

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TABİİ KAUÇUK (NR) / STİREN BÜTADİEN KAUÇUK (SBR) ESASLI
BURÇLARIN ÜRETİMİ VE TEST YÖNTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seher AKYÜZ

Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı

AĞUSTOS 2020

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TABİİ KAUÇUK (NR) / STİREN BÜTADİEN KAUÇUK (SBR) ESASLI
BURÇLARIN ÜRETİMİ VE TEST YÖNTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Seher AKYÜZ
(171081903)
ORCID: 0000-0003-2416-909X**

Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. Mahmut Ali ERMEYDAN
ORCID: 0000-0001-6389-2649**

AĞUSTOS 2020

ÖNSÖZ

Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı programı kapsamında “Tabii Kauçuk (NR) / Stiren Bütadien Kauçuk (SBR) Esaslı Burçların Üretimi ve Test Yöntemleri” adlı Yüksek Lisans Tezi hazırlanmıştır.

Yüksek lisans eğitimim ve akademik çalışmalarım esnasında her konuda benden desteğini esirgemeyen, değerli fikir ve önerileriyle yol gösteren, tezimin yönlendirilmesi ve yürütülmesinde beni teşvik eden Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. Mahmut Ali ERMEYDAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Çalıştığım esnada tez çalışmalarımı yürütebilmeme imkân veren Yamas A.Ş. firmasına ve katkılarından dolayı ekip arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın hamur reçetelerinin oluşturulması aşamasında firmalarında bana gereken teknik bilgiyi şeffaflıkla sağlayan tüm Metekim Kauçuk A.Ş. çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, saygı, sevgi ve anlayışıyla bana örnek olan, her anlamda bana inanarak güç veren annem ve babam başta olmak üzere aileme sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Hayatıma girdiğinden beri bana olan inancıyla beni cesaretlendiren, çalışmalarım esnasında gösterdiği anlayış için, varlığıyla yanımda olan ve hep yanımda olmasını istediğim eşim Harun DURSUN’a sevgi dolu teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2020

Seher AKYÜZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii
1. POLİMERİK MALZEMELERE GENEL BAKIŞ	1
1.1 Polimerler	2
1.1.1 Termoplastikler	2
1.1.1.1 Amorf termoplastikler	3
1.1.1.2 Yarı-kristal termoplastikler	3
1.1.1.3 Kristal termoplastikler.....	4
1.1.2 Termosetler.....	5
1.1.3 Elastomerler	5
1.2 Kauçuk.....	7
1.2.1 Kauçuğun tarihi gelişimi	7
1.2.2 Kauçuğun sınıflandırılması	8
1.2.2.1 Doğal kauçuk (NR)	8
1.2.2.2 Stiren bütadien kauçuk (SBR).....	10
1.2.2.3 Bütadien kauçuk (BR).....	10
1.2.2.4 Isopren kauçuk (IR).....	11
1.2.2.5 Akrlonitril bütadien kauçuklar (NBR)	12
1.2.2.6 Kloropren kauçuklar (CR).....	12
1.2.2.7 Bütil kauçuklar (IIR)	13
1.2.2.8 Etilen-propilen kauçuklar (EPM- EPDM)	13
1.2.2.9 Polysülfid kauçuk (T).....	14
1.2.2.10 Akrilik kauçuk (ACM).....	15
1.2.2.11 Epiklorohidrin kauçuk (CO, ECO)	15
1.2.2.12 Poliüretan kauçuk (AU)	15
1.2.2.13 Silikon kauçuk (Q)	16
1.2.2.14 Klorosülfone polietilen (CSM)	16
1.2.2.15 Floroelastomer (FKM)	16
1.3 Kauçuk Bileşenleri	17
1.3.1 Dolgu maddeleri.....	17
1.3.1.1 Siyah dolgular	17
1.3.1.2 Beyaz dolgular	19
1.3.2 Yumuşatıcılar (plastikleştiriciler).....	20
1.3.3 Koruyucu maddeler	20

1.3.4 Vulkanizasyon kimyasalları	21
1.3.4.1 Aktivatörler	21
1.3.4.2 Hızlandırıcılar	21
1.3.4.3 Geciktiriciler	22
1.3.4.4 Vulkanizasyon ajanları	22
1.3.5 Vulkanizasyon	23
2. SÜSPANSİYON SİSTEMİ	24
2.1 Süspansiyon Sistemi Elemanları	25
2.2 Burçlar (Bushing)	26
2.3 Süspansiyon Burçlarının Üretimi	27
3. MATERYAL VE METOT	28
3.1 Materyal	28
3.1.1 Kullanılan malzemeler (kauçuk, metal, plastik vb.)	28
3.1.2 Metal malzemelerin özellikleri	28
3.2 Metot	29
3.2.1 Kauçuk reçetelerinin oluşturulması	29
3.2.2 Kauçuk hamuru hazırlama yöntemi	29
3.2.3 Kauçuk hamurlara uygulanan testler	32
3.2.3.1 Reometre testi	32
3.2.3.2 Çekme kopma testi	33
3.2.3.3 Dispersiyon testi	34
3.2.3.4 Sertlik testi	34
3.2.3.5 Yoğunluk testi	35
3.2.4 Kullanılan cihazlar	35
3.2.4.1 Reometre test cihazı	36
3.2.4.2 Çekme kopma test cihazı	36
3.2.4.3 Shoremetre test cihazı	37
3.2.4.4 Yoğunluk test cihazı	37
3.2.4.5 Dispersiyon test cihazı	38
3.2.4.6 Statik karakterizasyon test cihazı	38
3.2.4.7 Ömür test cihazı	39
3.2.5 Metal malzemelerin yüzey hazırlama işlemleri	39
3.2.6 Mamullerin vulkanizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi	41
3.2.7 Vulkanizasyon parametrelerinin optimizasyonu	41
3.2.8 Mamullere uygulanan testler (vulkanizasyon sonrası ürün karakterizasyon testleri)	42
3.2.8.1 Statik karakterizasyon testleri	42
3.2.8.2 Dayanım (ömür) testi ve performans kaybı ölçümleri	46
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
4.1 Reometrik ve Fizikomekanik Test Sonuçları	47
4.2 Dispersiyon Test Sonuçları	48
4.3 Statik Karakterizasyon Test Sonuçları	50
4.4 Dayanım (Ömür) Test Sonuçları	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	56
6. KAYNAKLAR	57

KISALTMALAR

ACM	: Akrilik Kauçuk (Acrylic Rubber)
AU	: Poliüretan Kauçuk (Polyurethane Rubber)
BR	: Bütadien Kauçuk (Butadiene Rubber)
CR	: Kloroplen Kauçuk (Chloroprene Rubber)
CO, ECO	: Epiklorohidrin Kauçuk (Epichlorohydrin Rubber)
CB	: Karbon Siyahı (Carbon Black)
CaO	: Kalsiyum oksid
CSM	: Klorosülfonat-polietilen (Chlorosulfonated Polyethylene Rubber)
EPM-EPDM	: Etilen-propilen Kauçuk (Ethylene Propylene Diene Monomer)
FKM	: Viton Kauçuk (Floroelastomer Rubber)
IR	: İsoopren Kauçuk (Isopren Rubber)
IIR	: Bütül Kauçuk (Butyl Rubber)
MBT	: Mekraptobenzotiazol
MDR	: Moving Die Rheometer (Hareketli Kalıp Reometresi)
MgO	: Magnezyum oksid
MH	: Maksimum tork (Nm)
ML	: Minimum tork (Nm)
NBR	: Akrilonitril Bütadien Kauçuk (Acrylonitrile Butadiene Rubber)
NR	: Doğal Kauçuk (Natural Rubber)
PHR	: Yüz kısım kauçuk başına (Part per hundred rubber)
PbO	: Kurşun oksid
PVC	: Vinil ve Polivinilklorür
PVI	: Ön vulkanizasyon geciktirici (N-sikloheksiltiyoftalimide)
SBR	: Stiren Bütadien Kauçuk (Stiren Butadiene Rubber)
T	: Polisülfid Kauçuk (Polysulfide Rubber)
TE	: Erime sıcaklığı
TG	: Camsı geçiş sıcaklığı
UV	: Ultraviyole
ZnO	: Çinko oksid
Q	: Silikon Kauçuk (Silicone Rubber)

SEMBOLLER

C	: Santigrat Derece
atm	: Atmosfer
bar	: Basınç birimi
C	: Karbon
cm	: Santimetre
cm³	: Santimetreküp
dk	: Dakika
gr	: Gram
kN	: Kilonewton
MPa	: Mega Pascal
nm	: Nanometre
Hz	: Hertz
t	: Zaman
ts2	: Ön vulkanizasyon (scorch) zamanı (dk)
t5	: MH' a ulaşmak için geçen sürenin %5'i (dk)
t35	: MH' a ulaşmak için geçen sürenin %35'i (dk)
t50	: MH' a ulaşmak için geçen sürenin %50'si (dk)
T90	: Maksimum tork değerinin %90'ına ulaştığı zaman (dk)

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 EN AW 6082 alüminyum alaşıma ait kimyasal özellikler (%).	29
Çizelge 3.2 ST 52-3 çeliğinin kimyasal özellikleri (%).....	29
Çizelge 3.3 NR-SBR esaslı hamur reçeteleri.	29
Çizelge 3.4 NR/SBR karışımlarının onaylı vulkanizasyon parametreleri.	41
Çizelge 3.5 Statik radyal ve aksel test parametreleri.	44
Çizelge 3.6 Dayanım ve frekans tarama test parametreleri.	46
Çizelge 4.1 Reometrik özellikler ve fizikomekanik test sonuçları.	47
Çizelge 4.2 Dispersiyon test sonuçları.	49
Çizelge 4.3 Statik karakterizasyon karşılaştırmaları.....	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Amorf maddeler, yarı-kristal ve kristal maddelerin sıcaklıkla değişimi	4
Şekil 1.2	(a) plastomerler (termoplastikler), (b) elastomerler, (c) duromerler (sert kauçuk, termosetler) Çapraz bağların yoğunluğu (Smith, 1993).	6
Şekil 1.3	Sıcaklık-elastiklik modülü değişim grafiği (Smith, 1993).	6
Şekil 1.4	Karbon siyahının moleküler yapısı (Edge ve diğ., 1998).	18
Şekil 2.1	Araçta oluşan kütle salınımları (Megep, 2013).	24
Şekil 2.2	Ön ve arka süspansiyon sistemleri (Megep, 2013).	25
Şekil 2.3	Süspansiyon sistemi elemanları (Megep, 2013).	26
Şekil 3.1	İstiflenen hamurlar.	31
Şekil 3.2	Karışım hazırlama ve şerit oluşturma.	31
Şekil 3.3	(a) Papyon kalıbı (b) Papyon numunesi çıkarılmış plaka.	33
Şekil 3.4	Çekme-kopma testinde kullanılan ASTM D412 Type C numunesi.	34
Şekil 3.5	Sertlik diski.	35
Şekil 3.6	Reometre test cihazı.	36
Şekil 3.7	Çekme kopma test cihazı.	36
Şekil 3.8	Shoremetre test cihazı.	37
Şekil 3.9	Yoğunluk test cihazı.	37
Şekil 3.10	Dispersiyon test cihazı.	38
Şekil 3.11	Zwick Roell test cihazı test set-up (a) Radyal hareket (b) Eksenel hareket.	38
Şekil 3.12	Dyna-mess tek eksenli dinamik test cihazı.	39
Şekil 3.13	Fosfat hattı parça akış yönü.	40
Şekil 3.14	YPU uygulamasında kimyasal bağlanma.	40
Şekil 3.15	(a) Ürün komponentleri ve (b) eksenleri.	42
Şekil 3.16	Araçlarda ön salıncak ve ön süspansiyon sistemi (Yıldız, 2002) 1.Salıncak, 2.Salıncak rotili, 3 ve 6 Kauçuk burç, 4.Araç gövdesi, 5.Rotil körüğü.	43
Şekil 3.17	Kuvvet-deplasman eğrisi.	45
Şekil 4.1	(a) NRSBR70 (b) NRSBR50 (c) NRSBR30 (d) NRSBR10 dispersiyon görüntüleri.	49
Şekil 4.2	Ürünlerin radyal kuvvet-deplasman grafikleri.	50
Şekil 4.3	Ürünlerin eksenel kuvvet-deplasman grafiği.	50
Şekil 4.4	Ürünlerin kopma-yapışma mukavemetleri.	51
Şekil 4.5	(a) NRSBR70 (b) NRSBR50 (c) NRSBR30 (d) NRSBR10 parçaların dayanım test raporlarının karşılaştırılması.	53
Şekil 4.6	(a) NRSBR70 (b) NRSBR50 (c) NRSBR30 (d) NRSBR10 parçaların dayanım testi öncesi ve sonrası frekans tarama testleri karşılaştırmaları.	54
Şekil 4.7	(a) NRSBR70 (b) NRSBR50 (c) NRSBR30 (d) NRSBR10 dayanım testi sonrası parça kesit görünüşleri.	55

TABİİ KAUÇUK (NR) / STİREN BÜTADIEN KAUÇUK (SBR) ESASLI BURÇLARIN ÜRETİMİ VE TEST YÖNTEMLERİ

ÖZET

Kauçuk malzemeler günümüzde otomotiv sektörü ağırlıklı olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptir. Otomotiv sektöründe özellikle titreşim, gürültü ve şok engelleyici olarak anti vibrasyon burçlarında, motor takozlarında, amortisörlerde, bağlantı noktalarında kauçuk kullanılmaktadır. Kauçuk malzeme reçeteleri kullanılacağı komponentin gerektirdiği özellikler ışığında tasarlanmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı tabii kauçuk (NR) / stiren bütadien kauçuk (SBR) esaslı anti vibrasyon burçlarının üretilmesi ve NR/SBR oranının anti vibrasyon burçlarının performansına etkisinin incelenmesidir. Çalışma kapsamında ilk etapta farklı oranlarda belirlenen NR/SBR karışımı 4 referans reçete ile hazırlanmıştır. Bu çalışmada hazırlanan kauçuk karışımlarının üretilmesi, hamurlara uygulanan testler, kullanılan cihazlar, metal malzemelerin yüzey işlemleri, vulkanizasyon işleminin gerçekleştirilmesi, mamüllere uygulanan testler gibi hammaddeden ürün eldesine kadar olan prosesler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Hazırlanan reçeteler üretildikten sonra hamurlara reolojik testler ve fiziko-mekaniksel testler uygulanmıştır. Bu testler dışında kauçuk hamurların dolgu dağılımını görmek için dispersiyon testi uygulanmıştır. Hazırlanan hamurlar reolojik özellikler ve fiziko-mekaniksel özellikler sonucunda belirlenen farklı proses parametreleri (farklı sıcaklık, farklı sürelerde) ile vulkanize edilmiştir. Vulkanizasyon sonrası anti vibrasyon burçlarına statik ve dinamik testler uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tüm bu analizlerin sonucunda elastomer oranlarının titreşim sönümleyici burçlarda ömür performansı üzerindeki etkileri incelenerek optimum reçete karışımı ve üretim koşullarına en uygun proses parametreleri belirlenmiştir. Bu çalışmadaki tüm karışımların reometrik verileri incelendiğinde artan NR oranı ile birlikte sertlik değerlerinde de artış görülmüştür. NR/SBR karışımlarında fiziko-mekaniksel test sonuçları incelendiğinde formülasyondaki NR oranı artıp SBR oranı azaldığında çekme dayanımının arttığı, kopma uzama değerlerinde de azalma olduğu görülmüştür. Dispersiyon test sonuçlarına göre NR kauçuğunun artmasıyla dispersiyonda da artış görülmektedir. Çalışmalar neticesinde NR kauçuğunun mekaniksel özelliklerinin SBR kauçuğa oranla daha iyi olduğu görülmüştür. Bu etkiyi aynı zamanda vulkanizasyon parametrelerine baktığımızda SBR oranı fazla olan formülasyonun diğerlerine göre daha yüksek derecede vulkanizasyonun gerçekleştiği görülmüştür. Artan NR oranıyla birlikte yay sabitleri de artmış, buna bağlı olarak ürün ömür performansı için önemli bir gösterge olan histeresis kayıpları da artmıştır. NR/SBR karışimli formülasyonlarda bütün veriler birlikte değerlendirildiğinde ürün ömür performansı için en iyi sonuçlar NRSBR30 ve NRSBR10 no'lu formülasyonlar ile elde edilmiş aynı zamanda vulkanizasyon süreleri açısından da en uygun sonuçlar alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Tabii kauçuk, stiren bütadien kauçuk, karbon siyahı, anti vibrasyon, vulkanizasyon, histeresis

PRODUCTION AND TEST METHODS OF NATURAL RUBBER (NR) / STYRENE BUTADIENE RUBBER (SBR) BASED BUSHINGS

SUMMARY

Rubber materials nowadays have a very wide usage area, especially in automotive industry. Most of the rubber are used to make antivibration bushes, engine mounts, shock absorbers and connection points in the automotive industry. Especially, vibration, noise and shock inhibitors are designed with trial and error methods because the material structure is not well known. The main purpose of this study is to produce the natural rubber (NR) / styrene butadiene rubber (SBR) based antivibration bushes and to investigate the effect of NR/SBR ratio on the performance of antivibration bushes. Within the scope of the study, NR/SBR mixture, which was determined at different rates in the first stage, was prepared with 4 reference prescriptions. In this study, detailed information was given about all processes from raw material to production, such as, the production of rubber mixes, applied tests, used devices, surface treatment of metal materials, vulcanization parameters, and tests applied to the products. All rubber recipes were characterized by the rheologic and physico-mechanical tests. Apart from these tests, a dispersion test was carried out to see the filling distribution of rubber recipes. The prepared recipes are vulcanized on different process parameters (different temperature and time), which are determined by the rheological and the physico-mechanical properties. The results obtained by performing static and dynamic tests on anti-vibration bushings after vulcanization have been compared. All of these analyses were revealed the effects of elastomer ratios on durability performance of vibration-absorbing bushings and setting optimal recipe and process parameters. When the rheometric data of all the mixtures in this study were examined, an increase in the hardness values was observed with the increasing NR ratio. When the physico-mechanical test results were examined in NR/SBR mixtures, it was observed that when the NR ratio in the formulation increased and the SBR ratio decreased, the tensile strength increased and the breaking elongation values decreased. According to the dispersion test results, there is an increase in dispersion with the increase of NR rubber. As a result of the studies, it was observed that the mechanical properties of NR rubber are better than SBR rubber. When the vulcanization parameters was considered, it was observed that the formulation with high SBR ratio has a higher degree of vulcanization than the others. With the increasing NR ratio, the spring constants also increased, so hysteresis losses, which is an important indicator for product life performance, also increased. When all the data are evaluated together in formulations with NR/SBR mixture, the best results for product life performance were obtained with formulations NRSBR30 and NRSBR10, and also the most appropriate results were obtained in terms of vulcanization times.

Keywords: Natural rubber, styrene butadiene rubber, carbon black, anti-vibration, vulcanization, hysteresis

1. POLİMERİK MALZEMELERE GENEL BAKIŞ

Kauçuk malzemeler kolay işlenebilme, aşınma dayanımı, yüksek esneklik, mükemmel dayanım, düşük deformasyon, düşük yayılma, iyi yırtılma ve iyi dinamik özellikler gibi özelliklere sahiptir. Aynı zamanda polar sıvılara karşı dayanıklıdır. Kauçuk malzemeler sahip oldukları bu özellikler sayesinde başta otomotiv olmak üzere çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Kauçuk malzeme imalatında doğal kauçuk ve sentetik kauçuk dışında prosese yardımcı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bunlar dolgu malzemeleri, yumuşatıcılar, koruyucu maddeler, vulkanizasyon ajanları gibi kauçuk hamuru hazırlama aşamasında hamurun şekillenmesine ve vulkanizasyona yardımcı olan katkılardır. Kauçuk hamuru üretimi karmaşık bir prosese sahip olduğu için her bir katkının miktarı, ne zaman karışıma ilave edileceği, karışım süresi gibi parametrelerin çok iyi bilinmesi gerekir.

Bu çalışma kapsamında doğal kauçuk ve stiren butadien kauçuk farklı oranlarda kullanılarak diğer tüm bileşenler sabit tutulmuştur. Antivibrasyon burçlarında yaygın olarak kullanılan bu iki kauçuk türünün burçların performansı üzerine etkileri incelenmiştir.

Çalışmada öncelikle polimerler ve polimer çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir. Kauçuğun ilk keşfinden günümüze kadar olan süreçte kullanılan kauçuk çeşitlerine değinilmiştir. Bu kauçukların üretimi, kimyasal özellikleri ve kullanım alanları hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra kauçuk dışında kullanılan bileşenler hakkında bilgi verilmiştir. Bu bileşenlerin karışımdaki etkileri ve öneminden bahsedilmiştir. Materyal ve metot bölümünde ise kullanılan malzemeler, kauçuk reçetelerinin oluşturulması, kauçuk hamuru hazırlanması, hamurlara uygulanan testler, kullanılan cihazlar metal malzemelerin yüzey işlemleri, mamüllerin vulkanizasyon işlemleri, mamüllere uygulanan testler detaylı olarak bahsedilmiştir.

Tamamlanan bu çalışma ile farklı oranlarda kauçuk karışımlarından elde edilen ürünlerin test sonuçları ile değerlendirilmesi sonucu optimum karışım oranı tespit edilerek daha dinamik ve daha uzun ömürlü antivibrasyon burçları elde edilmiştir.

