauçuk türüdür. Titreşim sönümlenme, iyi kalıcı deformasyon, sıcaklık – dış hava koşullarına karşı dayanıklılık ve elastikiyet özelliklerinden dolayı titreşim sönümleyici sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [27]. Bu nedenle karışımlarda ana polimer türü olarak doğal kauçuk kullanılmıştır. Bulunabilirliği ve yine iyi kalıcı deformasyon, sönümlenme özelliklerine sahip RSS3 polimeri kullanılmıştır. Doğal kauçuğun eksik yönü olan sabit olmayan viskozite, düşük ısı dayanımı, düşük kalıcı deformasyon, düşük ısıl yaşlandırma özelliklerini tamamlamak için viskozitesi sabit olan sentetik kauçuk bütadien kullanılmıştır [28]. Bütadien kauçuk olarak ticari olarak yoğun olarak kullanılan %96,7 cis içeren, CBR 1203 kullanılmıştır. Polibütadien kauçukların yüksek miktarda trans içeren tiplerinin sert ve kristal yapı kazandığı bilinmektedir. Bu nedenle cis 1-4 polibütadien tercih edilmiştir [29].

NR/BR karışımlarında MT50 ve MT60 formüllerinde elastikiyeti ve kalıcı deformasyon özelliklerinin iyi olduğu bilinen MT990 karbon siyahı ağırlıklı karışım yapılmıştır. Sertlik ayarlamasının sadece MT990 karbon siyahı ile zor olacağından FEF550 ve HAF330 karbon siyahları da karışıma eklenmiştir. NR50 ve NR60 karışımları hazırlanırken 50 ve 60 Shore A sertlikleri için HAF330 sabit tutularak FEF550 sertliğe göre ayarlanarak kullanılmıştır. Bu karışımlarda FEF550'nin ağırlıklı olarak kullanılmasının sebebi karışım esnasında ki iyi işlenebilirliği ve nihai üründe istenen yorulma dayanımını arttırıcı özelliklere sahip olmasıdır. HAF 330'un kullanılmasının sebebi ise yüzey alanının büyük olması ile nihai üründe istenen mekanik ve direngenlik değerlerinin arttırılmasıdır [12]. Karışımlardaki yağ ve pişirici miktarları karışımın sertliğine ve karbon siyahlarının özelliklerine göre belirlenmiştir.

Karışımlar ile ilgili yapılan çalışmaları sonuç olarak değerlendirirsek;

- Hazırlanan MDR’de incelenen pişme davranışlarına göre tüm karışımlarda sıcaklık arttıkça pişme süresinin azaldığı ancak scorch süresinin de azaldığı ve belirli bir süreden sonra reversiyona uğrama ihtimalinin olabileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle optimum pişme sıcaklığı 140°C olarak belirlenmiştir.
- Dolgu oranının artması ile maksimum tork değeri olan, pişmenin tam olarak gerçekleştiği değerin arttığı gözlemlenmiştir. Karışımların tork değerleri için sıralama yapacak olursak NR60>MT60>MT50>NR50 sırasına göre arttığı bulunmuştur.
- RPA ile yapılan testler sonucunda elde edilen verilere göre karışımların depo modül (G’) değerleri incelenmiştir. Karbon siyahı oranının artması ile G’ değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda yüzey alanı büyük olan HAF330 ve FEF550 ile hazırlanan NR50 ve NR60 karışımlarının yüzey alanı küçük olan MT990 ağırlıklı, FEF330 ve FEF550 içeren karışımlardan daha iyi depo modülü sergilediği gözlemlenmiştir. Değerlendirme yapılırken aynı sertlikte ki karışımlar temel alınmıştır buna göre G’ değerinin NR60>MT60, NR50>MT50 sırasına göre arttığı görülmüştür.
- RPA taraması sonrasında elde edilen verilerden karışımların çapraz bağ yoğunlukları hesaplanmıştır. Yine değerlendirme yapılırken aynı sertlikte ki karışımlar temel alınmıştır buna göre X_{toplam} NR60>MT60, NR50>MT50’dir. Karışımlarda yüzey alanı büyük olan karbon siyahının kullanılması ile polimer – dolgu etkileşiminin artması nedeni ile çapraz bağ yoğunluğunun arttığı görülmüştür.
- Karışımların yaşlandırma öncesi ve sonrası mekanik, sertlik özellikleri incelendiğinde; aynı sertlikte farklı karbon siyahları ile hazırlanan karışımların mekanik özelliklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Sertliğin azalması ile kopma anındaki uzama değerinde artış olmuştur. MT990 karbon siyahı ağırlıklı hazırlanan karışımların FEF550 ağırlıklı hazırlanan karışımlara göre 7 gün ve 14 günde ki yaşlanma değerlerinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan literatür çalışmalarında MT990 karbon siyahının kauçuk karışımlarda yaşlanma üzerine olumlu etkisi olduğu bilinmektedir [1].
- Karışımların kalıcı deformasyon özelliklerini incelediğimizde aynı özellikteki karbon siyahları ile hazırlanan karışımlardan sertliğin artması ile kalıcı

deformasyon değerlerinin arttığı ve yine yüzey alanı büyük karbon siyahları ile çalışıldığında kalıcı deformasyon değerinin arttığı tespit edilmiştir. Yine bir sıralama yapılırsa kalıcı deformasyon değerinin değişimi NR60>NR50>MT60>MT50 şeklindedir.