1.1 Polimerler

Polimerler, çok fazla sayıdaki molekülün birbirlerine kimyasal bağlarla bağlanarak oluşturdukları yüksek moleküllerdeki bileşiklerdir. Latince kelime olan “Poli” çok sayıda anlamına gelmektedir. “Monomer” birimlerinin bir araya gelerek oluşturdukları polimerler, MER olarak adlandırılan moleküllerin uzun zincirler oluşturmasıyla oluşurlar. Etilen, propilen, butadien, isobütilen, isopren en yaygın bilinen MER’lere örnek olarak verilebilir. MER’ler farklı şekillerde polimerleşebilirler. Polimer reaksiyonları kasyonları ve kondenzasyon polimerleşme reaksiyonları şeklinde gerçekleşebilir. Katılma reaksiyonları, bağların açılması ve açılan bağların küçük moleküller aracılığıyla ya da direk olarak birbirlerine bağlanması yoluyla gerçekleşir. Kondenzasyon reaksiyonlarında bağlanma ise iki mer arasından küçük molekülün çıkartılıp birbirine bağlanmasıyla gerçekleşir. Kondenzasyon polimerleşmede çoğunlukla önce iki kimyasal mer oluşturur, daha sonra oluşan merler kondenzasyon reaksiyonu ya da katılma reaksiyonu ile polimerleşir. Polimerlerin zincir uzunlukları birbirlerinden farklı olabileceği gibi polimer zincirleri içerisinde doymamış bağlar ya da başka bir mer olabilir. Bu şekilde sonsuz sayıda mer, polimerleşme, zincir dizilişi, zincir boyu, uzaydaki konumu, karışımı gerçekleşebilir. Polimerlerin sahip olduğu bu çeşitlilik kullanılacak sektöre göre kullanıcıya geniş malzeme imkanı sağlamaktadır. Bu bakımdan sanayide oldukça yaygın kullanım alanına sahiptirler (Jubsilp ve diğ, 2011).

1.1.1 Termoplastikler

Termoplastik malzemeler ısı ile kolaylıkla şekillendirilebilen, soğuduktan sonra ise tekrar ısıtıldığında şekillendirilebilen plastik malzemelerdir. Genel olarak termoplastik malzemeler doğrusal yapılardan veya az dallanmış yapılardan oluşan polimerlerdir. Termoplastik malzemeler ısıtıldıklarında erir ve basınç uygulamasıyla da akar. Geri dönüşümlü yapısı sayesinde soğutulduğunda tekrar katı formunu alarak ilk haline döner. Çapraz bağlar polimer zincirleri arasında olmadığı için erime özelliği vardır (Ibeh, 2011). Polimer örgüsündeki polimer zincirleri düzenli bir

şekilde istiflenerek kristal yapıda bölgeler oluşturur. Polimerlerde son üründe uygulanan işlemler esnasında belli bir düzeyde kristalleşme gözlenebilir. Bu kısımda polimer zincirlerinin tümü bir düzen içerisinde tam kristal bir yapı vermez. Bu sebeple endüstriyel polimerlerin birçoğu örgülerinde yarı-kristal formunda amorf bölgeleri ve kristal bölgeleri bir arada bulundurur. Yarı-kristal formundaki polimerlerin yapısı amorf faz içine gömülen kristal bölgelerden oluşmuş sisteme benzetilebilir. Polimerin kristal, yarı-kristal ya da amorf yapıda olması ısı karşısındaki davranış ile yakından ilişkilidir (Saçak, 2010). Termoplastik polimerleri amorf, yarı kristal ve tam kristal termoplastik polimerler olmak üzere üçe ayrılır.

1.1.1.1 Amorf termoplastikler

Amorf termoplastik malzemeler, düşük sıcaklıklarda sert ve kırılğan yapıda olup iyi uzama, tokluk ve darbe dayanımı gösterirler. Amorf polimerler artan sıcaklıkla birlikte katı halden sıvı hale kademeli olarak dönüşebilirler. Sıcaklığın artmasıyla katı halden sıvı hale doğrusal bir yumuşama gösteren polimerler camsı geçiş sıcaklığına (T_g) ulaşarak kauçuğumsu özellik gösterir. Polimerler camsı geçiş sıcaklığı üzerine ısıtmaya devam edildiğinde kauçuğumsu davranıştan zamksı hale gelir, ısı artışı devam ederse polimer zincirlerinin de enerjisi artacak dolayısıyla hareketliliği dereceli artar ve sıvılaşır. Kullanma sıcaklığına bağlı olarak amorf polimerler için camsı geçiş sıcaklığı büyük önem taşır. Malzemeler için kritik sıcaklık olan camsı geçiş sıcaklığı aynı zamanda polimerik malzemeler için ayırt edici özelliktir. Bu sıcaklığın yeterince altında amorf malzemeler katı ve gerilimi taşıyacak durumdadır. T_g 'nin üstündeki sıcaklıklarda ise malzeme lastik gibi davranır. T_g değeri çoğunlukla sabit bir değer olmayıp dış etkenlerden kolaylıkla etkilenir (Marşoğlu, 1986).

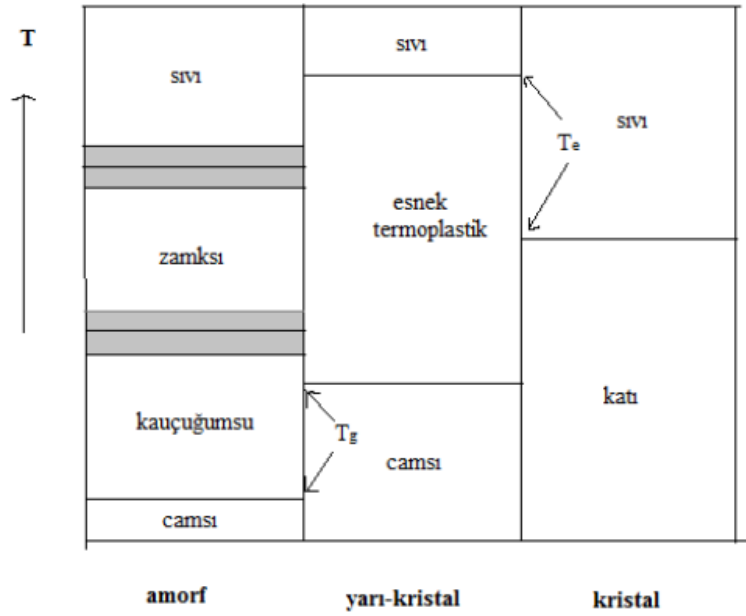
1.1.1.2 Yarı-kristal termoplastikler

Amorf polimerler gibi yarı-kristal polimerler de T_g 'nin altında sert ve kırılğan yapıdadırlar. Bu özelliklerini T_g 'ye kadar korurlar. T_g 'nin üzerindeki sıcaklığa geçildiğinde yumuşamayla beraber kristal yapısından dolayı esnek termoplastik davranış gösterirler. Termoplastik özelliklerini erime sıcaklığına kadar (T_e) değiştirmezler. Kristal yapılar erime sıcaklığına geldiğinde yıkılır ve viskoz sıvı verecek şekilde erirler. Termoplastikleri oluşturan zincirler bünyelerinde hem amorf yapıyı hem de kristal yapıyı bulunduran yarı-kristalleri oluştururlar. Yarı-kristal

yapının içindeki kristalleşen zincirler erime noktası (T_e) ile tanımlanır. Bu erime noktasının üstüne çıkıldığında ise polimerde bulunan kristal yapının tümü erimiş olur ve geriye sadece amorf yapı kalır. Zincir içinde bulunan amorf yapı elastikiyeti sağlarken, kristal yapı da mukavemet ve bükülmezliği sağlar. Yarı kristalin yapıdaki bu polimerlerin dayanımları ve sıcaklık direnci düşük, kimyasal direnci ise yüksektir. Bu polimerlere örnek olarak polietilen (PE), poliamid (PA) polipropilen (PP) ve polietilen tereftalat (PET) verilebilir (Saçak, 2010).

1.1.1.3 Kristal termoplastikler

Kristal polimerler yapılarında amorf bölgeler olmadığı için camsı geçiş göstermezler. T_e değerine geldiğinde kristal yapı yıkılır ve polimer erir. Amorf maddeler, yarı-kristal ve kristal polimerlerin sıcaklık artışıdaki değişimleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Amorf maddeler, yarı-kristal ve kristal maddelerin sıcaklıkla değişimi (Saçak, 2010).

Kristal termoplastik ve yarı-kristal termoplastiklerde sıcaklık geçişleri belirgindir. Amorf termoplastiklerde ise T_g dışındakiler derecelidir (Saçak, 2010). Kristal tanım olarak, büyük bir bölgede atomların düzgün bir şekilde sıralanmasıdır. Bu sıralanma komşu zincirlerde polimerlerin bazı bölümlerin uyuşmasıyla, kristalleşme yollarından birisinin aynı zincirin kendi üzerine katlanması ile ya da helisel molekül zincirlerinde sarımların yan yana gelmesi şeklinde oluşmaktadır. Amorf polimerlerde, polimer özelliklerinin kullanıldığı sıcaklığa ve T_g 'ye bağlı olmasına

rağmen kristal polimerlerdeki özellikler Tg'den ziyade kristallik derecesiyle belli olur. Polimerin hiçbiri tam olarak %100 kristal yapıya sahip değildir. Amorf veya kristal olmayan bölgelerle ayrılan kristal bölgelerin varlığı esastır (Marşoğlu, 1986).

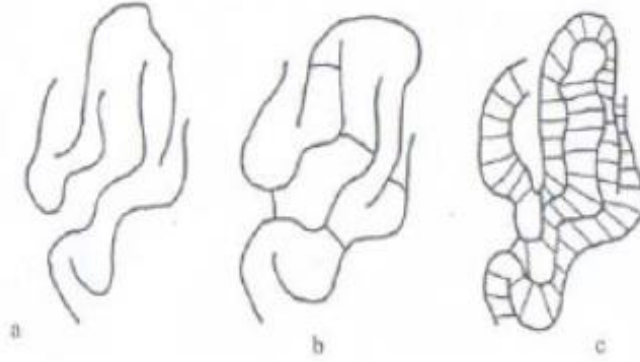
1.1.2 Termosetler

Termoset malzemelerin genel özelliği ısıtıldığı zaman geri dönüşü olmayan, moleküller arasında üç boyutlu çapraz bağlar oluşturan polimerlerdir. Yapılarında kovalent çapraz bağlar olduğundan ısıya dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Termosetlerin yeniden işlenmesi veya şekillendirilmesi mümkün değildir. Üç boyutlu ağ yapılar ısıtılıp basınç uygulandığında bile akmazlar ve soğutma ve ısıtma ile polimer eski haline dönemez (Qiao ve Salviato, 2019). Termoset malzemeler geri dönüşümsüz yapılarından dolayı çapraz bağlanma sırasında şekillendirilmelidir. Termoset plastikler kullanım sıcaklık sınırları, mukavemetleri, rijitlikleri ve dış etkilere karşı dayanımı açısından termoplastiklere kıyasla daha üstündürler (Kurtman ve Göktaş, 2006). Termoset polimerlerin başlıca özellikleri boyutsal kararlılığa sahip, darbe dayanımlarının yüksek, termal stabiliteleri olan, renklendirilebilir olması, sert olmaları, solvent dayanımlarının çok iyi olmamasıdır (Tepebağ, 2007).

1.1.3 Elastomerler

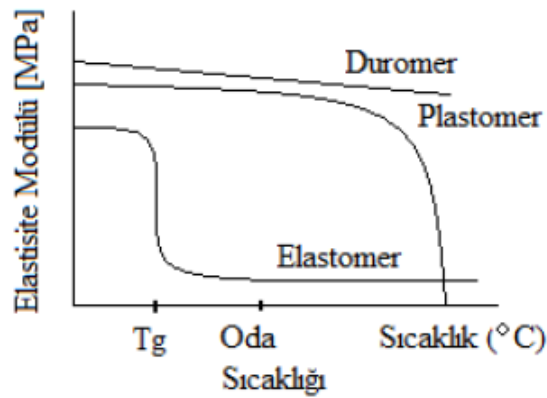
Elastomerler, oda sıcaklığında bir gerilim uygulandığı zaman boyunun en az iki katına kadar uzayabilen, gerilim ortadan kaldırıldığında ilk boyutlarına dönebilen düşük elastisite modülüne sahip polimerlerdir. Elastomerler çok düşük sıcaklıklarda cam gibi sert, çok yüksek sıcaklıklarda ise koyu sıvımsı akışkan özellik göstermeyen, kauçuk malzemelerin seyrek çapraz bağlanması sonucu elde edilen polimerik malzemelerdir. Elastomerlerin zincir molekülleri rasgele düzenlenmiş olup nispeten çapraz bağlantıları daha azdır. Bu polimerler geniş bir ağ gibi hafif çapraz bağıntılı olarak düşünülebilir. Elastomerler malzemeler yüksek kopma uzamaları, aşınma dirençleri, kabul edilebilir seviyedeki kopma mukavemetleri, solvent dayanımları ve dış hava koşullarına dayanıklı olmasıyla diğer polimer gruplarından ayrılırlar (Coran, 2013). Kauçuk şeklinde olarak tanımlanan elastomerler, polimerlerin seyrek çapraz bağlanması sonucu oluşan ağ veya ağ yapısı halindedir. Polimerlerin elastomer bir hal alması için sahip olması gereken özellikler yüksek molekül ağırlığı, gelişigüzel zincir yapısı, düşük zincirler arası kuvvet ve çapraz bağlanabilme özelliğidir. Elastomerler, kauçuk malzemeler gibi yüksek sıcaklıklarda termoplastik davranış göstermezler.

Bunun sebebi seyrek çapraz bağlanma sonucu molekül zincirlerinin birbirlerine göre sabit bir konumda olmalarıdır. Çapraz bağ yoğunluğu bakımından elastomer malzemeler plastomerler ve duromerlerin arasında yer almaktadır. Çapraz bağ yoğunluklarına bakıldığında plastomerlerin (termoplastikler) yapılarında çapraz bağlar yoktur. Elastomerlerin yapılarında ise seyrek çapraz bağlar varken duromerler (sert kauçuk, termosetler) sık çapraz bağlar içerirler (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 (a) plastomerler (termoplastikler), (b) elastomerler, (c) duromerler (sert kauçuk, termosetler) Çapraz bağların yoğunluğu (Smith, 1993).

T_g bölgesinden sonra elastomer malzemeler, elastisite modüllerinde büyük oranda düşüş gösterir ve sıcaklığa bağlı olmadan parçalanma sıcaklığına kadar sabit kalır. Polimerlere ait Şekil 1.3'de sıcaklığa göre elastiklik modülündeki değişimler gösterilmiştir. Isıl genleşme katsayısının eksi olmasından dolayı elastomerler çekme uygulandığında ısı yayarlar, gevşetildiği zaman ısıyı absorbe ederler. Sabit yük altında çekilmiş elastomerler ısıtıldığında boyu kısalmır, soğutulduğunda da boyları uzar (Smith, 1993).



Şekil 1.3 Sıcaklık-elastiklik modülü değişim grafiği (Smith, 1993).

Sentetik kauçuklar veya elastomer malzemeler çoğunlukla termoset plastiklerdir ve kütleme ile birlikte uzun polimer zincirleri arasında çapraz bağlar meydana getirirler. Elastikliği ve esnek olmaları önemli özellikleridir. Bütil kauçuğu, silikonlar,

poliüretanlar ve özel işlemlerden geçirilen etilen-propilen kopolimerleri elastomer olabilen polimerlerdir. 0°C'nin altında elastomerler camsı bir görünümde katılaştır ve yüksek sıcaklıklarda dahi viskoz akışkan haline dönmezler. Camsı hale geçtiği sıcaklık ve bozunma sıcaklığı aralığında elastik davranışlar gösterirler. Elastik özellik göstermeleri ve deformasyon yönüyle doğal kauçuğa benzerdirler. Termoset elastomerler özellikleri itibariyle vulkanize kauçuğa benzerdirler, termoplastik elastomerler kauçuk özellikleri taşıyan polimerlerdir. Elastomerler, istenilen özellikleri karşılayabilmeleri için genellikle dolgu maddeleri içerirler (Qiao ve Salviato, 2019).

1.2 Kauçuk

Kauçuk malzemeler geniş kullanım alanına sahip, bazıları hayati ehemmiyeti olan, yaşam alanlarımızda sürekli iç içe olduğumuz lastik malzemelerin tek hammaddesidir. Kauçuk malzemeler oda sıcaklığında amorf yapıda olan, ortam sıcaklığından daha düşük camsı geçiş sıcaklığına (Tg) sahip, çapraz bağlanmamış ancak çapraz bağlanabilme özelliğine sahip, yani vulkanize olabilen ve seyrek çapraz bağlanılarak elastomer haline dönüşebilen polimerlerdir. Kauçuk malzemeler vulkanizasyondan önce yüksek plastik özellikler gösterirken, vulkanizasyondan sonra özelliklerini yüksek elastik özelliklerine bırakır. Kauçuk malzemeler sarmaşık haldeki molekül zincirlerinin sahip olduğu uzatılabilme özelliklerinden dolayı oda sıcaklığında mühim bir elastikliğe sahiptir. Yüksek sıcaklıkta ve deforme edici kuvvet altında koyu sıvımsı akış özelliği gösterir. Şekillendirilebilmeleri uygun koşullar altında mümkündür. Sıcaklığın artmasıyla, malzemenin de akışkanlığı artarak termoplastik davranış göstermeye başlar. Çapraz bağlanabilme özelliğini vulkanizasyon ile açıklayabiliriz. Vulkanizasyon, kauçuk malzemelerin kimyasal olarak yapı değişikliğine uğraması ile (çapraz bağlanma reaksiyonu) geri dönüşümü olmayan elastik özelliklere gelmesi olayıdır. Vulkanizasyondan önce yüksek plastiksi özellikler, çapraz bağlanma ile yüksek elastik özellikler göstermeye başlamıştır (Luo ve diğ, 2018).

1.2.1 Kauçuğun tarihi gelişimi

Avrupalılar kauçuk ile Christopher Columbus'un 1493 ve 1496 yılları arasında Amerika'ya ikinci kez seyahati sırasında karşılaşmışlardır. Doğal kauçuğun tarihini

19.yy.'da yaşanan üç önemli olay değiştirerek ve kauçuk endüstrisinde gelişim sürecinin temelleri atılmıştır. 1820 yılında İngiliz Thomas Hancock mastikasyonun keşfetmesiyle, kauçuk mazlemenin yumuşatılarak dolgu maddelerinin daha kolay karışmasını gerçekleştirmiştir. 1823 yılında Mackintosh su geçirirmeyen kıyafetler yapmak üzere bazı yöntemler kullanmıştır. Ancak kauçuk, güneş ışığı altında yumuşaması ve soğukta sertleşmesinden dolayı yaygın olarak kullanılamamıştır. Bu problem Charles Goodyear'ın 1839 yılında vulkanizasyonu keşfetmesiyle ortadan kalkmıştır. Goodyear, kauçuk malzemelerin kükürt kullanarak çapraz bağlanabileceğini keşfettikten sonra çoğu endüstriyel ürünlerde uygun özelliklere sahip olan malzemeler elde etmiştir. Sentetik kauçuklar gelişimlerini 1930'lu yıllarda göstermiştir. Japonya'nın Güney Doğu Asya'yı İkinci Dünya Savaşı'nda işgal etmesiyle, doğal kauçuk temin edilmesinde zorlanan Almanya, Amerika ve müttefiklerini doğal kauçuğa alternatif olabilecek sentetik kauçuk türlerini araştırmaya zorlamıştır. 1948 yılında da Bütadien ve Stiren +5, -10 ve daha düşük sıcaklıklarda kopolimerleştirilebilmiştir (Vahapoğlu, 2006; Long, 2001).

1.2.2 Kauçuğun sınıflandırılması

Kauçuklar genel olarak doğal kauçuk ve sentetik kauçuk olarak sınıflandırılabilir. Bir diğer sınıflandırma yöntemi ise kullanım yaygınlığına göre yapılandır. Buna göre kauçukları genel kullanım kauçukları ve özel kullanım kauçukları olarak sınıflandırabiliriz. Kauçuk tüketiminin %95'ini genel kullanım kauçukları oluşturur. Özel kullanım kauçuklarına baktığımızda da en önemlileri klor kauçuğu (CR) ve nitril kauçuğudur (NBR). Diğer kauçuk türlerininin tüketimlerine baktığımızda ise toplam tüketim %2 civarındadır (Ebewele, 2000).

1.2.2.1 Doğal kauçuk (NR)

Doğal kauçuk (NR), 200'den fazla farklı bitki türünden elde edilebilir. Ancak sadece bir ağaç kaynağı olan Hevea Brasiliensis ticari olarak önemlidir. Güney Amerika'ya özgü bir ağaç türü olan Hevea Brasiliensis, Amazon'daki yağmur ormanlarına benzer özellikler gösteren ve doğal ortamında 34 metre yüksekliğe kadar büyüyebilir. Diğer ağaçlar da kauçuk üretir, ancak bunlar Hevea Brasiliensis kadar verim sağlamazlar. Lateks, kauçuk ağacın kabuğundaki süt beyazı sıvıya denilir ve NR'nin sulu bir kolloididir. Lateks tipik olarak ağırlıkça %30-40 kauçuk içerir ve toplanan lateksin %10-20'si lateks formunda kullanılır. Plantasyon yöntemiyle elde edilen sıvı

lateksten ve pıhtılaşmış haldeki lateksten doğal kauçuk üretilir (Richard, 2002). NR'nin -75°C civarında Tg sıcaklığına sahip olması, düşük sıcaklıkta özelliklerinin çok iyi olmasını sağlamaktadır. NR, yüksek viskoziteye sahip olması sebebiyle, karışım hazırlanırken bileşenleri konulmadan önce bir yumuşatma (plasifikasyon) işlemine gereksinim duyar. Yumuşatma işlemi ile NR'nin molekül ağırlığı önemli oranda düşmektedir. Bununla beraber mekanik özelliklerinde de bozulmalar meydana gelmektedir. Bunun önlemek için yumuşatma işlemi en kısa zamanda tamamlanarak 80°C ile 100°C arasında gerçekleştirilmelidir. NR birden fazla sistemde vulkanize edilebilir. Vulkanizasyon sistemleri seçilirken elde edilmek istenen özelliklere göre dikkatle seçilmelidir. Yüksek elastiklik ve düşük sıcaklıklarda esneme istenildiğinde kükürt oranı nispeten yüksek olan klasik vulkanizasyon sistemi kullanılır. Düşük kalıcı deformasyon ile iyi yaşlanma özelliği istenildiğinde, hızlandırıcı ve kükürt oranı yüksek olan yarı etkili veya etkili vulkanizasyon sistemleri tercih edilmelidir. Peroksit vulkanizasyonları ise düşük kalıcı deformasyon değeri ile daha iyi yaşlanma özellikleri sağlamaktadır (Datta, 2013). NR'nin çalışma sıcaklığı -60°C ile 90°C aralığındadır. %99 cis 1-4 yapısında ve düzenli olması sebebiyle kristalleşme özelliği yüksektir. Kauçuk gerildiğinde ve düşük sıcaklık altında kristalleşir. Bu kristalleşme özelliği gerilme sırasında NR'nin güçlendirici türdeki dolgu maddeleri ile çeşitli kimyasallar kullanımına gerek kalmadan çok iyi gerilme özellikleri sağlamaktadır. Aynı zamanda deformasyon direncini arttırmakta ve oksidasyon sonucu oluşacak çatlak büyümelerine karşı direnç oluşturmaktadır. Bu özellikler sayesinde yüksek esneklik ve mekanik özellik istenen yerlerde NR kullanılır (Romano, 2017). NR'nin molekül ağırlığı 200000 ile 400000 arasındadır ve her polimer zincirinde 3000 ile 5000 arasında isopren birimi mevcuttur. Ampirik formülü C_5H_8 dir. Mekanik özellikleri iyi olan doğal kauçuk hidrokarbonlara karşı dayanımı zayıftır. NR'nin kullanım oranına bakıldığında yaklaşık 2/3'si araç lastiği üretiminde, kalanı ise mekanik parçalar, konveyör bant, ayakkabı imalatı, yer döşemesi, hortum imalatında kullanılmaktadır. Doğal kauçuğun yapısında çapraz bağlar bulunmadığı için ısıtıldığı zaman yapışkan hal almakta, soğutulduğunda ise sertleşmektedir. Charles Goodyear 1839 yılında kükürt vulkanizasyonu ile doğal kauçukta çapraz bağlanmayı keşfetmesiyle bu sorunun önüne geçmiştir. Kauçuk konusunda dışa bağımlı olmamak için polimerizasyon teknikleri ile vulkanizasyon teknikleri kullanılarak çeşitli sentetik kauçuklar üretilmiştir. Sentetik kauçukların bazıları stiren bütadien kauçuk (SBR), bütadien

kauçuk (BR), nitril kauçuk (NBR), etilen-propilen kauçuklar (EPM- EPDM), kloropren kauçuk (CR), butil kauçuk (IIR), silikon kauçuk (SI) olarak sıralanabilir (Durmuş, 2005).

1.2.2.2 Stiren bütadien kauçuk (SBR)

Sentetik kauçuk türleri içinde en yaygın kullanılanı SBR (stiren bütadien rubber) dir. SBR türü kauçuklar stiren ve bütadien kopolimeri ile üretilen genel amaçlı elastomerlerdir. Ağırlık olarak yaklaşık üçte bir oranında stiren ve bütadienden oluşur. Katkı maddeleri ilave edildiğinde iyi aşınma dayanımı ve iyi yaşlanma stabilitesi vardır. Doğal kauçuklarla karıştırıldığında ise otomobil lastiklerinde de yaygın olarak kullanılabilir. SBR kauçuklar, doğal kauçuktan farklı olarak daha iyi işlenebilirlik, ısı yaşlanması ve aşınma direncine sahiptir. Bununla birlikte daha düşük uzama, sıcak yırtılma mukavemeti, histeresis, esneklik ve gerilme mukavemetine sahiptir (Hamed, 1986). Vulkanizasyon sistemleri olarak diğer doymamış kauçuklar gibi çoğunlukla kükürt ile vulkanize edilirler. SBR kauçuğun vulkanizasyon sisteminde yaygın olarak daha fazla hızlandırıcı ile daha az kükürt kullanılması yönünden doğal kauçuktan farklıdır. Sert kauçuk üretilmek istenildiğinde karışımın kükürt miktarı artırılır. Bazı durumlarda ise güvenli sülfenamid hızlandırıcılarını yani çok hızlı hızlandırıcı veya yavaş hızlandırıcılarla ve vulkanizasyon inhibitörleri bileşimleri kullanılabilir. SBR özellikle yüksek aşındırıcı, termal bozulma ve çatlak oluşumuna karşı NR ve BR türü kauçuktan daha iyi direnç sayesinde kullanılmaktadır. Vulkanize edilemeyen bileşikler ise NR bileşikler kadar dayanıklılığa sahiptir. SBR türü kauçuklar genel amaçlı kauçuk olarak pek çok alanda uygulama bulabilmektedir. SBR kauçuğu otomotiv sektöründe en önemli kullanım alanı %75 oranıyla araç lastiği üretimindedir. Bunun dışında teknik malzemelerin üretiminde, hortum, konveyör kayışı, spor malzemeleri, ayakkabı tabanında ve yapıştırıcı imalatında kullanılmaktadır (Rodgers ve Waddell, 2013).

1.2.2.3 Bütadien kauçuk (BR)

Bütadien kauçuğun (BR) molekül ağırlığı 250000 ile 300000 arasındadır. Kopma mukavemet değeri düşük olduğundan NR ve SBR kauçukları ile birlikte kullanılırlar. Aşınma ve çatlama mukavemet değeri iyi olduğundan otomobil dış lastik imalatında kullanılırlar. Düşük ısılarda iyi elastik özellik verirler. İşleme zorluğu, düşük ısı

elastikiyeti ve düşük ısı oluşumu sebeplerinden dolayı NR ve SBR kauçukları ile kullanılmaları avantajlıdır. %90'ı tekerlek lastiği olmakla beraber teknik malzeme olarak konveyör bant, ayakkabı tabanı, hortum, yer döşemesi ve golf topları imalatında kullanılırlar. SBR kauçuktan sonra en yaygın kullanıma sahip olan BR kauçuğu, bütadienin polimerizasyonu ile elde edilir. Bütadienin çözelti polimerizasyonu yöntemiyle polibütadien türü kauçuklar elde edilmektedir. Polimerizasyonda tekrarlanan birim ise bütadiendir. Bütadienin polimerizasyonu sonrasında çift bağlar uzayda bir yapı oluşturmaktadır. BR kauçuklar çok iyi aşınma mukavemeti sağlarlar, yüksek elastikiyet özellikleri vardır ve düşük ısı oluşumu verirler. Düşük sıcaklıklarda dinamik yorulma dirençleri ve elastikiyetleri çok iyidir. NR'ye kıyasla BR daha fazla miktarda dolgu maddesi ve yağ ile karıştırılabilir. Isıya dayanımı NR den iyi, SBR ile yakın özellikler gösterir. NR ve sentetik kauçuklarla kolaylıkla karıştırılabilirler. Tek başına kullanıldığında işlenebilme özellikleri zayıftır. Üretilen bütadien kauçuğun %75 lik kısmı araç lastiği imalatında kullanım alanı bulmuştur. Diğer önemli kullanım alanları ise hortum, konveyör, bant gibi teknik parçaların üretimi ile birlikte golf topu ve ayakkabı tabanı imalatıdır (Saboktakin, 2016).

1.2.2.4 Isopren kauçuk (IR)

Genellikle lityum ve Zeigler-Natta katalizörleri kullanılarak üretilmektedirler. Mastikasyon yapılmadan önceki molekül ağırlığı 500 000 den fazladır. Isopren kauçuk (IR) doğal kauçuğa oranla renginin iyi, kolay parçalanabilme ve karıştırılabilme, kalitesinin daha az değişken ve kokusuz, kalıplama ve kalenderleme, kolay ekstrüzyon, düşük histerisis vermesi üstün özellikleri, yapışma özelliğinin zayıf oluşu ve karbon siyahının takviyesinde daha düşük fiziksel değerler vermesi zayıf yanlarıdır. %60'ı otomobil lastiğinde olmakla beraber konveyör kayışı, conta, ayakkabı tabanı, biberon emziği, yer döşemesi, kauçuk ip ve çeşitli tıbbi malzemelerin imalatında kullanılır. Yapılan çalışmalar neticesinde IR kauçuk doğal kauçuğa muadil olarak bulunan sentetik bir kauçuktur. İsoprenin, doğal kauçuk özellikleri taşıdığını 1954 yılında Goodrich, daha sonra Firestone görerek üretime başlamıştır. Genellikle lityum veya zeigler-natta katalizörleri kullanılarak üretilen poliisoprenin cis ve trans hâlleri vardır. Cis 1-4 poliisopren, yumuşak elastik bir kauçuktur (Boşnak, 2010). Araç lastiği imalatında üretilen isoprenin yaklaşık %60'lık bölümü kullanılmaktadır. Bunun dışında motor takozu, conta, ayakkabı

tabanı, konveyör bant, yer döşeme malzemesi, kablo ve yapıştırıcı imalatında kullanılır. Sadece kauçuk karışımları kullanılarak kauçuk levha, biberon emziği, kauçuk ip ve çeşitli tıbbi malzemeler üretilmektedir. Trans 1.4 yapısındaki isoprenler ise golf toplarının yapımında, yapıştırıcı imalatında ve ortopedik malzemelerin üretiminde kullanılır (Brentin ve Sarnackle, 2011).

1.2.2.5 Akrilonitril bütadien kauçuklar (NBR)

Akrilonitril bütadien kauçuklar, akrilonitril ve bütadienin emülsiyon polimerizasyonu ile üretilmektedir. İlk defa 1930 yıllarında akrilonitril kopolimerizasyonu gerçekleştirilmiştir. Almanya ise üretime 1934 yılında başlamıştır. Kauçuk içerisinde bulunan nitril miktarı ayarlanmasıyla farklı amaçlar için kullanılabilen elastomerler hazırlanabilmektedir. Bu kauçuğun akrilonitril oranı %18 ile %50 arasında olup kopolimer içerisindeki görevi polar nitril grubu sağlamak ve hidrokarbonlardaki çözünürlüğü azaltmaktır. Pişirilmiş NBR, yaşlanma, yorulma ve aşınmaya karşı mukavemet gösterir. Akrilonitril oranı %18'den %50'ye doğru arttıkça yağ ve yakıtlara karşı dayanımı, kopma dayanımı, yoğunluğu, sertliği, pişme hızı, işlenebilirliği ve mekanik özellikleri artar. Bununla birlikte düşük sıcaklık dayanımı, gaz geçirgenliği, kalıcı deformasyon değerleri ve elastikiyetinde azalma meydana gelir. Yağ ve yakıtlara karşı dayanıklı olduğu için O-ring, sızdırmazlık contaları, konveyör kayışı, hortumlar, bağlantı elemanları, membranlar, vals kaplamaları ile aşınmaya dayanıklı parçaların imalatında kullanılırlar (Brentin ve Sarnackle, 2011).

1.2.2.6 Kloropren kauçuklar (CR)

Polaritelerinden dolayı birçok yağa dayanıklı ve yanmaya karşı direnç gösterirler. Hava, ozon, su, kimyasallar, yanma ve orta derecede yağlara dayanıklıdırlar. Düşük gaz geçirgenliği özelliğini gösterirler. Metaller ve tekstil malzemelerine yapışması kuvvetlidir. Kullanım alanları hortum imalatı, conta, tamponlar, motor takozları, silecek lastikleri ve elektrik kablo izolasyonu, kimyasal madde içeren tank kaplamaları, silindir kaplamaları ile V kayışı imalatıdır. Kloropren kauçuklar, 2-kloro 1.3 bütadienin polimerizasyon yöntemiyle elde edilmiş ilk sentetik kauçuktur. Ticari adı neopren olarak bilinen kloropren kauçuğun (CR) toplamının %50'si araç lastiklerinin yapımında, %50'si ise çözücülerin veya su bazlı yapıştırıcıların üretiminde kullanılmaktadır. CR kauçuğu kendinden beklenen özelliklerinin en iyi

kombinasyonlarını veren kauçuk türüdür. Yapısında bulunan klor atomu sayesinde yağa dayanımını artırarak kauçuğu doğal kauçuk ile nitril kauçuğun arasına yerleştirir. Klopren kauçuklar havaya, orta derecede yağlara, ozona ve kimyasallara, aleve ve yaşlanmaya dayanıklı birçok teknik lastik parçalarının üretiminde kullanılmaktadır. Hortum sanayiinde, yüksek basınçlı hidrolik hortumlarında, silecek lastiklerinde, taşıyıcı takozlarda, fren hortumlarında, boşaltma hortumları, yakıt hortumları, tekstil örgülü hortumlar, teknik parka olarak membrane, contalar gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Hanhi ve diğ, 2007).

1.2.2.7 Bütil kauçuklar (IIR)

Bütil kauçuklar (IIR), izobütilenin içine %0.5-3.0 arasında izopren katılarak kopolimerizasyon sonucunda doymamış yapı olarak elde edilmiştir. Doymamışlık oranı olarak 1.5-2.0 mol olanlar en sık kullanılan türleridir ve hızlı pişme sağlarlar. Molekül ağırlığı, 300000 ile 500000 arasındadır. Doymamışlık oranı 0.6-1.2 mol arasındakiler tank kaplama, sulama hortumu, orta yüksek voltaj kablo imalatında kullanılırlar. 1.5-2.0 mol arasında doymamışlık oranına sahip olanlar yapışkan üretimi, iç lastik, pişirme tulumları, düşük voltaj izolasyonu, şok emiciler ve sportif eşya imalatında kullanılırlar. Doymamışlık oranı 2.0 mol üzerindeki sünger, konveyör kayışı, ayakkabı altı ve mekanik parça imalatında kullanılırlar. Bütil kauçuğun sahip olduğu en önemli özelliği düşük gaz geçirgenliğinden dolayı iç lastik ve lastik iç astarının üretiminde kullanılır. Ozon, hava, ısı ve neme karşı dayanımı çok iyidir. Şok emme kabiliyeti yüksektir. Aşınma, yırtılma ve yorulmaya karşı dayanıklıdır. Asit ve bazlara, bazı esterlere, hayvansal ve bitkisel yağlara karşı dayanıklıdır. Diğer elastomer türleri ile karıştırılmaya uygun olmadığı için halojenlendirilmiş bütillerle üretimi gerçekleştirilir. Bu şekilde üretilmiş olan elastomerler NR, SBR, NBR ile karıştırılarak üretimi sağlanmaktadır. Kullanım alanları araç iç lastiği, otomotiv parçaları, eczacılık tapaları, tank kağlama, kablo imalatı, demiryolu desteği, yapıştırıcı, hortum, konveyör kayışı, endüstriyel ayakkabı sektörüdür (Hamed, 1986).

1.2.2.8 Etilen-propilen kauçuklar (EPM- EPDM)

Etilen-propilen kauçuklar (EPM- EPDM), etilen ve propilenin kopolimerizasyonu ile üretilmektedir. Doymuş yapıdadır. Terpolimer EPDM, etilen, propilen ve dien monomerlerinin reaksiyona girmesi ile elde edilir. Oksidasyona, ısı ve ışığa karşı

mükemmel dayanım gösteren EPM- EPDM, yüksek miktarda dolgu maddesi ve yağ alabilme özelliği ile düşük maliyetli karışımlar oluşturulur. Asit ve alkalilere karşı dayanıklıdır. Düşük yoğunluğa sahip olması hafif malzemelerde üretimine olanak sağlamaktadır. Son yıllarda en hızlı gelişen sentetik kauçuk türlerinden biridir. Kopolimer ilk kez 1961 yılında EPM ticari olarak üretilmiş, 1963 yılında ise kükürtle pişebilen terpolimer EPDM üretimi gerçekleştirilmiştir. 1985 yılı itibariyle büyük bir üretim artışı olmuştur. Geniş bir kullanım alanı bulması nedeniyle genel amaçlı bir kauçuk şekli haline gelmiştir.

Özellikleri;

- Hava koşulları ve ozona karşı mükemmel dayanım
- Isıya ve oksidasyona çok iyi dayanım
- Kimyasal malzemelere dayanım
- Düşük sıcaklıklarda çok iyi elastik özellikler (Etilen miktarına bağlı olarak)
- Yüksek elektrik izolasyonu (Yüksek dielektrik özellikler)
- Yüksek oranda dolgu ve yağ ile karışabilme özelliği (Ekonomik karışımlar)
- Düşük yoğunluk (Düşük gramajda mamul üretimi)

Kullanım alanları otomotiv sektöründe fren sistemleri elemanları, radyatör ısıtma ve emici hortumlar, silecek lastikleri, inşaat sektöründe yer ve çatı kaplama malzemeleri, kapı ve pencere profilleri, beyaz eşya sektöründe bulaşık makinesi ve çamaşır makinesi körük ve contalarında, elektrik endüstrisinde ise koruyucu kaplar ve kablo imalatıdır (Aftalion ve Kent, 2012).

1.2.2.9 Polysülfid kauçuk (T)

Polysülfid kauçuklar (T), 1.2 diklor etanın sodyum tetra sülfid ile reaksiyonu sonucu üretilirler. Bu kauçuğun temel özellikleri polisülfid grubundaki sülfür atomları miktarına ve zincir yapısına bağlıdır. Kauçuğun yapısında bulunan sülfür yoğunluğu arttığında çözücülere ve yağlara karşı dayanımı artmakta, gaz geçirgenliğini de düşürmektedir (Vahapoğlu, 2006). Alifatik ve aromatik yapıdaki hidrokarbonlara, oksijen sıvılara, hava, ısı ve ozona karşı dayanıklıdır. Mekanik özellikleri gaz geçirgenliği, ısı özellikleri ve kalıcı deformasyon değerleri düşüktür. Macun, yapıştırıcı, yakıt ve benzin hortumları, diyafram ve conta malzemelerin imalatı ile silindir kaplamalarında kullanılırlar. Aşınma dayanımı ve çekme mukavemetinin diğer sentetik kauçuk türlerinden düşük olması sebebiyle polisülfür kauçuğunun

kullanımı sınırlıdır. Bu kauçuklar genelde yüksek elastikliğe sahip olmadıklarından ancak ısıya karşı dirençlidir ve çözücülerin çoğuna dayanıklıdır. Nitril kauçuk ile kıyaslandığında ise daha zayıf çekme dayanımı, zayıf esneklik, keskin koku, gerilim altında yüksek sürünme ve zayıf aşınma direncine sahiptir (Schweitzer, 2006).

1.2.2.10 Akrilik kauçuk (ACM)

Akrilik kauçuk (ACM), akril asit esterlerinin komonomerlerle yapmış olduğu kopolimerizasyon sonrasında yüksek polarite ve doymuşlukta oluşan amorf polimerlerdir. Akril asidi olarak etil ve butil akrilat, komonomer olarak 2-klor vinil eter veya vinil klor asetat bileşikleri kullanılabilir. Isı, oksijen, ozon, yağ ve yakıtlara dayanıklıdır. Elastikiyet özellikleri iyidir. Gaz geçirgenlikleri düşük olup mekanik özellikleri, alkalilere, su ve asitlere dayanımı zayıftır. Düşük ısıda özellikleri iyi değildir. Kullanım alanları ise yüksek ısıya dayanıklı keçe ve contalar, yakıt ve yağ hortumları ile silindir kaplamalarıdır (Simpson, 2002).

1.2.2.11 Epiklorohidrin kauçuk (CO, ECO)

Epiklorohidrin kauçuk (CO, ECO), polietilen eter ile klorometil reaksiyonu sonucunda oluşan amorf yapıdaki polimerdir. CO olarak adlandırılan bu polimer yüksek miktarda klorometil grupları ihtiva ettiğinden daha yüksek vulkanizasyon hızı sağlanabilmekte ve daha yüksek polarite elde edilebilmektedir. Yanmaya karşı dirençli, şişme dayanımı yüksek ancak gaz geçirgenliği düşüktür. ECO daha az sayıda klorometil grubu içerdiği için şişme ve ısı dayanımı CO dan daha düşüktür. Düşük ve yüksek sıcaklık performansları ile şişme dayanımı NR kauçuğa göre daha iyidir. Keçe, yakıt, diyafram, sıcak su ve hava hortumları imalatı ile vals kaplamalarında kullanılır (Savran, 2001).

1.2.2.12 Poliüretan kauçuk (AU)

Poliüretan kauçuk (AU), bir alkol ile bir isosiyanatın reaksiyonu sonucu oluşur. Bu sayede bir veya poli fonksiyonel isosiyanatlar, hidroksil uçlu dev polimerlerle reaksiyona girerek poliüretanlar elde edilir. Polimerlerin fiziksel özelliklerini moleküller arası kuvvetler belirler. Düzgün bir blok oluştuğunda sert poliüretanlar, karmaşık bir yapı oluşursa yumuşak poliüretanlar elde edilir. Yüksek aşınma, kopma ve yırtılma direncine sahiptirler. Solvent ve yağ dayanımı yüksektir. Ayakkabı tabanı, forklift tekerlekleri, kayışlar, kaplamalar ile inşaat, makine ve otomotiv

sanayinde aşınma dayanımı yüksek parçaların imalatında kullanılırlar (Simpson, 2002).

1.2.2.13 Silikon kauçuk (Q)

Silikon kauçuk (Q), diğer kauçukların aksine silisyum ve oksijenden oluşur. Buna bağlı olan organik gruplar metil siloksanlar ve metil vinil siloksanlar ile fenil metil silikonlardır. Silikon kauçuklar 60 ile 200°C de devamlı çalışabilirler. Ultraviyole (UV), ozon ve dış etkenlere karşı mükemmel dayanıklıdırlar. Yanıcılığı zor, boyanabilirliği kolay, fizyolojik olarak zararsızdırlar. Elastik özellik iyidir. Kablo ve kablo uçları, izolatörler, tuş takımları, buji kabloları ve buji başlıkları, fırın contaları, distribütör kapak contaları, radyatör hortumu, yağ keçeleri ve gaz maskeleri genel kullanım alanlarıdır (Simpson, 2002).

1.2.2.14 Klorosülfone polietilen (CSM)

Klorosülfone polietilen (CSM) kauçuklar, 70-75°C sıcaklıkta klor ve kükürt dioksit varlığında polietilenin klorlanması ile elde edilir. Ticari olarak CSM kauçuklar %25-43 arasında klor, 0.8-1.5 arasında kükürt içerir. %25 klor içerenler ısıya, %35 klor içerenler ise alev dayanımı yüksek ürünlerde kullanılır. Yanmaya, kimyasallara, oksijen, hava ve neme mükemmel dayanıklılık gösterirler. İyi aşınma değerleri ve elektrik özellikleri verirler. Konveyör kayışlarında, kimyasal madde içeren tank kaplamalarında, kablo, sanayi hortumu ve otomotiv parçaları imalatında kullanılırlar (Simpson, 2002).