- DMA ile yapılan frekans taramasında 0 – 56 Hz aralığında karışımların Tan δ değerleri karşılaştırıldığında NR60>MT60>NR50>MT50 şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu sıralama çapraz bağ yoğunluğu sıralaması ile aynıdır. Çapraz bağlar arttıkça karışımların sönümlenme değerleri artmıştır.
- Hazırlanan disklere MTS cihazı ile 250 kN yük altında yapılan frekans taraması sonucunda tan δ değerlerinin DMA cihazından farklı ölçüldüğü ancak karışımlar arasındaki büyüklük – küçüklük sıralamasının aynı olduğu gözlemlenmiştir. NR60>MT60>MT50>NR50 şeklinde sonuç çıkarımı yapılmıştır.
- DMA ve MTS cihazında frekans taraması sırasında elde edilen tan δ verilerinin farklı olmasının sebebi MTS cihazında DMA'nın aksine yük altında tarama yapılması ve MTS cihazının frekans aralığının yüksek olmasıdır.
- MTS test sonucunda elde edilen direngenlik değerlerine göre diğer test sonuçlarında da olduğu gibi çapraz bağ yoğunluğu yüksek olan malzemelerin direngenlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Aynı zamanda FEF550 karbon siyahı ağırlıklı NR60 karışımının sönümlenme özelliğinin MT990 karbon siyahı ağırlıklı MT60 karışımına göre daha iyi direngenlik özelliğine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Karışımların doğal frekansları incelendiğinde 250 N yükte 50 Shore A olan karışımların doğal frekansının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.
- Karışımlardan elde edilen sonuçları topluca değerlendirecek olursak aynı sertlikte, yüzey alanı büyük olan karbon siyahları ağırlıklı hazırlanmış karışımların polimer – dolgu etkileşimi nedeni ile çapraz bağlanmasının yüksek olduğu, mekanik ve ısıtılma değerlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu, kalıcı deformasyon, sönümlenme değerleri ve direngenlik değerlerinin iyileştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Konik yayın kauçuk özellikleri ile ilgili herhangi bir şartnamesi yoktur. Yurt dışından temin edilen orijinal numunenin 8 yıl rafta beklemesi ve üzerinden herhangi bir test parçası alınamaması nedeniyle orijinal ürüne geri mühendislik çalışması yapılamamıştır. Hazırlanan karışımların karakterizasyonları yapılarak konik yayda kullanılacak olan

karışımın seçimi yapılmıştır. Ardından konik yay ürününe ait şartname verilerine göre temel testleri yapılarak ürüne uygunluğu kanıtlanmıştır. Konik yay hazırlanmasında sonuçları değerlendirecek olursak;

- Dört karışım arasından NR50 karışımı seçilmiştir. Sebebi nihai üründe ki dikey – yanal yük koşullarını sağlamasıdır. NR60 karışımının tüm test değerleri daha iyidir ancak sertliğinin 13 Shore A fazla olması nedeni ürüne uygulanan dikey yükü sağlayamamaktadır. Ancak farklı araçlarda daha fazla yüklerde kullanılacak olan konik yaylar için kullanılabilir.
- Konik yayın yük altında çalışması nedeni ile kalıcı deformasyon özelliği incelenmiştir. Toplam çökme sonuçları karşılaştırıldığında NR50 formülünden üretilen konik yayın 24 saatte ki kalıcı deformasyon değerinin orijinal ürünün 3,8 kat altında, 168 saatteki kalıcı deformasyon değerinin ise 1,4 kat altında olduğu gözlemlenmiştir.
- Yanal yük direngenlik test sonuçları incelediğinde sonuçların orijinal verilerin aralığında olduğu 14,2 kN dikey yük uygulanan sistemde en düşük veriden %14,9 daha iyi, 22,8 kN dikey yük verilerek uygulanan sistemde en düşük veriden %32,7 daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.
- Dikey yük direngenlik test sonuçları incelediğinde direngenlik değerinin şartname aralığında olduğu ve en düşük direngenlik değerden %20 daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] H.Ö. Savran, Elastomer Teknolojisi 1, Vol.1, Kauçuk Derneği Yayınları, 2001.
- [2] R. K. Lou, W. Wang, Q. Xu, X. Li, An energy dissipation approach on complete loading-unloading and dynamic impact predictions with experimental verification for rubber anti-vibration component, Polymer Testing, Cilt 63, Aralık 2017, Sayfa 314-322.
- [3] V. Jovanovic, S. Samarzija, J. J. B. Simendic, G. Markovic, M. M. Cincovic, Composites based on carbon black reinforced NBR/EPDM rubber blends, Compositest Part Engineering, Volume 45, Issue 1, Sayfa 333-340, Şubat 2013.
- [4] A.V. Kaliyathan, A.V. Rane, M. Huskic, K. Kanny, M. Kunaver, N. Kalarikkal, S. Thomas, The effect of adding carbon black to natural rubber/butadiene rubber blends on curing, morphological, and mechanical characteristics, Journal of Applied Polymer Science, Cilt 139, Sayı 16, Nisan 2022.
- [5] H.T Chiu, P. Tsai, Aging and Mechanical Properties of NR/BR Blends, Journal of Materials Engineering and Performance, Cilt 15, Şubat 2005, Sayfa 88-94.
- [6] E. Burgaz, O. Gencoglu, M. Goksuzoglu, Carbon black reinforced natural rubber/butadiene rubber and natural rubber/butadiene rubber/styrene-butadiene rubber composites: Part II. Dynamic mechanical properties and fatigue behavior, Research on Engineering Structures & Materials, Mart 2019.
- [7] A. Babapour, Doğal Kauçuk/ Bütadien kauçuk esaslı silecek lastiği malzemelerinin hazırlanması ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü Polimer Bilimi Ana Bilim Dalı, Ankara, 2013.
- [8] I. Sebasan, N.L. Zaharia, M.A. Spiroiu, L. Fainus, Rubber Suspension a Solution of the future for Railway Vehicles, Romanian Railway Authority – AFER, 393 Calea Grivişei, 010719, Bucharest, Romania.
- [9] A. Cielsielski, An Introduction to Rubber Technology, Vol.1, Rapra, 1999.
- [10] H.Ö. Savran, Elastomer Teknolojisi 2, Vol.1, Kauçuk Derneği Yayınları, 2001.
- [11] Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Vol.21, Copyright John Wiley & Sons, Inc.,
- [12] M.J. Forrest, Rubber Analysis Polymers, Compounds and Products, Cilt.2, Rapra, 2001.