1.2.2.15 Floroelastomer (FKM)

Floroelastomerler (FKM), kloroflor etilen ile vinil florürden %60 florin içeren amorf yapıda polimer şeklinde elde edilirler. Daha sonrasında kopolimer, terpolimer ve tetrapolimerlerin geliştirilmesiyle florin oranı %65-70'lere çıkmıştır. Çok iyi yakıt yağ ve ısı dayanımı sağlarlar. Çalışma sıcaklığı 200-300°C de aralığındadır. Aromatik hidrokarbonlara, çözücülere, yağlara, kimyevi maddelere karşı dayanıklıdırlar. Ozon, oksijen ve yanmaya dayanıklıdırlar. Düşük gaz geçirgenlikleri vardır. Bunun yanı sıra düşük ısı özellikleri zayıftır, işlenmesi zor ve pahalıdır. Sızdırmazlık contaları, karbüratör parçaları, yakıt tank koruyucu elemanları, diyafram, yakıt hortumları, silindir kaplamaları, koruyucu eldiven ve elbiseler genel kullanım alanlarıdır (Savran, 2001).

1.3 Kauçuk Bileşenleri

1.3.1 Dolgu maddeleri

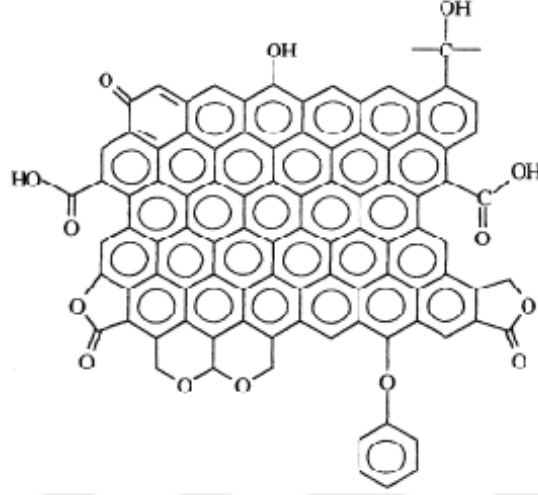
Kauçuk malzemelerin yapısına kuru toz halde karıştırılan çok küçük tane boyutundaki maddeler, güçlendirici ya da dolgu maddeleri olarak tanımlanır. Kauçuğun kuvvetlendirilebilmesi, işleme kolaylığı sağlaması, ekonomik karışımlar oluşturabilme ve renklendirilebilmesi amacıyla dolgu maddeleri kullanılmaktadır. Dolgu maddeleri doğal kauçuğun mastikasyonunun yapılmasıyla, bu maddelerin karışıma katılabileceği anlaşılmış ve akabinde kullanılmaya başlanmıştır. Güçlendirici türde olan dolgu malzemeleri kauçuğun fiziksel ve mekanik özelliklerinde kuvvetlendirici etkiler yaparken, dolgu maddesi türündekiler daha çok karışımı ucuzlatmakta ve prosesi iyileştirici özellikler sağlamaktadır. Polimer molekülleri ile etkileşime giren dolgu maddeleri karışımın modülüsünü, kopma mukavemetini, yırtılma ve aşınma mukavemetini güçlendirmektedir. Örneğin, SBR kauçuktan oluşan ve hiçbir dolgu maddesi içermeyen karışım 25- 30 kg/cm² kopma mukavemet değerine sahip iken, belli bir oranda karbon siyahı ile takviye edildiğinde bu değer 200 kg/cm²'ye ulaştığı görülür. Kauçuğu güçlendirici dolgu maddeleri ile dolgu görevi gören maddelerin birbirinden ayrılması ve güçlendirmenin tarifi konusunda kauçuk ile uğraşanlar arasında tam bir fikir birliği sağlanamamıştır. Karbon siyahları güçlendirme bakımından, kauçuk yapısına giren en önemli dolgu maddeleri olmasına rağmen N 880 FT ve N 990 MT olarak bilinen karbon siyahlarının, kauçuğu güçlendirme etkileri yoktur (Soyubol, 2006). Dolgu maddelerini, siyah dolgular ve beyaz dolgular şeklinde iki sınıfa ayırmak mümkündür. Yaptıkları etkilere göre de üçe ayrılır:

- Aktif dolgu maddeleri(güçlendirici türde olanlar): karbon siyahı ve çöktürülmüş silikalar
- Yarı aktif dolgu maddeleri(kısmen güçlendirici türde olanlar): sodyum alüminyum silikat, kalsiyum silikat, kaolin, talk
- İnaktif dolgu maddeleri(güçlendirici etkisi olmayanlar): kalsiyum karbonat(tebeşir) (Erkek, 2007)

1.3.1.1 Siyah dolgular

Kauçuk bileşimine karbon siyahı katılması ile kauçuğun güçlendirilmesi sanayide yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Ghosh ve Chakrabarti, 1999). Karbon

siyahları kuvvetlendirici olarak İngiltere’de Mote, Mathews ve diğer bilginler tarafından 1904 yılında keşfedilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 1910 yılında oto lastiği imalatına girmesiyle karbon siyahları lastiğin kullanım ömrünü uzatmıştır. Dünyada üretilen karbon siyahlarının %95’i kauçuk sektöründe tüketilmektedir. Kauçuk sektörü dışında boya maddesi, plastik, adsorban madde ve matbaa mürekkebi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.4 Karbon siyahının moleküler yapısı (Edge ve diğ, 1998).

Amorf bir karbon olan karbon siyahları yarı grafitik yapıya sahiptir. Karbon siyahı tanecikleri, zincir şeklinde birbirlerine bağlanarak, üzüm salkımı gibi yığınlar oluştururlar. Bu yığınlaşma ne kadar fazla olursa, yapı o derece yüksek olur. Şekil 4.1’de karbon siyahının yapısı gösterilmektedir. Karbon siyahları üretim şekillerine göre fırın siyahları, kanal siyahları ve termal siyahlar olarak isimlendirilir. Hidrokarbonların kısmi olarak yanması sonucu fırın siyahları elde edilir. Hava/hidrokarbon oranı, zaman, sıcaklık, fırın tipi ve içindeki akım gibi değişkenlerin kontrolü ile farklı tipte fırın siyahlarının üretimi yapılır. Sanayide yaygın olarak kullanılan fırın siyahları aşağıda verilmektedir.

- SAF - Süper Aşınma Fırın Siyahı
- ISAF – Orta Süper Aşınma Fırın Siyahı
- HAF - Yüksek Aşınma Fırın Siyahı
- HMF - Yüksek Modül Fırın Siyahı
- FEF - Hızlı Ekstrüzyon Fırın Siyahı
- SRF - Yarı-takviye Fırın Siyahı

- GPF - Genel Maksat Fırın Siyahı
- CF - İletken Fırın Siyahı
- FF – İnce Fırın Siyahı

Karbon siyahı seçiminde, işlenebilirlik, istenilen özellikleri ve maliyet göz önünde bulundurulmalıdır. Vulkanize olmuş kauçuktaki özellikler yapısında bulunan karbon siyahının tane büyüklüğüne, elastomer tipine ve karbon siyahı miktarına bağlıdır. İçerdiği karbon siyahının tane büyüklükleri küçüldükçe, yani yüzey alanları arttığında aşınma, yorulma ve kopma dayanımı artar. Bununla birlikte tane büyüklüğü artışıyla karışımların işlenebilirliği kolaylaşırken fiziksel özelliklerinde artış sağlamak için tanecik büyüklüğünün küçük olması gerekmektedir. Karbon siyahlarının kauçuk formülasyonlarında kullanımı geniş uygulama alanları kazandırır ve performans parametrelerini belirler. Karbon siyahının kauçuğa eklendiğindeki ana etkisi kauçuğu pekleştirmektir (Medalia, 1978).

1.3.1.2 Beyaz dolgular

Kauçuk teknolojisinde kullanılan mineral dolgular veya siyah olmayan dolgu maddeleri, karışımdaki fiziksel veya mekanik özellikleri iyileştirmek ve maliyeti düşürmek için kullanılmaktadır. Bu özellikleri karbon siyahı ile birlikte karıştırarak veya açık renkli ürünler için dolgu maddesinin tek başına kullanılması ile sağlanabileceği gibi, birlikte kullanılan bir kaç beyaz dolgu maddesiyle de yapılabilmektedir. Birçok çeşitte mineral dolgu tipleri vardır ve bunlar takviye edici ve inert (etkisiz, ucuzlatıcı) olmak üzere iki ana sınıfta toplanabilirler. Tane büyüklüğü küçük olan takviye edici dolgular ile daha yüksek sertlik ve kopma kuvveti gerilim değeri elde edilebilir. Tane büyüklüğü fazla olan ucuzlatıcı türdeki mineral dolgular (inert) daha küçük değerler gösterirler. Bu türler genellikle kötü derecede esneme, aşınma dayanımı ve yırtılma dayanımına sahiptirler. Fiziksel özelliklerini etkileyen diğer bir faktör dolgu malzemelerinin tipleri kadar karışımdaki dolgu malzemelerin miktarlarıdır. Mineral dolgu maddeleri ince taneli hidrat silika dışındakiler genellikle proses aşamasında karbon siyahlarından daha az açığa çıkarlar. Mineral dolgu maddeleri düşük gerilim ve kötü kalıcı deformasyona yol açarlar. Kauçuk sektöründe kullanılan başlıca mineral dolgu malzemeleri kalsiyum karbonat, talk, kil, silikalar, çinko oksit ve silikatlardır (Öztürk, 2008).

1.3.2 Yumuşatıcılar (plastikleştiriciler)

Yumuşatıcılar, polimerlerin işlenebilirliğini ve esnekliğini artırmak için karışıma ilave edilen organik maddelerdir. Polimerlerin yumuşaklığını, düşük sıcaklıkta esnekliğini, uzamasını arttırmaları ve moleküller arası kuvvetlerin konsantrasyonu ile camsı geçiş sıcaklığını düşürürler (Dasgupta, 2007). Kauçuk ürünlerinin imalatında dolgu maddeleri kadar yumuşatıcılar da önemli rol oynarlar. Karışımda karbon siyahı ile yumuşatıcılar yüksek miktarda kullanıldığından karışımın maliyetini düşürürler. İşleme sırasında karışımın akıcılığını artırarak işleme kolaylığı sağlar. Dolgu maddeleri yumuşatıcıların varlığında karışım içerisinde kolayca dağılır. Düşük sıcaklıklar altında kauçukların fiziksel özelliklerinden uzama ve elastikiyeti iyileştirir, elektrik iletkenliğini yükseltir, aleve karşı direnci artırır. Kauçuk sektöründe yumuşatıcılar dolgu maddeleriyle beraber karışımın ana iskeletini oluşturmaktadır. Dolgu maddelerinin akabinde en yaygın kullanılan malzemelerdir. Esas olarak yumuşatıcı konusunu işlem kolaylaştırıcı yönüyle ele almak gerekir. İşlem kolaylaştırma prosesin çeşitli kademelerinde karışıma çıkmaktadır. Yumuşatıcılar karışım esnasında polimer ve dolgu maddelerini ısıtılmasıyla sürtünmeleri engelleyerek mekanik aşınmaları azaltılmış olur. Karışımın işlenmesinde viskoziteyi düşürerek enerji tasarrufu sağlar. Yumuşatıcılar dolgu maddeleri ile kimyasalların karışım içerisinde homojen olarak dağılımını sağlar. Karışımın akışkanlığını arttırarak, işlenmesini kolaylığını sağlar ve yapışkanlığını iyileştirir. Düşük ısılarda karıştırma sağlayarak, ön vulkanizasyon riskini azaltır. Yüksek miktarda dolgu maddeleri ile beraber kullanıldığı zaman karışım maliyetini düşürür. Karışımlarda elastikiyet, sertlik, uzama ve düşük sıcaklık özellikleri gibi fiziksel özelliklerde değişiklikler meydana getirir (Khairi, 1993).

1.3.3 Koruyucu maddeler

Elastomerler malzemelerin ısı, ışık vb. gibi dış etkenlerden dolayı zamanla özelliklerinde değişiklik göstermesi ya da özelliklerinin kaybolmasına yaşlanma adı verilir. Zamanla özelliklerinde meydana gelecek başlıca değişiklikler kırılma, yapışma, çatlama, yumuşama, sertleşme şeklinde görülebilmektedir. Elastomer zincirlerindeki doymamışlık derecesi arttıkça, yaşlanmaya karşı hassasiyet de artar. Vulkanizasyonda az sayıda çift bağlar reaksiyona girmiştir. Çift bağlar ozona,

oksijene ve diğ er reaktif maddelere karşı oldukça hassastır. Bununla birlikte kükürt ile birlikte reaksiyona girerek sertleşmeye sebep olurlar (Brydson, 1988).

1.3.4 Vulkanizasyon kimyasalları

Vulkanizasyon kimyasalları olarak ç apraz bağ layıcı ajanlar, hızlandırıcılar, aktivatörler ve geciktiricilerin kullanılmasıyla kauçuk malzemeler üretilmektedir. Vulkanizasyon ajanlarının bileşimleri vulkanize olmuş malzemenin ve ç apraz bağ lanma prosesinin özelliklerini belirlemektedir (Topheng ve Andersson, 2008).

1.3.4.1 Aktivatörler

Aktivatörler, hızlandırıcı ve kükürt arasında bağ kurulmasıyla hızlandırıcıların aktivasyonunu gerçekleştiren maddelerdir. Vulkanizasyon ajanları ile beraber aktivatörler vulkanizasyonun hızını arttırarak ç apraz bağ lanmanın süresinde azalma sağlamaktadır. Aktivatörlerin bulunuş u doç al kauç uđ a CaO, MgO vb gibi metal oksitlerin takviye edilmesi isteğ iyle rastgele bulunmuştur. Aktivatörlerin kauçuk karış ımdaki görevi karış ım içinde bulunan piş irici sistemlerini aktif hale getirmektir. Ç inko oksitler bu görev için en yaygın kullanılan aktivatördür. Metal oksitler dışında aktivatör görevi olarak stearik asitler de kullanılmaktadır (Soyubol, 2006). Ç inko oksitler ile yağ asitleri kullanımı zorunlu olan aktivatörlerdir. Yağ asidnin işlevi stearik asit gibi, ç inko oksidi ç özmektir. Polisülf it iyonlarını oluşturabilmek için aktivatörler elementer kükürt halkasının aç ılmasına yardım ederek vulkanizasyon oranını arttırmakta ancak vulkanizasyonun etkinliğ i üzerinde az etkisi olmaktadır. Aktivatörler ç inko oksit-hızlandırıcı-yağ asidi kompleksleri oluşturulmasından dolayısıyla kauçuk sülfirizasyonundan, polisülfür ç apraz bağ larından di ve monosülf it bağ larının oluşmasından ve vulkanizasyon veriminin artmasından sorumludurlar (Mostoni ve diğ , 2019).

1.3.4.2 Hızlandırıcılar

Hızlandırıcılar, polimer zincirleri arasında kükürt vasıtasıyla oluş an ç apraz bağ lanma prosesini hızlandırmak amacıyla kullanılan katkı malzemesidir. Kauçuk karış ımlarında hızlandırıcılar aktivatörler ile kimyasal bileş ik oluştururlar. Hızlandırıcı sistemler vulkanizasyonun hızını arttırmak ve son ürünlerin özelliklerinde iyileştirmeler yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Hızlandırıcılar, kauçuk karış ımlarına farklı piş me karakterleri ve vulkanize ürünlere de farklı fiziksel

ve yaşlanma özellikleri kazandırır. Bazı hızlandırıcıların vulkanizasyon hızına göre sınıflandırmaları aşağıdaki gibidir.

- Yavaş hızlandırıcılar: Aldehit-amin
- Orta hız hızlandırıcıları: Guanidin
- Yarı - ultra hızlandırıcılar: Tiazol-sülfenamidler
- Ultra hızlandırıcılar: Tiuramlar, ditiokarbamatlar, ksantatlar

Asidik yapıda olan hızlandırıcılar günümüzde en yaygın kullanılan türlerdir. Mekraptobenzotiazol (MBT) ve ondan elde edilen hızlandırıcılar, düşük miktarlarda tiuram ve ditiokarbamatlarla takviye edildiğinde genel kauçuk olarak kullanılırlar. Sülfenamidler merkaptobenzotiazolden daha emniyetli hızlandırıcılar olup difenilguanidin veya tiuramların ilavesiyle takviye edilebilirler. Tetrametil tiuram disülfid hızlandırıcılarda tiuram gruplarının arasında en yaygın olanıdır. Ditiokarbamat serisinden olan çinkodietil ditiokarbamatlar, birincil hızlandırıcılarla (MBT gibi) veya tiuramlarla kullanılarak EPDM, bütül kauçuk ve diğer genel amaçlı kauçuklar için oldukça etkin akseleratör sistemleri oluşturur. Hızlandırıcıların ve diğer kimyasal malzemelerin seçimi elastomerin cinsine ve istenen performans özelliklerine bağlıdır (Nieuwenhuizen ve diğ, 1997).

1.3.4.3 Geciktiriciler

Kükürt ile elastomer malzemelerin vulkanizasyonunda ön vulkanizasyon süresinin kısa olması elastomer malzemelerin yanma riskinin artmasına sebep olur. Elastomer malzemelerin ön vulkanizasyon zamanını artırmak ve yanma riskini kaldırmak amacıyla karışımda geciktirici malzemeler kullanılmaktadır. Yağın bilinen geciktiriciye örnek olarak N-sikloheksiltiyoftalimide (PVI) verilebilir.

1.3.4.4 Vulkanizasyon ajanları

Kauçuk karışımlarında polimer zincirleri arasında vulkanizasyon ajanları çapraz bağlar meydana getirirler. Kullanılan en yaygın türü kükürttür. Kükürt sekizli halkalı yapıda bulunur ve birbirlerine belli bir enerji ile bağlıdır. Bu bağların kırılması ise ancak bu enerjinin üzerine çıktığında mümkündür. Vulkanizasyon aşamasında kauçuğun uzun polimer zincirleri kükürt köprüleri vasıtasıyla birbirlerine çapraz bağlanırlar. Vulkanizasyon aşamasında normal kükürt ve çözünmeyen kükürt olmak

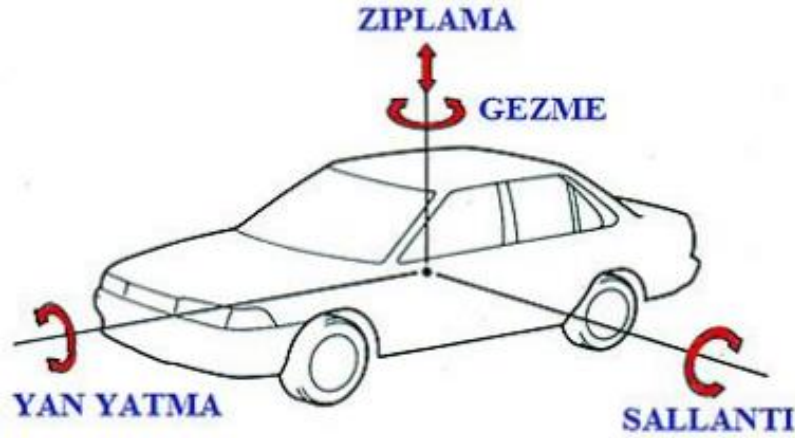
üzere iki tip kükürt kullanılır. Normal kükürt sekizli halka yapısındadır. Sıcaklık arttıkça çözünürlüğü de arttığından depolama sırasında ön vulkanizasyona sebep olabilmektedir. Amorf yapıdaki polimer zincirlerinden oluşan çözünmeyen kükürt ise bekleme esnasında çözünmediğinden depolama sırasında da ön vulkanizasyona sebep olmaz ve karışımda homojen bir dağılım sağlanabilmektedir (Akiba ve Hashim, 1997).

1.3.5 Vulkanizasyon

Vulkanizasyon, moleküllerin sahip olduğu yer değiştirme enerjisi kullanılarak, birbirleri arasında çapraz bağlar kurulmasıyla meydana gelen ağ örgüsü vasıtasıyla yer değiştirmeyen bir yapı elde edilmesidir. Elastomer malzemeler yüksek molekül ağırlığına sahip, uzun zincirli ve amorf yapıdaki polimerik malzemelerdir. Kürlenmediği takdirde hamurumsu yapıda olduğundan bu şekilde herhangi bir uzama ve esneklik özelliği göstermezler. Elastomerlerden beklenen performansı alabilmek için birbirlerine yüksek ağırlıktaki moleküllerle çapraz bağların vasıtasıyla bağlanırlar. Bu bağlanma yüzlerce karbon atomu birbirlerine yeterli miktarda bağ oluşum enerjisinin sağlanmasıyla oluşmaktadır ve buna vulkanizasyon veya kür adı verilir (Utracki ve Favis, 1989). Mekanik parçalar ve lastik malzemeler gibi yaygın kullanıma sahip olan kauçuk eşyalar vulkanizasyon gerçekleştirilmeden elde edilemezler. Vulkanize edilmeyen kauçuk malzemeler deformasyon sonrasında şeklini koruyamaz ve yapışkan bir formda olur. Vulkanizasyon genellikle kauçuklara ya da elastomerler malzemelere uygulanan işlevulkanmdir. Mekanik kuvvetlere maruz kalan kauçuk ya da elastomer malzemeler kuvvet ortadan kalktığı zaman orijinal boyutlarına geri dönerler. Vulkanizasyon işlemleri deforme edici kuvvetler kaldırıldıktan sonraki kalıcı deformasyonu azaltmaktadır. Bu sayede plastiklik özellik azalırken, elastiklik özelliklerinde artış görülür. Vulkanizasyon işlemleri çoğunlukla çapraz bağlı molekül ağı oluşumu ile gerçekleştirilir (Eirich ve diğ., 2005).

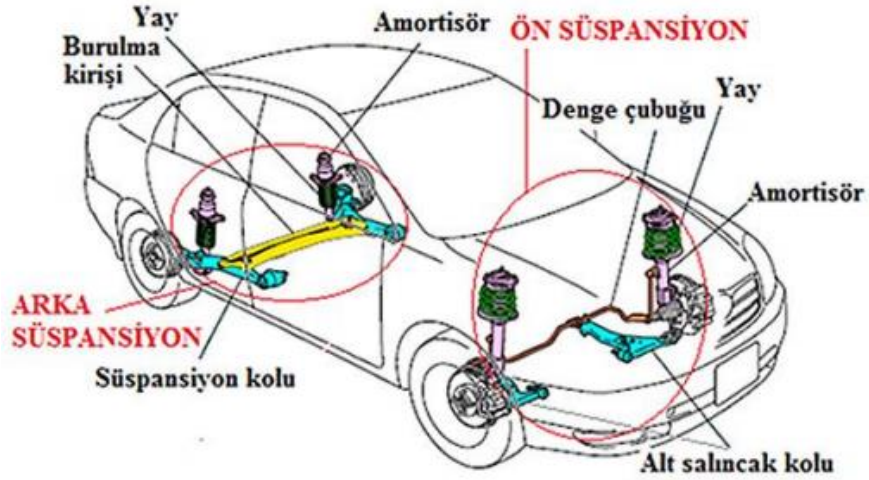
2. SÜSPANSİYON SİSTEMİ

Süspansiyon sistemleri sürüş esnasında yol bozukluklarının hissedilmemesi, aracın yol tutuş seviyesini arttırması, virajlarda dönüş kabiliyetini sağlaması gibi önemli etmenler sağlamaktadır. Motorlu araçlardaki şok ve titreşimleri emmek amacıyla yapılmış parçaların tamamına süspansiyon sistemi denir. Seyir halinde hareket eden bir araç birden fazla kuvvetin etkisi altındadır. Yoldan gelen ve havadan etki eden kuvvetler araç üzerinde Şekil 2.1’de görüldüğü gibi bazı salınım hareketlerine neden olur.



Şekil 2.1 Araçta oluşan kütle salınımları (Megep, 2013).

Süspansiyon sistemlerinin çalışması, lastiklerle yol arasındaki sürtünmenin ayarlanması ve virajların hatasız bir şekilde alınması prensibine dayanmaktadır. Aracın savrulmasından, yan yatması ve takla atmasından kurtaran hayati bir sistemdir. Otomotiv sektöründe kullanılan süspansiyon sistemleri aracın sürüş esnasında yoldan almış olduğu sarsıntıları en aza indirerek araç ile yol arasındaki sarsıntıyı absorbe etmesini sağlar. Aracın virajdaki ani dönüşü, çukur ve tümsek gibi zeminlerde aşağı ve yukarı hareket etmesi ile araçta denge bozukluğu, titreşim ve sarsıntı oluşturur. Araçta oluşacak bu sarsılmaların önlenmesi, sürüş konforu ile birlikte direksiyon kararlılığının sağlanması için süspansiyon sistemlerinde pek çok sayıda özellik geliştirilmektedir (Özgün, 2010).

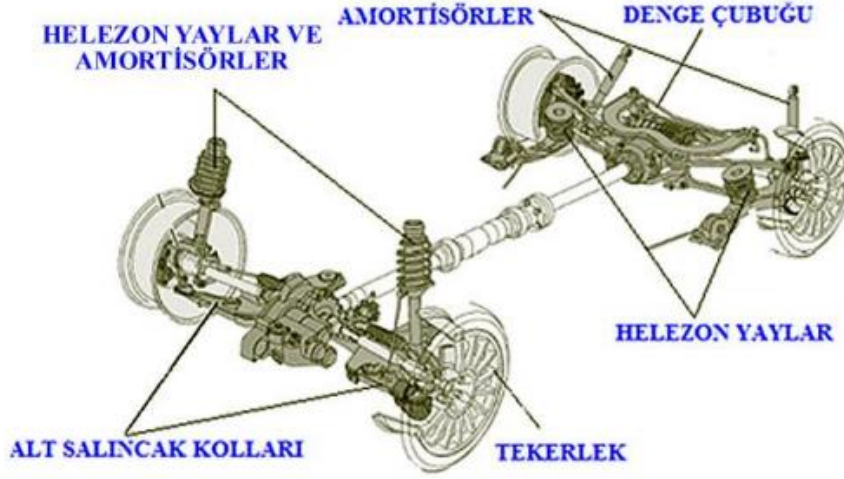


Şekil 2.2 Ön ve arka süspansiyon sistemleri (Megep, 2013).

Tekerleklerin araç ile bağlantısını yapan parçaların tamamına süspansiyon sistemi veya askı sistemi denir. Ön tekerleklerin tekerle bağlantısını yapan parçaların tamamına ön askı sistemi veya ön süspansiyon denir. Arka tekerleklerin araç ile bağlantısını yapan parçaların tamamına ise arka askı sistemi veya arka süspansiyon denir (Şekil 2.2). Aracın yol tutuşundaki yetenekleri sürüşteki güvenliğin sağlanması aşamasındaki en önemli faktördür. Araçta bulunan yürüyen aksamlar, fren sistemi, direksiyon sistemi, süspansiyon sistemi ve tekerlekler belli bir düzen ile karosere bağlıdır. Otomobilin ağırlığını süspansiyon sistemi taşıdığı gibi lastiklerin yola tutuşunu da sağlamalıdır. Aracın aktif güvenliği, konforu ve dengesi süspansiyon sisteminin sağlıklı çalışmasına bağlı olduğundan otomobilin yol tutuşu hayati önem taşımaktadır. Aracın gövdesi ile tekerleklerin arasına yerleştirilmiş olan süspansiyon sistemleri, yolun yapısından kaynaklanan titreşimleri sönmüleyebilmek için tasarlanmıştır. Süspansiyon sistemleri sürüş güvenliği ve konforu açısından gereksinim duyulan bir sistemlerdir.

2.1 Süspansiyon Sistemi Elemanları

Kauçuk ürünleri birçok sektörde kullanılmakla birlikte otomotiv sektöründe süspansiyon burçlarında geniş kullanım alanı bulmuştur. Standart bir süspansiyon sistemi amortisörler, yaylar, denge çubuğu, bağlantı elemanları gibi temel parçalardan oluşmaktadır (Özgün, 2010). Şekil 2.3’de süspansiyon sistemi elemanları görülmektedir.



Şekil 2.3 Süspansiyon sistemi elemanları (Megep, 2013).

2.2 Burçlar (Bushing)

Burçlar, kauçuk ve metaller arasındaki vulkanize bağlantı elemanlarıdır. Otomobillerin yanı sıra ticari araçlarda, trenlerde, ağır vasıta araçlarda, römorklarda, traktörlerde süspansiyon sistemlerine sahip olan çoğu araçta titreşim sönümlenme elemanı olarak kullanılan burçlar hiperelastik malzemelerdir. Bu kauçuk burçlar aracın hareketli parçalarından ve yoldan gelen şok, titreşim ve darbe gibi etkileri sönümleyerek araç gövdesine iletilmesini engelleyen, sürüş konfor gereksinimini sağlayan en önemli parçalardan biridir. Süspansiyon sistemlerinin birbirlerine ve ana gövdeye bağlantılarında kauçuk burçlar kullanılmaktadır. Kauçuk burçlar, süspansiyon sistemlerinin tasarlanması aşamasında önemli görev üstlenmektedir. Süspansiyon sistemleri içerisinde hareketli bağlantıya ihtiyaç duyulan yerlerde sıklıkla kullanılan elemanlardır. Örneğin kontrol kolları, denge çubukları, strut, sistem içerisinde kullanılan linkler ve yaprak yayların süspansiyon sistemine bağlantıları kauçuk burçlar yardımıyla yapılır. Bushinglerin tasarımı da bağlantı noktalarındaki hareketi kontrol edebilecek şekilde yapılır. Elastik yapıda olmaları sebebiyle yoldan gelen titreşimlerin süspansiyon elemanlarına iletimini azaltmaktadır. Süspansiyon sisteminde kullanılan bushingler genel olarak torca göre elastikiyet gösteren bushinglerdir. Bu bushinglerin içerisinde kullanılan kauçuk malzemeler kullanılacakları her iki süspansiyon sistemi üzerindeki bağlantı noktalarına sabitlenmişlerdir.

2.3 Süspansiyon Burçlarının Üretimi

Otomotiv sektöründe süspansiyon burçları üretimi için öncelikle kullanılacak hammaddelerin temini sağlanır. Bu hammaddeler ürün gamına göre, kauçuk, metal, alüminyum, çelik, plastik gibi materyallerden oluşabilecek hammaddelerdir. Tedarikçilerden temin edilen hammaddeler firma bünyesinde giriş kalite kontrolleri yapılarak kalite standartlarına uygunluğu kontrol edilir. Bu hammaddelerden metal, alüminyum ve çelik gibi malzemeler kullanılacağı ürünün formuna göre ekzantrik presler kullanılarak şekillendirme işlemleri uygulanır. Şekillendirme işlemlerinden sonra metal, alüminyum, çelik, plastik gibi materyaller fosfat hattında bir takım yüzey işlemlerine tabii tutulur. Burada uygulanacak yüzey işlemlerin amacı materyallerin yapıştırıcı uygulama prosesi öncesinde yüzeyi boyaya hazırlamak ve boyanın ömrünü uzatmaktır. Fosfat hattında uygulanacak yüzey işlemler yağ alma, kumlama, yağlama, çinko fosfatlama, pasivasyon ya da nötralizasyon, yıkama ve kurutma gibi adımlardan oluşur. Kullanılacak her bir materyal türü için uygulanacak yüzey işlem adımları, gireceği banyo sayısı ve uygulama süreleri farklıdır. Yüzey işlem uygulaması tamamlanan materyaller yapıştırıcı uygulama prosesine hazırdır. Yapıştırıcı uygulama prosesinde materyallere iki kat yapıştırıcı uygulanarak kauçuk-metal ile yapışmasını sağlamak üzere vulkanizasyon prosesi için hazır hale getirilir. Vulkanizasyon işlemi için kauçuk ve yüzey işlemleri tamamlanan materyaller manuel preste ya da enjeksiyon presler kullanılarak son ürün elde edilmiş olur. Vulkanizasyon prosesi biten ürünlerin zaman içerisinde havadaki oksijen ile temasında oksidasyona uğramaması için ürün materyaline bağlı olarak yağlama, fosfat kaplama, krom kaplama gibi yöntemler uygulanmaktadır. Bu sayede ürünlerin hava ile teması kesilerek metal komponentlerin korozyona uğraması önlenmiş olur. Daha sonra ürünler paketleme talimatınca ambalajlarında firma bünyesinde kullanılmak ya da müşteriye sevk edilmek üzere uygun depolama koşullarında stok ambarlarında muhafaza edilir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, NR/SBR esaslı burçların üretimi ve test yöntemlerine etkilerinin incelenmesi için parçalar üretilmiştir. Üretilen bu parçalar basit bir tasarıma sahip metal-kauçuk bileşiminden oluşan titreşim sönümleyici burçlardır. Çalışmalarda Yamas A.Ş. bünyesinde seri üretimde kullanılan iç boru, kauçuk ve dış borudan oluşan YVT16042 kodlu antivibrasyon burcu kullanılmıştır.

3.1 Materyal

3.1.1 Kullanılan malzemeler (kauçuk, metal, plastik vb.)

Tabii kauçuk (NR) matrisli ve stiren bütadien kauçuk (SBR) takviyesi ile farklı oranlarda 4 referans reçete ile belirlenmiş NR/SBR karışımları tedarikçi firmada (Metekim Kauçuk A.Ş. de) üretilerek gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında hazırlanan tüm kauçuk reçetelerinde polimerik ana malzemesi olarak doğal kauçuk ve stiren bütadien kauçuk karışımları (NR/SBR) kullanılmıştır. Tüm reçetelerde dolgu maddesi olarak kullanılan karbon siyahı türü FEF (N 550), doğal kauçuk SVR10, sentetik kauçuk SBR1502 ticari kodu ile satın alınmıştır. Reçetelerde yer alan proses kolaylaştırıcılar, koruyucu maddeler, aktivatörler, hızlandırıcılar gibi diğer bileşenler kauçuk sektöründe yaygın olarak kullanılan ticari ürünlerdir.

3.1.2 Metal malzemelerin özellikleri

Çalışmada kullanılan metal malzemeler ise parçanın özelliğine, ürünün çalışma yerine ve koşullarına göre belirlenmiştir. Bu çalışmadaki antivibrasyon burcunda iç boru olarak EN AW 6082 T6 alüminyum alaşımı ile dış boru olarak ST 52-3 BKW kalite çelik malzeme kullanılmıştır. Malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 EN AW 6082 alüminyum alaşıma ait kimyasal özellikler (%).

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Diğer	Al
0.5	0.7-1.3	0.1	0.4-1.0	0.6-1.2	0.2	0.15	0.15	Kalan

Çizelge 3.2 ST 52-3 çeliğinin kimyasal özellikleri (%).

C	Si	Mn	P	S	N	Cu	CEV
max 0.22	max 0.55	max 1.6	max 0.035	max 0.035	max 0.012	max 0.55	max 0.47

3.2 Metot

3.2.1 Kauçuk reçetelerinin oluşturulması

Kauçuk reçeteleri oluşturulurken karışımdaki kauçuk türü, karbon siyahı ve diğer bileşenlerin hangi miktarlarda ve hangi türlerde kullanılacağı mevcut tecrübelerimiz ve yapılan literatür araştırmaları neticesinde belirlenmiştir. Anti vibrasyon burçlarından beklenen performans kriterleri de dikkate alınarak kullanılacak kauçuk türünün proses ve ürün üzerindeki etkisini görmek için temel reçetede farklı miktarlarda NR/SBR reçeteleri belirlenmiştir. Tüm reçetelerde kullanılan karbon siyahı türü ise FEF (N 550)'dir. Bu çalışmada kullanılan kauçuk türünün ve miktarının etkilerinin belirlenmesi amacıyla temel reçetede doğal kauçuk/stiren bütadien kauçuk karışımları kullanılmıştır. Reçetelerde yalnızca NR ile SBR miktarları değiştirilmiş, bunun dışındaki diğer tüm katkı maddelerinin miktarları sabit tutulmuştur. NRSBR70, NRSBR50, NRSBR30, NRSBR10 reçeteleri için kullanılan kimyasallar Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Aşağıdaki tabloda belirtilen hamur reçetelerinde kullanılan tüm katkı ve kimyasalların açık isimleri ve miktarları YAMAS A.Ş. firması ile yapılan gizlilik anlaşması gereği saklı tutulmuştur.

Çizelge 3.3 NR-SBR esaslı hamur reçeteleri.

Reçete No	NRSBR70	NRSBR50	NRSBR30	NRSBR10
Bileşenler	Miktar (phr)	Miktar (phr)	Miktar (phr)	Miktar (phr)
NR (SVR 10)	30	50	70	90
SBR (SBR 1502)	70	50	30	10
Karbon Siyahı (N550)	70	70	70	70
Diğer	24	24	24	24

3.2.2 Kauçuk hamuru hazırlama yöntemi

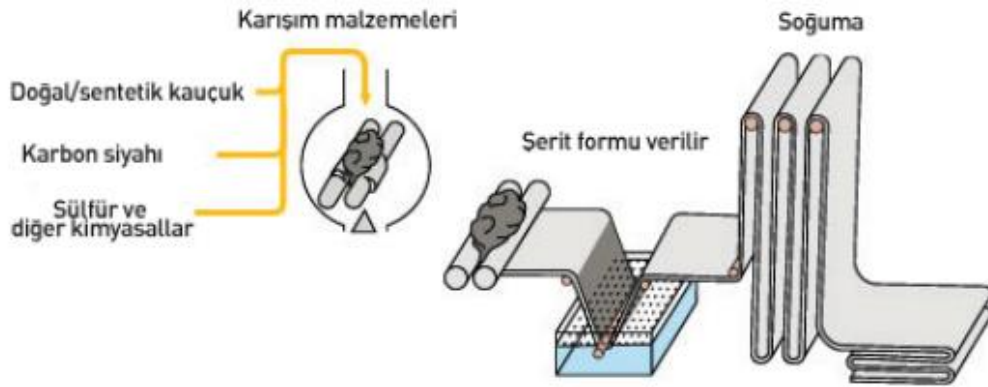
Hamur üretiminin ilk aşaması olan “masterbatch” olarak da bilinen ana kademe (1.kademe) kimyasalları kauçuk, karbon siyahı ve proses yağı üretim için

hazırlanmıştır. Terazide tartılan kauçuk banbury mikserin üst kapağından atılarak karışım süresi yaklaşık 2 dk olacak şekilde hamurun yumuşaması sağlanmıştır. Daha sonra karbon siyahı karışıma ilave edilerek 1 dk daha karıştırılmıştır. Banbury içine proses yağını da ilave ederek hamur 2 dk daha karıştırılmış ve mastikasyon (karışım) işlemi toplamda 5 dk olacak şekilde tamamlanmıştır. Ana kademesi tamamlanan hamur banbury'nin alt kapağı açılarak hamur ön şekillendirme makinesi olan barwell'e alınarak 2 dk karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi biten hamur barwell'den konveyör bantlar vasıtasıyla hamur soğutma makineleri olan batch-off'a alınır ve buradaki soğutucu fanların sayesinde hamurun 35-40°C'ye kadar soğuması sağlanmıştır. Ana kademe hamur minimum 16 saat dinlendirilerek elastomerin gerginliğini (stresini) atması sağlanmıştır. Dinlendirilen ana kademe hamur ikinci kademeyi yapmak üzere tekrar banbury'e alınmıştır. Bu aşamada hamur karışıma aktivatörler, koruyucu kimyasallar, proses kolaylaştırıcılar eklenmiş ve 3 dk karışması sağlanmıştır. İkinci kademe bittiğinde banbury'nin alt kapağı açılır ve çıkan formül barwell'de 2 dk karıştırıldıktan sonra konveyör bant aracılığıyla batch-off'a alınarak 35-40°C'ye kadar soğuması sağlanmıştır. Hamur üretim işleminin son aşaması olan üçüncü kademe hamur üretimi için pişirici ajanların bulunduğu vulkanizasyon kimyasalları tartılmıştır. Banbury'e tekrar alınan ikinci kademe hamur 2 dk karıştırılır ve vulkanizasyon kimyasalları katılarak 1 dk daha karışımı sağlanmıştır. Üçüncü kademesi de tamamlanan hamur banbury'nin alt kapağı açılarak barwell'e alınmıştır. Barwell'de 2 dk karıştırılan hamur şerit şeklinde kesilerek konveyör bantlar vasıtasıyla batch-off'a verilmiş ve 35-40°C'ye kadar soğutulmuştur. Soğuyan hamurlar batch-off'tan kasalara alınarak Şekil 3.1'deki gibi istiflenmiştir.



Şekil 3.1 İstiflenen hamurlar.

Banbury'deki karışımda önemli olan kriterler süre, sıcaklık, basınç vb dikkate alınmıştır. Karışımın tüm aşamalarında hamur sıcaklığı banbury soğutma sistemi ile kontrol edilerek soğutulmuş ve banbury içindeki hamur sıcaklığı 90°C nin üzerine çıkmamıştır. Hamur karışımlarının hazırlanması ve şerit oluşturulmasına ait örnek görsel Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Karışım hazırlama ve şerit oluşturma.

Hazırlanan kauçuk hamurlarının testlerini gerçekleştirmek üzere her hamur reçetesinden laboratuvar presinde test plakaları basılmıştır. Test plakalarına ait vulkanizasyon koşulları ise 15 min 170°C dir. 2 mm ve 6 mm olarak hazırlanan plakaları testlerde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

3.2.3 Kauçuk hamurlara uygulanan testler

3.2.3.1 Reometre testi

Reometre testleri ASTM D5289 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan kauçuk reçetelerinin her birinden 5.0+/-0.1 gr numune tartılarak rheometre test cihazına yerleştirilir. Hazırlanan karışımlar 185°C 3 dk olacak şekilde teste tabi tutularak vulkanizasyon değişkenleri kaydedilir. Reometre cihazı, kauçuk karışımın vulkanizasyon özelliklerini ölçerek vulkanizasyon eğrisini kaydeder. Cihaz karışıma yüksek basınç ve sıcaklık altında salınım gerilimi uygular ve çapraz bağ yoğunluğundaki artışın sonucunda torkta meydana gelen artışı zamanın fonksiyonu olarak gösterir. Torkun birimi ise N-m ya da Ib-in (pounds inch)'tir. Rheometre cihazı, otomatik olarak ısıtma ve soğutma donanımına sahiptir. Aparat içine yerleştirilmiş döner kısmın numuneye tork uygulaması şeklinde çalışmaktadır.

Rheometre test cihazında gösterilen parametreleri aşağıdaki gibidir:

ML : Reometre test sıcaklıktaki minimum viskoziteyi gösterir. Burada çapraz bağlanmalar gözlenmez ancak çapraz bağlanma reaksiyonunun başladığı noktadır. Çapraz bağlanma söz konusu olmadığı için burada belirtilen tork değeri hamurun yoğunluğu dolayısıyla da hamurların sertliği hakkında yorum yapma imkanı sağlar.

MH : Bu değer vulkanizasyonun tamamlandığı ve %100 pişmenin gerçekleştiği andaki viskozitedir (tork değeridir). MH değeri kullanılan dolgu maddelerinin artmasıyla artacağı gibi daha çok bağ sayısı ve bağ türünden de etkilenmektedir. Karışımda oluşan toplam bağ sayısının artmasıyla MH değeri de artacaktır.

ts2 : Pişmenin ilk safhası anlamına gelen scorch süresidir. Scorch zamanı hamurun pişmeye başlama zamanını ifade eder. Kauçuk hamurunun ekstrüderden çıkıp pişirme hattına kadar geçen toplam süreyi ifade eder. Kauçuk sektöründe en sık kullanılan parametre ts2 değeridir. Bu değer pişmeye başladığı süre hakkında bilgi verir. Scorch süresi firma şartlarına göre belirli bir aralıkta olması istenir. Scorch süresinin çok kısa olması hamurlarda erken pişme problemlerine yol açarak şekil stabilitesinin bozulması ve yüzey pürüzlülüğü problemlerine sebep olur. Bu süresinin çok uzun olması da pişme süresinin daha uzun gerçekleşerek yetersiz pişmeye sebep olur. Malzeme piştikten sonra şeklini koruyamayacağı gibi fiziksel özelliklerinde de azalmalar görülür. Bu sebeple uzun scorch süresine sahip, optimum pişme süresinin yeterince kısa olduğu durumlar hızlı ve emniyetli pişmenin gerçekleşmesi için

istenen durumlardır. Ancak malzemelerin pişme sürelerine bakıldığında genellikle t_{s2} süresi uzun olan hamurların t_{90} sürelerinin de uzun olduğu görülmektedir. t_{s2} değeri MH'a ulaşmak için geçen sürenin %10-15'dir. Yani t_{s2} değeri t_{10} ile t_{15} arasındadır.

t_5 : MH' a ulaşmak için geçen sürenin %5'idir.

t_{35} : MH'a ulaşmak için geçen sürenin %35'idir.