- [13] J.E. Mark, B. Erman, F.R. Elrich, Science and Technology of Rubber, Cilt 3., Elsevier Academic Press, 2005.
- [14] S. Burtscher, A. Dorfmann, K. Bergmeister, Mechanical Aspects of High Damping Rubber, Budapest, 2nd Int PhD Symposium in Civil Engineering, 1998.
- [15] S. Lee, H. Pawlowski, Method for Estimating the Chemical Crosslink Densities of Cured Natural Rubber and Styrene-Bütadiene Rubber, Rubber Chemistry and Technology, 67(5), 854-864,1994.
- [16] TS ISO 7619-1, Lastikler - Vulkanize Edilmiş veya Termoplastik – Çentik Sertliği Tayini – Bölüm 1: Durometre Metodu (shore metodu), 2015.
- [17] TS ISO 37:2011, Lastikler ve Termoplastikler Çekme Gerilmesi Uzama Özellikleri Tayini, 2015.
- [18] TS 4595 ISO 815, Lastikler ve Termoplastikler Ortam Sıcaklığında, Yüksek ve Düşük Sıcaklıklarda Basınç Altında Kalıcı Ezilme Oranı Tayini, 1997.
- [19] ASTM D 395, Standard Test Methods for Rubber Property – Compression Set, 2018.
- [20] ASTM D 573, Standard Test Method for Rubber-Deterioration in an Air Oven, 2019.
- [21] M. Pöschl, M. Vasina, P. Zadraba, D. Merinska, M. Zaludek, Study of Carbon Black Types in SBR Rubber: Mechanical and Vibration Damping Properties, MDPI Journal Materials, 13,2394, 2020.
- [22] R. Chollakup, S. Suethao, P. Suwanruji, J. Boonyarit, W. Smitthipong, Mechanical properties and dissipation energy of carbon black/rubber composites, Composites and Advanced Materials Cilt 30: 1–6, Nisan 2021.
- [23] T. Sajjayanukul,,P. Saeoui, C. Sirisinha, Experimental Analysis of Viscoelastic Properties in Carbon Black-filled Natural Rubber Compounds, Journal of Applied Polymer Science Cilt 1, Eylül 2005.
- [24] A. Mostafa, A.A. Kasem, M.R. Bayoumi, M.G. El-Sebaie, Effect of carbon black loading on the swelling and compression set behavior of SBR and NBR rubber compounds, Material and Design Cilt 30, baskı 5, Mayıs 2009, Sayfa 1561-1568.

- [25] S. Kaul, Modelling and Analysis of Passive Vibration Isolation Systems, Cilt 1, Elsevier, 2021.
- [26] D. Frankovich, The Basics of Vibration Isolation Using Elastomeric Materials, EAR Technologies, Indiana.
- [27] F.A.N Azar, A.K Naghshineh, M. Şen, Preparation and Characterization of Natural Rubber-Based New Elastomers for High-Damping Base Isolation Systems: Journal of Elastomers and Plastics, 0, (2022), 1-16.
- [28] A. Oral, Ligninin nitril kauçuk vulkanizasyonunda koajan olarak değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kocaeli, 2019.
- [29] Anonim, Milli Eğitim Bakanlığı Kimya Teknolojisi Sentetik Kauçuk Özellikleri ve Testleri, Ankara 2011.