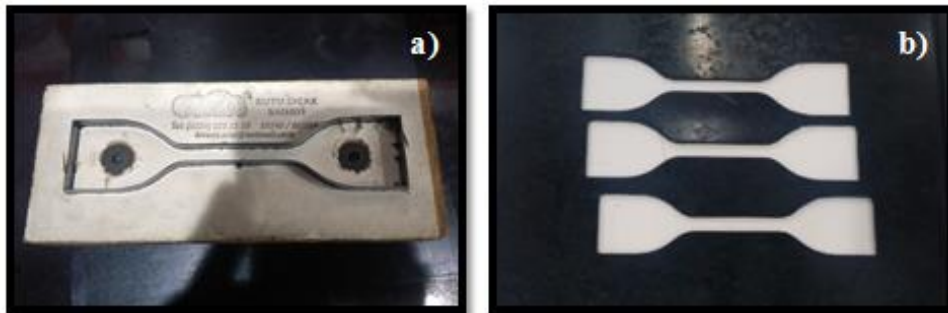
t_{50} : MH'a ulaşmak için geçen sürenin %50'sidir.

t_{90} : MH'a ulaşmak için geçen sürenin %90'sıdır.

Optimum pişme süresini ifade eden t_{90} değeri hamurun pişirilme hattında ne kadar sürede kalması gerektiğinin belirlenmesi için önemlidir. Hamur t_{90} süresinden önce pişme hattından çıkartılırsa pişme tamamlanmamış olur. Pişme tamamlanmayan ürünlerde de şekil bozuklukları görülür ve fiziksel özelliklerde düşmeler meydana gelir. Ürün pişme hattında t_{90} süresinden daha fazla kalırsa fazla pişmeler meydana gelerek ürünün kırılğan ve sert olmasına neden olur. Fiziksel özelliklerde de düşmeler meydana geleceği için kauçuk ürünlerinde %100 pişme yerine %90 pişme istenir. Kalan %10 pişme ise zamana yayılır. Kauçuk malzemeler bekleme süresi boyunca %10'luk kısmını tamamlayacak ve bu sayede ürün fiziksel özelliklerini korumaya devam edecektir. Bu sebeple kauçuk ürünlerinde %90'lık pişme süresi optimum pişme süresi olarak adlandırılır (Erkek, 2007).

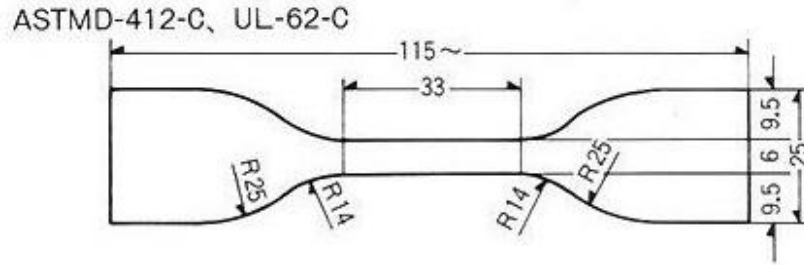
3.2.3.2 Çekme kopma testi

Çekme kopma testi ASTM D412 Type C standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bunun için daha önceden hazırlanan 6 mm kalınlığında plaka şeklindeki hamurdan Şekil 3.3 a'da gösterilen papyon şeklindeki kalıp ile Şekil 3.3 b'deki gibi plaka hamurdan papyon numuneleri çıkartılmıştır.



Şekil 3.3 (a) Papyon kalıbı (b) Papyon numunesi çıkarılmış plaka.

Papyon numunesinin şekli ve boyutları Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4 Çekme-kopma testinde kullanılan ASTM D412 Type C numunesi.

Çekme kopma testleri elastomer malzemenin kopma esnasındaki uzama miktarının % olarak belirlendiği testtir. Termoplastik elastomerlerin elastik ve plastik davranışları statik yük altında ekstansometre ile tespit edilmektedir. Çekme kopma testi için hazırlanan papyon numunesi ekstansometrenin çeneleri arasına sıkıştırılır. Burada 5 kN luk bir güç uygulanarak kopuncaya kadar numunenin uzamaya karşı dayanıklılığı tespit edilir. Ekstansometre çeneleri arasına yerleştirilen numune koptuğu anda cihaz kopma-uzama eğrisini kaydederek kopma uzama verilerini verir.

3.2.3.3 Dispersiyon testi

Dispersiyon testleri Alpha cihazında ISO 11345 standardına göre yapılmıştır. Dispersiyon testleri ile kauçuk karışımı içerisindeki karbon siyahı veya pigment parçacıklarının nihai mamul içindeki dağılımını belirlemek için yapılmıştır. Bu test için her bir reçetenin 6 mm lik sertlik diski kullanılmıştır. Farklı kombinasyonlardaki NR/SBR karışımlarının kalitesini belirlemek için her bir reçetede 5 farklı noktadan dispersiyon ölçümü alınarak bu değerlerin ortalaması Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

3.2.3.4 Sertlik testi

Sertlik testi, ASTM D2240 standardına göre ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde daha önceden hazırlamış olduğumuz 6 mm kalınlığındaki plaka hamurlardan elde edilen 30 mm çapındaki sertlik diski numuneleri kullanılmıştır (Şekil 3.5). Sertlik diski numuneleri shoremetre cihazına yerleştiriler ve sabit bir kuvvetle iğnenin batması için sıkıştırılmıştır. Skalada okunan sertlik değerler kaydedilmiştir.



Şekil 3.5 Sertlik diski.

3.2.3.5 Yoğunluk testi

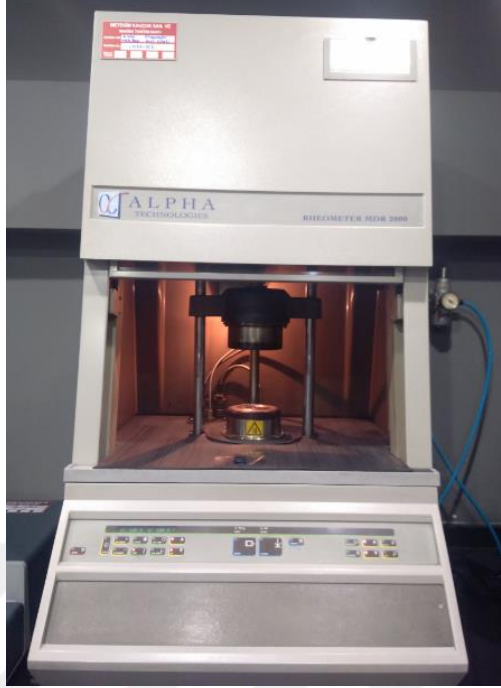
Yoğunluk testi, ISO 2781 standardına göre yapılmıştır. Bu test için her bir reçetenin 6 mm lik sertlik diski kullanılmıştır. Yoğunluk test cihazı kullanılarak numunenin öncelikle havadaki ağırlığı tartılarak kaydedilir. Daha sonra cihazın darası alınmıştır. Saf su içerisinde bulunan keseye numune konularak sudaki ağırlığı ölçülür ve kaydedilir. Cihazda okunan veriler kullanılarak yoğunluk değeri hesaplanmıştır. Elastomer malzemelerin belirli bir sıcaklıktaki birim hacminin kütlesi bize yoğunluk değerini verir.

3.2.4 Kullanılan cihazlar

Yapmış olduğumuz deneysel çalışmalarda reometre test cihazı, çekme kopma test cihazı, shoremetre test cihazı, yoğunluk terazisi ve dispersiyon test cihazı kullanılmıştır. Kauçuk karışımı, pişirme işlemine tabi tutulmadan önce ve sonra kendisinden beklenen fonksiyonları karşılayıp karşılamadığını doğrulamak için birçok teste sokulur. Özellikle pişirme öncesi testler, doğru ürünün üretilebilirliğini görmek adına çok önemlidir. Örneğin pişme eğrisine bakılarak karışımın akışkanlığı, pişmeye başlama zamanı ve pişme süresi ya da çekme mukavemeti testi ile malzemenin dayanımı, sertlik testi ile Shore A (Sh A) biriminden malzemenin ne kadar sert olduğu öğrenilmektedir. Ayrıca, malzemenin uzama durumu, ozon dayanımı ya da yaşlanma durumu hakkındaki bilgilerde bu testler neticesinde öğrenilebilmektedir. Genel olarak, kauçuk karışımına aşağıda belirtilen testler yapılmaktadır.

3.2.4.1 Reometre test cihazı

Reometrik testler Alpha MDR2000 test cihazında gerçekleştirilmiştir. Test cihazının kapasitesi 25-200°C, hassasiyeti $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ dir. Bu cihaz Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Reometre test cihazı.

3.2.4.2 Çekme kopma test cihazı

Çekme dayanımı ve kopma uzama testleri Zwick Roell Z005 marka tensometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Test cihazının yük kapasitesi 5 kN, hassasiyeti 0.5 N dur. Bu cihaz Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Çekme kopma test cihazı.

3.2.4.3 Shoremetre test cihazı

Sertlik ölçümleri Zwick Roell marka shoremetre ile yapılmıştır. Shoremetre okuma skalası 0-100 Shore A arasındır ve okuma duyarlılığı ± 1 Shore A dır. Shoremetre cihazı Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Shoremetre test cihazı.

3.2.4.4 Yoğunluk test cihazı

Yoğunluk testleri AND marka cihaz kullanılarak yapılmıştır. Test cihazının tartım kapasitesi 252 gr, hassasiyeti 0.0001 gr'dır. Bu cihaz Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Yoğunluk test cihazı.

3.2.4.5 Dispersiyon test cihazı

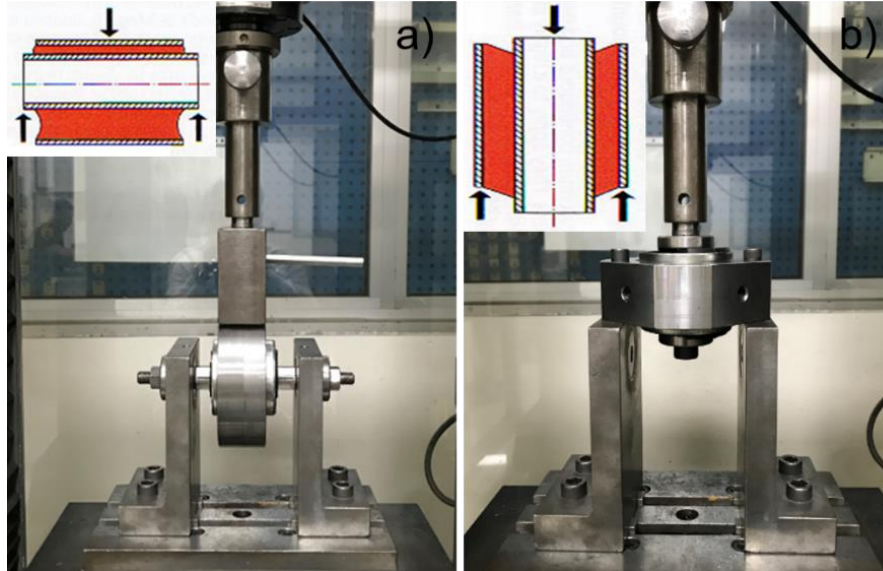
Dispersiyon testleri Alpha cihazında yapılmıştır. Dispersiyon test cihazının ölçüm aralığı 3-57 mikron aralığındadır. Bu cihaz Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Dispersiyon test cihazı.

3.2.4.6 Statik karakterizasyon test cihazı

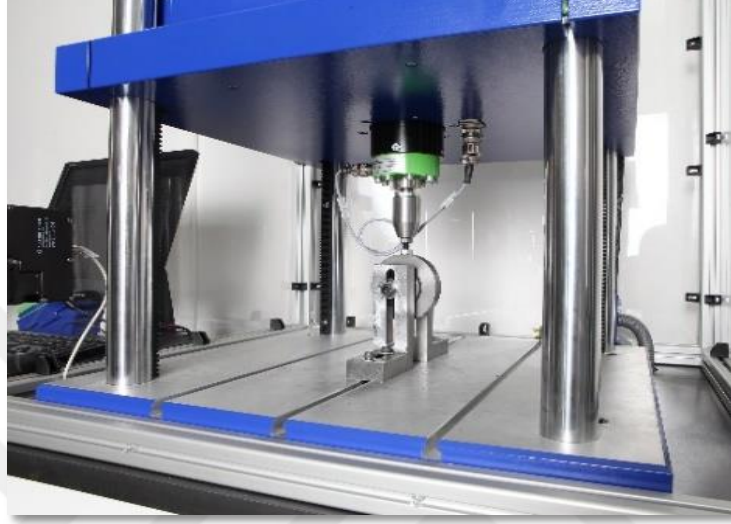
Radyal ve eksenel testler ile kopma ve yapışma mukavemet testleri Zwick Roell Z050 test cihazında gerçekleştirilmiştir. Test Cihazı 50 kN kapasiteye ve 600 mm strok değerine sahiptir. Bu cihaz Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Zwick Roell test cihazı test set-up (a) Radyal hareket (b) Eksenel hareket.

3.2.4.7 Ömür test cihazı

Üretimi gerçekleştirilen parçaların dinamik (ömür) testleri Dyna-mess tek eksenli test cihazında (Dyna-mess Prüfsysteme Germany, Model TP 10 HF) gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12’de gösterilen test cihazı ± 10 kN yük, ± 6 mm strok ve 0-35 Hz frekans bandı kapasitesine sahiptir.



Şekil 3.12 Dyna-mess tek eksenli dinamik test cihazı.

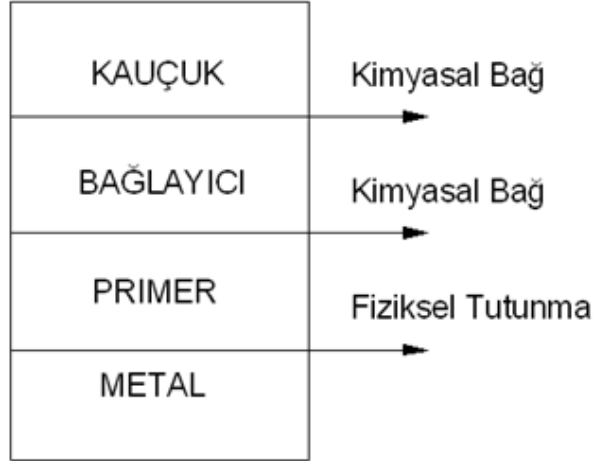
3.2.5 Metal malzemelerin yüzey hazırlama işlemleri

Metal malzemeler vulkanizasyon prosesinde kullanılmadan önce birtakım yüzey hazırlık işlemlerinden geçer. Yüzey hazırlık işlemleri metal malzemelerde boya ömrünü uzatmak ve verimliliği arttırmak için yapılmaktadır. Yüzey işlem sonucunda boya yapışma kabiliyeti ve korozyon direnci artmaktadır. Metal malzemelere boya öncesi uygulanan yüzey hazırlama işlemleri genel olarak fosfatlama işlemidir. Tipik bir fosfatlama prosesi genel olarak ön yağ alma, kumlama, yağlama, çinko fosfatlama, pasivasyon ya da nötralizasyon, yıkama, kurutma işlemlerinden oluşmaktadır. Yağ alma işleminin amacı, yapıştırıcı uygulamadan önce metallerin yüzeyindeki yağları ve kirliliği ortadan kaldırmaktır. Metallerdeki bu yağlılık, yapıştırıcının metal yüzeyine tutunmasına engel olmaktadır. Kumlama işleminin amacı ise, yapıştırıcının metal yüzeyine daha iyi tutunabilmesi için yüzeyi aktifleştirmektir. Kumlama işlemi ile metallerin yüzeyinde girinti ve çıkıntılar oluşturularak yapıştırıcıya uygun zemin sağlanmıştır. Kumlama makinesinde GL40 standartı kum kullanılmıştır. Yüzey işlem uygulamasında fosfatlama prosesine ait parça akış yönü Şekil 3.13’deki gibidir.



Şekil 3.13 Fosfat hattı parça akış yönü.

Fosfat prosesinden çıkan metal malzemeler yapıştırıcı uygulama (YPU) prosesine hazırlanmıştır. Yüzeysel işlemi biten metal parçalar YPU hattındaki tam otomatik boyama makinesinde boya tabancaları ile istenilen boya kalınlığında boyanır. Vulkanizasyon işleminden önce kauçuk-metal yapışmasını sağlamak için metal malzemelere iki kat boya uygulaması yapılmıştır. Kullanılan yapıştırıcı türü birinci kat için astar olarak Chemosil 211 (primer) ve ikinci kat için bağlayıcı olarak Chemosil 411 (sekonder) dir. Astar uygulaması yaklaşık 8-10 μm , yapıştırıcı uygulaması da yaklaşık 15-20 μm film kalınlığında olacak şekilde yapıştırıcı uygulaması yapılmıştır. Kauçuk ve metale uygulanan yapıştırıcı uygulamasındaki kimyasal bağlanmalar Şekil 3.14’te verilmiştir.



Şekil 3.14 YPU uygulamasında kimyasal bağlanma.

Tüm bu hazırlık aşamalarından sonra metal malzemeler vulkanizasyon işlemi için hazır hale getirilmiştir.

3.2.6 Mamullerin vulkanizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi

Vulkanizasyon işleminin gerçekleşebilmesi için gerekli olan parametrelerden sıcaklık ve süre değerleri hamur reometre verilerine göre belirlenmiştir. Vulkanizasyon işlemi için gerekli materyaller ve kauçuk hamuru önceden hazır hale getirilir ve belirlenmiş parametreler doğrultusunda enjeksiyon presler vasıtasıyla parçalar basılır. Belirlenen reçetelerin hamur üretim proseslerinde vulkanizasyon işlemi olarak en yaygın kullanılan kükürt vulkanizasyonu kullanılmıştır. Çalışma kapasamında kullanılan farklı kompozisyonlara sahip 4 farklı kauçuk reçetesine ait formülasyonlar Çizelge 3.3'te verilmiştir.

3.2.7 Vulkanizasyon parametrelerinin optimizasyonu

Farklı miktarlardaki NR/SBR karışımı 4 referans reçetenin vulkanizasyon işlemi (kükürt vulkanizasyonu) 3 farklı sıcaklıkta ve 3 farklı sürede basınç sabit tutularak yapılmıştır. Vulkanizasyon basıncı 200 bar olacak şekilde sabit tutulmuş, vulkanizasyon sıcaklıkları 170°C, 180°C ve 190°C, vulkanizasyon süreleri ise 480-540-600 sn de farklı parametrelerde basılmıştır. Vulkanizasyon ait değişkenleri kontrol altında tutabilmek, karışımın vulkanizasyon şartlarını belirleyebilmek açısından reometrik veriler dikkate alınmıştır. Vulkanizasyon işlemi tamamlanan mamül malzemeler çapak alma, kalibre ve yağlama işlemine tabi tutulmuştur. Farklı vulkanizasyon parametreleri ile deneme yapılan anti vibrasyon burçlarının ölçüsel ve görsel kontrolleri yapıldıktan sonra statik testler uygulanmıştır. Bu test sonuçlarından alınan veriler doğrultusunda her formülasyona ait vulkanizasyon parametreleri sabitlemiştir. Karışımlara ait onaylı vulkanizasyon parametreleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

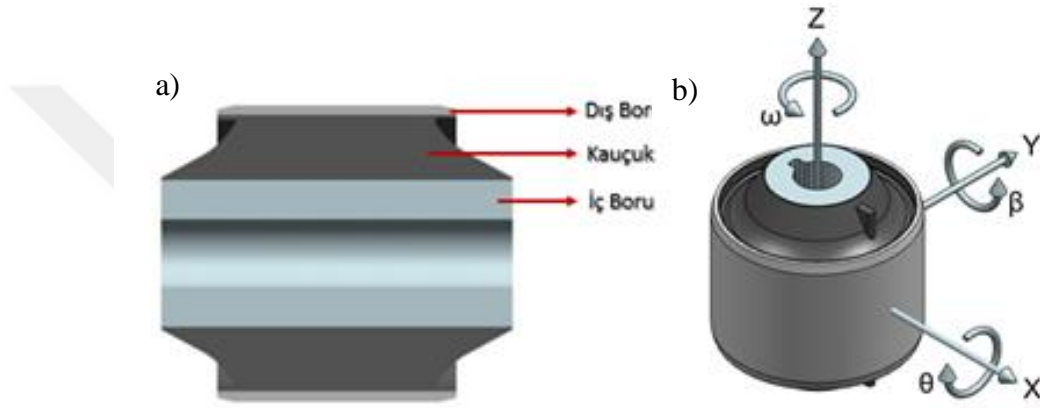
Çizelge 3.4 NR/SBR karışımlarının onaylı vulkanizasyon parametreleri.

REÇETE NO	NRSBR70	NRSBR50	NRSBR30	NRSBR10
Sıcaklık (°C)	190	170	170	170
Süre (sn)	600	480	420	420
Basınç (bar)	200	200	200	200

Tüm reçeteler onaylı vulkanizasyon parametreleri ile üretildikten sonra ürünlere karakterizasyon testleri uygulanmıştır.

3.2.8 Mamullere uygulanan testler (vulkanizasyon sonrası ürün karakterizasyon testleri)

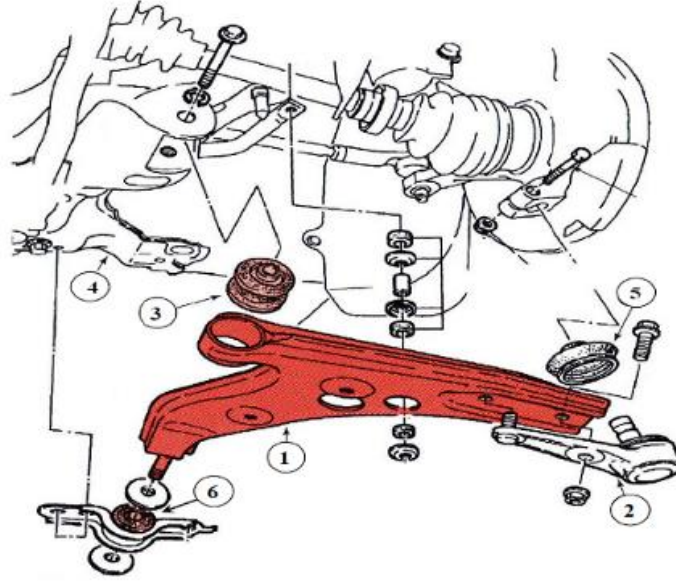
Çalışmada referans alınarak kullanılan parça bir aracın ön süspansiyon grubunun kontrol kolunda titreşim sönümleyici olarak kullanılmaktadır. Araç üzerindeki çalışma eksenleri radyal (X-Y eksen) ve eksenel (Z eksen) olan ürün, yoldan gelen etkileri daha çok radyal yönden karşılayacak şekilde tasarlanmış ve üç ayrı komponentten oluşmaktadır. Ürün; dış borusu çelik, iç borusu alüminyum ve titreşimlere cevap verecek ana komponent kauçuktan meydana gelmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 (a) Ürün komponentleri ve (b) eksenleri.

3.2.8.1 Statik karakterizasyon testleri

Süspansiyon sistemleri taşıtlarda sürüş güvenliğini sağlayan elemanlardır. Eğer aracın aksı direk şaseye bağlansaydı sürüş esnasında yoldan gelen bütün etkiler direk araca iletilirdi böylece rahat bir sürüş mümkün olmayacaktı. Modern araçlardaki bu sürüş konforu, iyi tasarlanmış bir süspansiyon sistemi ile mümkün kılınmaktadır. Süspansiyon sistemin önemli parçalarından biri olan kontrol kolları da tekerleklerin aşağı ve yukarı hareket etmesine imkan verir ve diğer yönlerde meydana gelebilecek istenmeyen hareketleri kısıtlar (Kutlak ve Uygur, 2014).



Şekil 3.16 Araçlarda ön salıncak ve ön süspansiyon sistemi (Yıldız, 2002)

1.Salıncak, 2.Salıncak roteli, 3 ve 6 Kauçuk burç, 4.Araç gövdesi, 5.Rotil körüğü.

Salıncakların veya kontrol kollarının tekerlek ile şase arasında bağlantısında kauçuk metal burçlar kullanılmakta ve bu burçlar sayesinde yoldan gelen yükler absorbe edilmektedir. Araç üzerindeki kontrol kolu ve bileşenleri Şekil 3.16'da gösterilmiştir (Yıldız, 2002). Bu bağlamda kullanılan bu kauçuk metal titreşim sönümleyici burçların statik ve dinamik karakterleri araç performansı ile direkt olarak bağlantılıdır. Bu sebeple üretilen ürünlerin formülasyona bağlı olarak statik değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Optimizasyonu yapılmış vulkanizasyon parametreleriyle doğrulanmış statik değerler baz alınarak ürünün gerçek çalışma koşulları düşünülerek radyal ve eksenel yönde testler yapılmıştır. Testler, ürünün kullanıldığı kontrol kolundaki çakma sıklığı referans alınarak üretimi yapılmış test fikstürlerinde yapılmıştır. Ayrıca farklı kauçuk formülasyonuna sahip parçalar karışmayı önlemek için markalanmıştır. Ürün üzerine uygulanan maksimum uzama miktarının ve yükleme hızının parçanın kuvvet-deplasman ilişkisi üzerinde ciddi bir etkiye sahip olduğu yapılan birçok araştırmayla ile doğrulanmıştır. Bu sebeple aynı eksenle yapılan testlerin yükleme hızları ve uzama miktarları aynı tutulmuştur (Darı ve diğ, 2018).

Radyal statik test

Ürün, kontrol kolundaki montajı dikkate alınarak test fikstürüne montajı yapılmış, civata, somun ve pullar yardımıyla Şekil 3.11 a'da gösterildiği gibi sabitlenmiştir. Sıkma tork değerleri kullanılan bağlantı elemanlarına göre belirlenmiş ve test esnasındaki kaymaların önüne geçilmiştir. Radyal yönde yapılacak statik testlerin

belirlenen parametreleri aşağıda verilmiştir. Kullanılan test aparatlarının arasındaki boşlukların ve temas ataletlerinin elimine edilmesi için 100 N ön yük uygulanmıştır. Çizelge 3.5’de verilen kondüsyonlama parametreleri parçaya özgü belirlenmiş olup Mullin’s etkisini ortadan kaldırmak için gereklidir (Mullins ve Tobin, 1969). Kuvvet-deplasman test eğrisi olarak 4.çevrim baz alınacaktır.

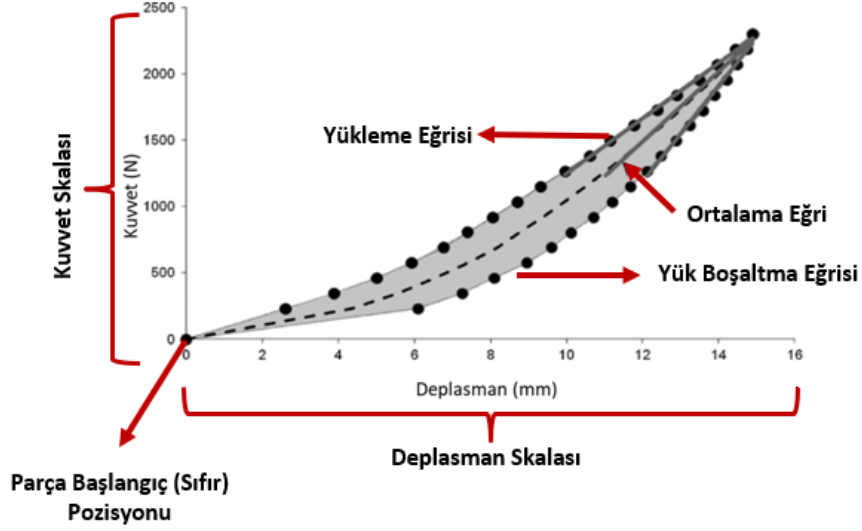
Eksenel statik test

Ürün eksenel testleri Zwick Roell test cihazında gerçekleştirilmiştir. Test Cihazı 50 kN kapasiteye sahip ve 600 mm strok değerine sahiptir. Ürün, kontrol kolundaki montajı dikkate alınarak test fikstürüne montajı yapılmış, cıvata, somun ve pullar yardımıyla Şekil 3.11 b’de gösterildiği gibi sabitlenmiştir. Sıkma tork değerleri kullanılan bağlantı elemanlarına göre belirlenmiş ve test esnasındaki kaymaların önüne geçilmiştir. Eksenel yönde yapılacak statik testlerin belirlenen parametreleri Çizelge 3.5’de verilmiştir. Yorma yükü ve test yükü hariç diğer parametreler radyal parametreler ile aynı tutulmuştur.

Çizelge 3.5 Statik radyal ve eksenel test parametreleri.

	Radyal Yön	Eksenel Yön
Ön Yük	100 N	100 N
Yorma Hızı	50 mm/min	50 mm/min
Yorma Yükü	2 mm	5 mm
Ön Çevrim	3	3
Bekleme Süresi	10 sec	10 sec
Test Hızı	10 mm/min	10 mm/min
Test Yükü	2 mm	5 mm
Sıcaklık	24°C	24°C

Radyal ve eksenel yönde yapılan testler sonucunda elde edilen kuvvet-deplasman eğrileri statik yay sabitlerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Statik yay sabitlerinin (Ks) hesaplanmasında kuvvet-deplasman eğrisindeki ortalama eğri baz alınmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Kuvvet-deplasman eğrisi.

Radyal ve aksel yönde yapılan statik yay sabitlerinin hesaplanmasında belirlenen deplasmanlarda yüklem eğrisi ve yük boşaltma eğrisi üzerindeki kuvvet noktaları baz alınarak aşağıda belirtilen formülasyona göre hesaplama yapılmıştır.

$$K_s = \frac{\Delta F}{\Delta x} \quad (1)$$

Uygulanan kuvvet sonucu ürünün içerisinde depoladığı enerjinin, uygulanan toplam enerjiye oranını veren histeresis kayıplarını bulmak için yine aynı kuvvet-deplasman eğrilerinden faydalanılmıştır. Ürünün sönüm özellikleri hakkında önemli bir gösterge olan histeresis oluşturulan farklı kauçuk formülasyonlarının ürün üzerindeki etkisinin incelenmesinde kullanılan elastomer oranlarının etkisini gösterecektir. Histeresis oranlarının hesaplanmasında aşağıda belirtilen formülasyondan faydalanılmıştır.

$$HYS = \frac{W_{APPLY} - W_{REMOVAL}}{W_{APPLY}} \times 100 \quad (2)$$

Kopma-yapışma mukavemet testi

Ürün testleri, dış boru tarafından aparatlar yardımıyla sabitlenip iç boru tarafından aksel yönde kuvvet uygulanacak şekilde yapılmıştır. Vulkanizasyon esnasında kauçuk ile metaller arasında bağ oluşturarak iki komponentin birbirine tutunması sağlayan yapıştırıcı ajanların yapışma mukavemetleri, ürünlerin araç üzerindeki çalışma koşulları için kritik bir öneme sahiptir. Bu sebeple farklı formülasyonlara ait üretilen parçalara kopma-yapışma mukavemeti testleri yapılmaktadır. İlgili testler oda sıcaklığında, parçalara 100 N ön yük uygulanarak 200 mm/min test hızında, 45 kN test yüküyle gerçekleştirilmiştir.

3.2.8.2 Dayanım (ömür) testi ve performans kaybı ölçümleri

Dinamik (ömür) teste başlamadan önce normal şartlarda esneme testi yapılır. Esneme testinin ardından istenilen çevrimde parça dinamik olarak teste tabi tutulur. Dinamik test sonlanınca parça tekrar esneme testine alınır. Dinamik test öncesi esneme testi sonucu ile dinamik test sonrası yapılan esneme testi sonuçları karşılaştırılır. Dinamik test sonrası parçanın esnemesinde oluşan kayıp bir önceki sonuçtan en fazla %15 düşük olabilir. Eğer daha düşük sonuç çıkarsa ya da parçada görsel olarak tahribat tespit edilirse sonuç ret olarak değerlendirilir. Dinamik (ömür) test ile farklı formülasyonlarda üretilen parçaların formülasyondaki karışım oranlarının ürünün servis ömrü üzerine etkileri incelenmiştir. Ürünlerin dayanım testi öncesi ve sonrası dinamik karakter tayinleri yapıp performans kayıpları ölçülmüştür. Ürünlerin dayanım testleri ve frekans tarama test parametreleri Çizelge 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6 Dayanım ve frekans tarama test parametreleri.

Dayanım Test Parametreleri		Frekans Tarama Test Parametreleri	
Test Yönü	Radyal ($\pm X / \pm Y$)	Test Yönü	Radyal ($\pm X / \pm Y$)
Ön Yük	0 N	Ön Yük	0 N
Test Yüğü	± 8 KN	Test Yüğü	± 1 mm
Frekans	5 Hz	Frekans	0-35 Hz
Çevrim Miktarı	2 Milyon	Frekans Adımı	0.5 Hz
Sıcaklık	24°C	Sıcaklık	24°C

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde kauçuk hamurlara uygulanan test sonuçları ile mamullere vulkanizasyon sonrası uygulanan testlerin sonuçları verilmiştir. Bu tezde verilen bazı kauçuk özellikleri işletme içinde aynı kauçuk kullanıldığı için Eşiyok (2019) tez çalışmasında verilmiş olup, bu tez çalışmasında bulgular ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

4.1 Reometrik ve Fizikomekanik Test Sonuçları

Reometre testi sonrası NR/SBR karışımlarına ait reometre test sonuçları ile fizikomekanik test sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Reometrik özellikler ve fizikomekanik test sonuçları.

REÇETE NO BİLEŞENLER	NRSBR70 Miktar (phr)	NRSBR50 Miktar (phr)	NRSBR30 Miktar (phr)	NRSBR10 Miktar (phr)
NR (SVR 10)	30	50	70	90
SBR (SBR 1502)	70	50	30	10
Karbon Siyahı (N550)	70	70	70	70
Diğer	24	24	24	24
Reometrik Özellikler 185°C 3dk				
ML (dNm)	1.4	1.46	1.96	2.18
MH (dNm)	9.58	13.38	18.06	18.76
TS2 (mm:ss)	01:10	00:42	00:35	00:32
T90 (mm:ss)	02:02	01:26	01:15	01:04
Fizikomekanik Özellikler				
Sertlik (Shore A)	61	65	70	70
Yoğunluk (g/cm ³)	1.138	1.148	1.175	1.177
Çekme Dayanımı (Mpa)	15.2	17.1	18.2	17.3
Kopma Uzaması (%)	490	400	378	342

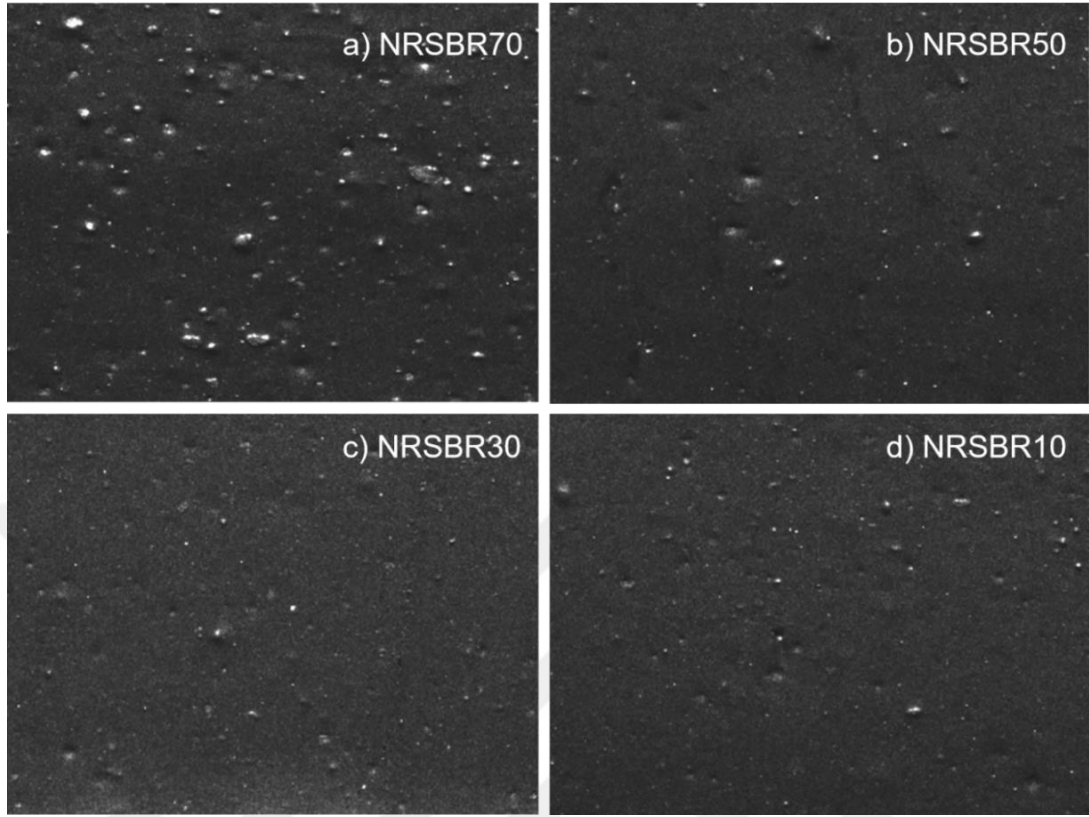
Reolojik özellikler minimum tork (ML), scorch süresi (ts2), optimum pişme süresi (t90), maksimum tork (MH) iken fiziko-mekanik özellikler sertlik, yoğunluk, kopma mukavemeti ve kopma uzama değerleridir. Formülasyonlara ait reometrik değerler incelendiğinde ML ve MH değerleri NR oranına bağlı olarak arttığı

görülmüştür. Fakat ts2 ve t90 değerleri ters orantılı olarak azalmaktadır. Fiziko-mekanik özellikler incelendiğinde ise NRSBR70, NRSBR50 ve NRSBR30 formülasyonlarında artan NR oranına bağlı olarak kauçuk sertlik değerlerinde artış görülmüş, NRSBR10 formülasyonunda ise sertlik aynı kalmıştır. Çekme mukavemeti değerlerine bakıldığında NRSBR70, NRSBR50 ve NRSBR30 formülasyonlarında artan doğal kauçuk oranıyla beraber bu mekanik değerlerde de artış görülmektedir fakat NR oranının en fazla olduğu NRSBR10 formülasyonunda bu değer tersinir bir etki göstermeye başlamıştır. Kopma uzama değerleri de çekme mukavemetlerine oranla NR oranı arttıkça ters orantılı bir şekilde azalmaktadır. Tüm formülasyonlarda artan sentetik kauçuk miktarı ile elastiklik modülü ve kopma uzama değerleri düşmektedir (Köksal, 1998). Doğal kauçuk ve sentetik kauçuğun karışımı ile oluşturulan 10 farklı reçetede tüm formülasyonlarda aynı miktarda katkı maddesi kullanılarak yapılan bir çalışmada artan NR oranı ile birlikte sertlik değerleri de doğrusal olarak artmıştır. Vulkanizasyon sistemleri NR ve SBR türü kauçukta aynıdır. SBR kauçuğun vukanizasyonu NR ye kıyasla daha yavaş olduğundan NR ile aynı derecede vulkanizasyon gerçekleştirmek için hızlandırıcı miktarı fazla ve kükürt miktarını daha az kullanmak gerekir (Arguello ve Santos, 2016). Çizelge 4.1’de karışımların reolojik değerlerini incelediğimizde NR oranı arttığında Ts2 ve T90 değerlerinde buna bağlı olarak düşüşler meydana gelmiştir. Ürünlerin vulkanizasyonundan sonra yapılan doğrulama testleri Çizelge 3.4’te görüldüğü gibi bu kapsamda bu göstergelerle örtüşmektedir.

4.2 Dispersiyon Test Sonuçları

Karışımlara uygulanan dispersiyon testlerine ait görüntüler Şekil 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.2’deki dispersiyon test sonuçları incelendiğinde NRSBR70 formülasyonuna ait hamurların dispersite oranı %90 bandında iken ve SBR oranının 50 phr’a düşmesi dispersitede %7’lik bir homojen karışım için iyileşme sağlamakta ve SBR oranının daha fazla azaltılmasının dispersiyonu değiştirmediği gözlemlenmektedir. Şekil 4.1’deki dispersiyon analiz görüntüleri ile Çizelge 4.2’deki test sonuçları birlikte incelendiğinde görüleceği üzere NRSBR70 formülasyonunda %5.5 beyaz bölge görünmektedir. Bu beyaz alan karışımdaki beyaz dolgu malzemelerinin diğer bileşenlerle homojen bir şekilde karışıp karışmadığı hakkında yorum yapmamıza imkan sağlar. SBR oranının azaltılması NRSBR50, NRSBR30 ve

NRSBR10 formülasyonlarında beyaz alanda yaklaşık %2'lik azalma sağlamış, bu da daha iyi bir homojen karışım sağlandığını göstermiştir.



Şekil 4.1 (a) NRSBR70 (b) NRSBR50 (c) NRSBR30 (d) NRSBR10 dispersiyon görüntüleri.

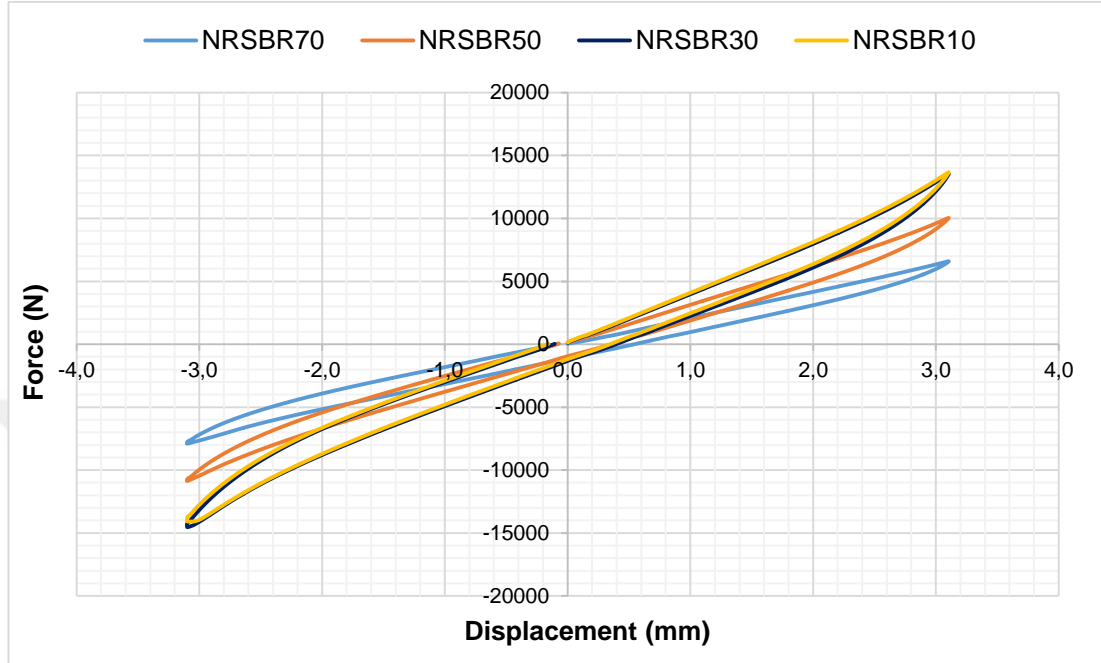
Çizelge 4.2 Dispersiyon test sonuçları.

	X	Y	Z	White area [%]	Dispersion [%]	Average Agg. Size [um]	Agg. Size Std. Dev [um]
NRSBR70	5.8	9.1	84.4	5.5	90.4	8.7	6.7
NRSBR50	7.6	9.8	90.1	3.5	97.7	7.5	5.0
NRSBR30	7.9	9.8	90.3	3.4	97.7	7.2	4.8
NRSBR10	7.6	9.7	89.5	3.7	97.2	7.4	5.0

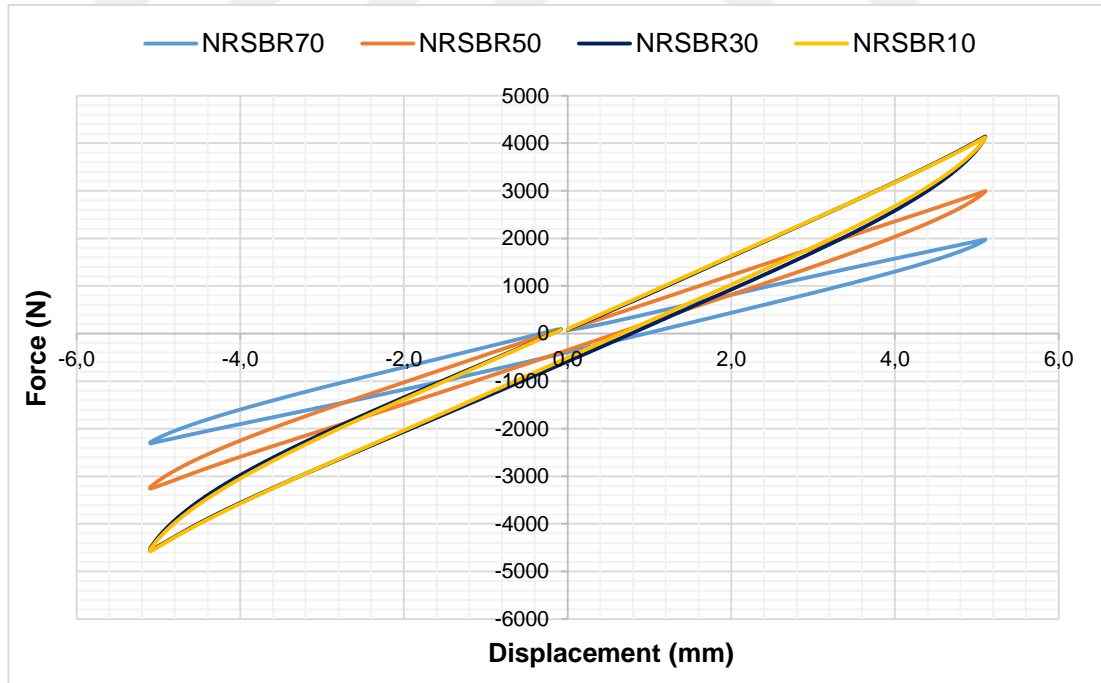
Dispersiyon oranı % olarak ne kadar yüksekse karışımdaki tüm bileşenler o oranda iyi dispers olmuştur. Beyaz alan % olarak ne kadar küçükse ve ortalama aglomer boyutları ne kadar küçükse karışımdaki beyaz dolgular o kadar homojen dağılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda NRSBR30 formülasyonu %3.4 beyaz alan, %97.7 dispersiyon ve %7.2 ortalama aglomer boyutu ile dispersiyon test sonuçlarında en başarılı reçete olmuştur.

4.3 Statik Karakterizasyon Test Sonuçları

Farklı formülasyonlara ait parçalar üzerinden yapılan radyal ve aksel kuvvet-deplasman grafikleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görülmektedir.



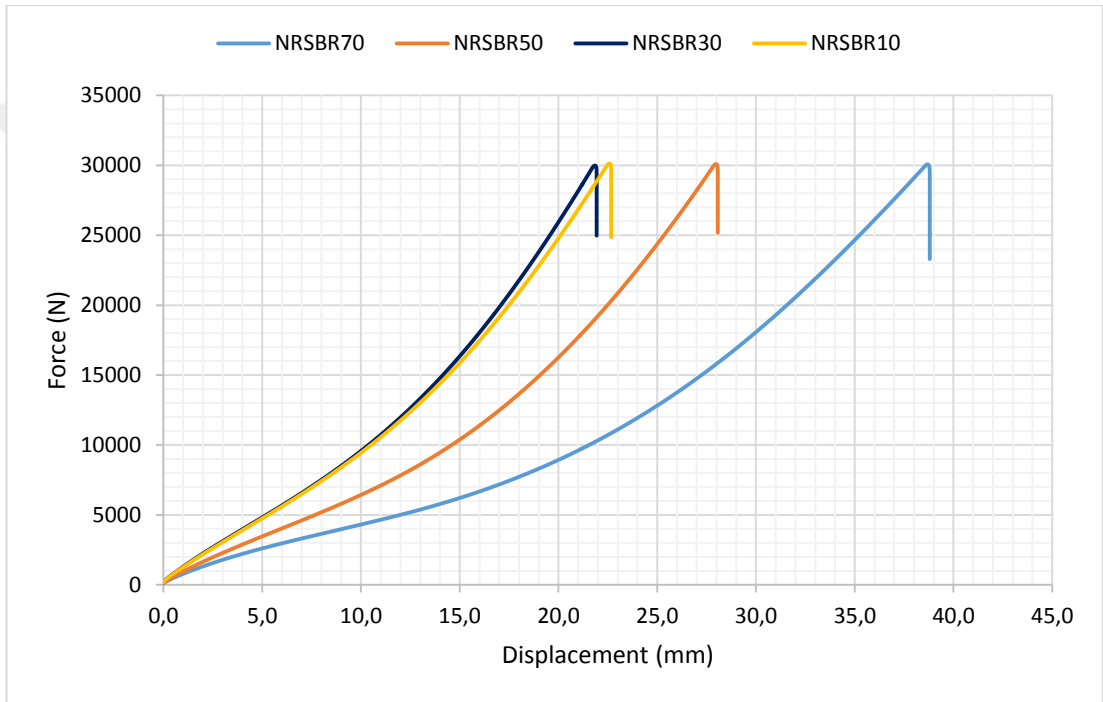
Şekil 4.2 Ürünlerin radyal kuvvet-deplasman grafikleri.



Şekil 4.3 Ürünlerin aksel kuvvet-deplasman grafiği.

Hamur üzerinde yapılan test sonuçlarında artan NR oranıyla beraber kauçuk sertliğinin de arttığı, NRSBR10 formülasyonunda kauçuk sertliğinin aynı kaldığı görülmüştür. Ürün üzerinde yapılan radyal test sonuçlarındaki kuvvet-deplasman

grafikleri ve ürünlerin statik yay sabitleri incelendiğinde benzer orantıda eğilime sahip olduğu değerlendirilmiştir. Aynı test koşullarında yapılan statik karakterizasyon testlerinde NRSBR30 ve NRSBR10 formülasyonlarına ait parçaların aynı deplasmanda karşıladıkları kuvvet miktarı neredeyse aynı iken, bu değer NRSBR70 ve NRSBR50 formülasyonuna ait parçalardan daha fazladır. Şekil 4.3'te ürünlere yapılan aksel kuvvet-deplasman test grafikleri ve Çizelge 4.3'teki statik karakterizasyon karşılaştırmalarında ilgili yay sabitleri incelendiğinde ise radyal statik yay sabitlerine benzer biçimde eğilim olduğu görülmektedir. Şekil 4.4'te kopma dayanım testlerine ait grafikler görülmektedir.



Şekil 4.4 Ürünlerin kopma-yapışma mukavemetleri.

Kopma dayanım testleri ürünlere dış borudan sabitlenmek kaydıyla iç boru tarafından yük uygulanarak kauçuk kısmın ve metal ile kauçuk arasındaki yapışma mukavemetini belirlemek için yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda 4 formülasyona sahip parçalarda da herhangi bir yırtılma, kopma ve yapışma zafiyetine rastlanmamıştır.

Kauçuk hamuru üzerinde yapılan malzeme testlerinde Çizelge 4.1'deki çekme mukavemeti testleri ve Şekil 4.4'teki ürünler üzerine yapılan kopma mukavemeti testleri birlikte incelendiğinde değerlerin aynı eğilimde değiştiğini görmekteyiz, bu sonuçlara göre aynı kuvvette yapılan farklı formülasyonlara sahip parçalarda en fazla mukavemeti NRSBR30 formülasyonu sağlamıştır.

Çizelge 4.3 Statik karakterizasyon karşılaştırmaları.

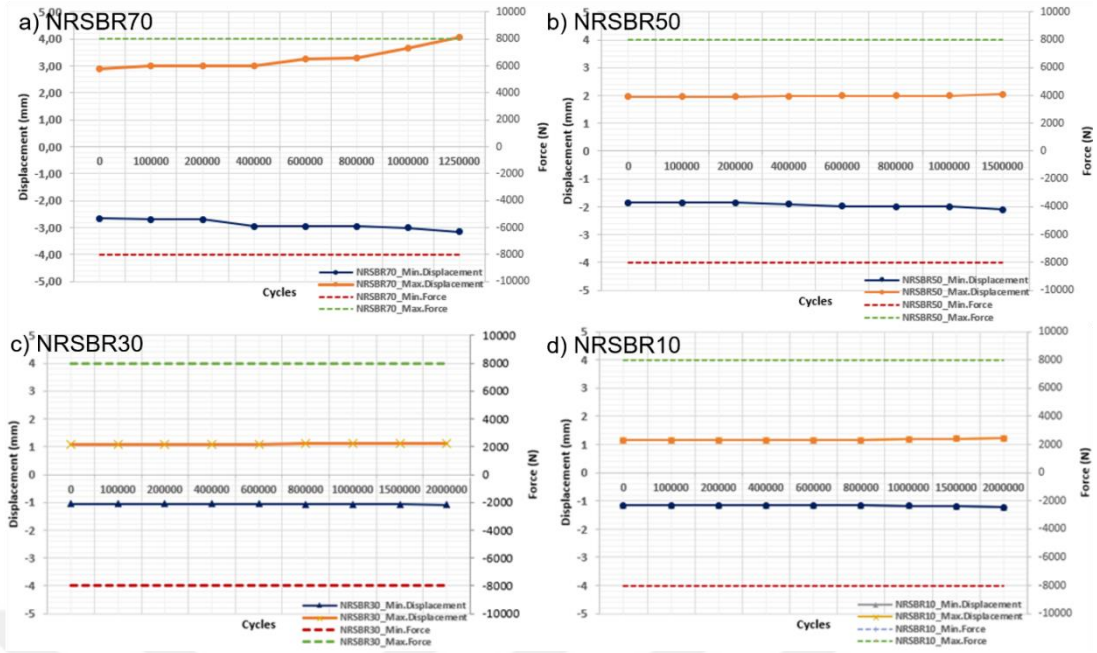
Formül Numarası	STATİK TESTLER							
	Ks	Histeresis			Ks	Histeresis		Kırılma
	Radyal	Radyal	Radyal	Eksenel	Eksenel	Eksenel	(Bağlanma)	
	Yön*	W	HYS	Yön*	W	HYS	Ortalama ΔL	
(N/mm)	(Nmm)	(%)	(N/mm)	(Nmm)	(%)	(mm)		
NRSBR70	2008	6893	%29.0	387	3764	%30.7	39.22	
NRSBR50	2859	7483	%22.9	570	3861	%22.6	27.85	
NRSBR30	3663	12272	%28.0	763	6295	%26.4	21.72	
NRSBR10	3660	10121	%23.7	750	5693	%24.7	22.65	

*Statik yay sabitleri (Stiffness)

NR/SBR elastomer bazlı oluşturulan 4 farklı formülasyona ait ürünlerin performans dayanımları hakkında çıkarım yapmak ve değerlendirmek üzere ürünler üzerinde yapılan Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'teki radyal ve eksenel yöndeki kuvvet-deplasman grafiklerinden elde edilen histeresis kayıpları incelenmiştir. Çizelge 4.3 incelendiğinde statik yay sabitlerine oranla sönmülenen enerji miktarları da doğru orantılı olacak bir şekilde sonuçlar alınmıştır. NRSBR30 ve NRSBR10 formülasyonları kendi arasında değerlendirildiğinde radyal ve eksenel statik yay sabitleri birbirine yakın değerlerde olmasına rağmen NR oranının fazla olduğu NRSBR10 formülasyonuna sahip parçaların histeresis kayıpları ve histeresis yüzdeleri daha düşük çıkmıştır. NRSBR70, NRSBR50 ve NRSBR30 formülasyonlarına ait parçaların histeresis kayıpları incelendiğinde ise NR oranı arttıkça histeresis kayıpları artmasına rağmen histeresis yüzdeleri NRSBR50'de en düşük değerde olduğu görülmüştür.

4.4 Dayanım (Ömür) Test Sonuçları

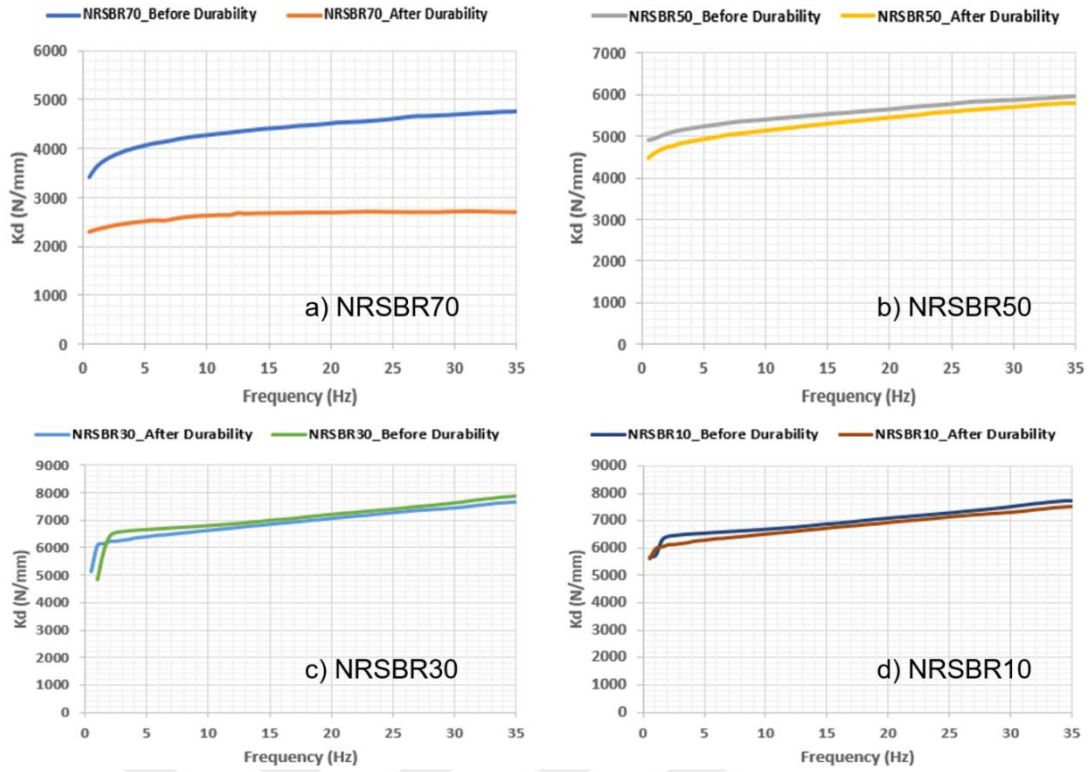
NR/SBR elastomer bazlı farklı formülasyona sahip 4 farklı ürün, belirlenen parametrelerde dayanım testine tabii tutulmuştur. Ürünlerin servis ömrü boyunca performans kaybını ölçmek ve dayanımını belirlemek için yapılan bu dayanım testinden önce ve dayanım testi bittikten sonra parçalar frekans bandında taranıp dinamik stiffness değerlerindeki değişimler ölçülmüştür.



Şekil 4.5 (a) NRSBR70 (b) NRSBR50 (c) NRSBR30 (d) NRSBR10 parçaların dayanım test raporlarının karşılaştırılması.

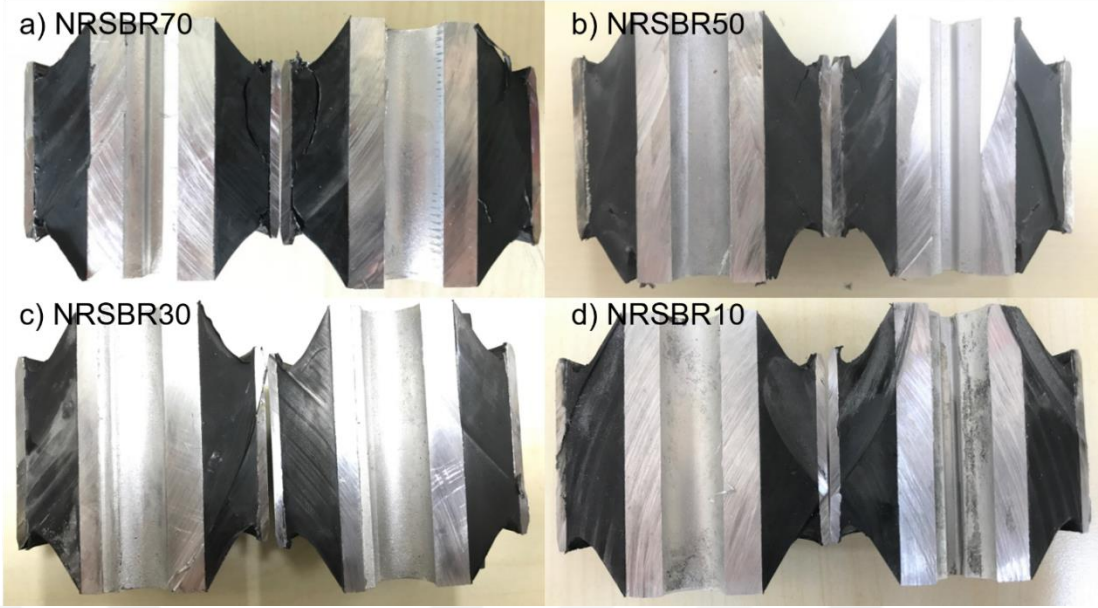
Şekil 4.5 a’da NRSBR70 formülasyonuna ait test sonucu incelendiğinde parçanın dayanım testi boyunca sabit kuvvet altında karşıladığı deplasman miktarı giderek açılmaya başlamıştır. Dayanım testi sırasında yapılan kontroller ve NRSBR70’e ait parçanın grafiği incelendiğinde parçada 200000 çevrimden sonra yarıлма başlangıcı görülmüş, 1250000 çevrimde parçanın yarıлып, yarımanın derinlere ilerlemesinden dolayı dayanım testi sonlandırılmıştır. Dayanım testi öncesi ve sonrası yapılan ve Şekil 4.6 a’da görüleceği üzere dinamik stiffness miktarındaki değişim frekans bandında ortalama %40 mertebelerine ulaşmıştır. Dayanım testi biten parçanın çalıştığı eksen de kesit görünüşü alınıp incelenmiştir. Yine Şekil 4.7 a’da NRSBR70’e ait parçanın kesit görünüşü incelendiğinde ise parçanın kauçuk kısmından yarımanın başlamış ve derinlere doğru ilerlediği görülmektedir.

NRSBR50 formülasyonuna ait parçanın Şekil 4.5 b’deki dayanım testi grafiği incelendiğinde 500000 çevrimden sonra sabit kuvvet altında deplasman miktarının bir miktar artmaya başladığı görülmektedir. Dayanım testi boyunca yapılan kontroller neticesinde 1500000 çevrimde parçadaki yarımanın ilerlemesinden dolayı test sonlandırılmıştır. Şekil 4.6 b’deki NRSBR50’ye ait grafik incelendiğinde dayanım testi öncesi ve sonrası değişimin %5 mertebelerinde kaldığı görülmüş, aynı zamanda Şekil 4.7 b’deki parça kesiti incelenip, yarımanın NRSBR70 parçasına oranla daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6 (a) NRSBR70 (b) NRSBR50 (c) NRSBR30 (d) NRSBR10 parçaların dayanım testi öncesi ve sonrası frekans tarama testleri karşılaştırmaları.

NRSBR30 ve NRSBR10 formülasyonlarına ait parçaların Şekil 4.5 c ve d'deki dayanım test grafikleri birlikte incelenmiş, her iki parçanın da dayanım testi boyunca sabit kuvvet altındaki karşıladıkları deplasman miktarlarının aynı seviyelerde kaldığı görülmüştür. Şekil 4.6 c ve d'deki NRSBR30 ve NRSBR10 parçalarına ait grafikler incelendiğinde NRSBR30'a ait parçanın dinamik yay sabiti değişiminin %3.5, NRSBR10'a ait parçanın dinamik yay sabitinin değişiminin %2.8 olduğu hesaplanmıştır. Bu iki formülasyona ait parçada da dayanım testi boyunca yapılan kontrollerde herhangi bir yarıma tespit edilmediğinden 2000000 çevrim tamamlandığında test sonlandırılmıştır. Yine NRSBR30 ve NRSBR10 formülasyonlarına ait parçaların Şekil 4.7 c ve d'deki kesit görüntüleri incelendiğinde parçalarda herhangi bir deformasyon ve yarımanın olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.7 (a) NRSBR70 (b) NRSBR50 (c) NRSBR30 (d) NRSBR10 dayanım testi sonrası parça kesit görüntüleri.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında doğal kauçuk ve sentetik kauçuk karışımlarının farklı miktarlardaki kombinasyonlarının anti vibrasyon burçlarının mekaniksel özellikleri ve servis ömrü boyunca performans değişimleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada hazırlanan hamur reçetelerinin fiziko-mekaniksel özellikleri incelendiğinde formülasyondaki SBR oranı azaldıkça çekme dayanımı artarken, kopma uzama değerlerinde de azalma görülmüştür. Karışımlara ait sertlik değerlerine baktığımızda da artan NR oranı ile doğrusal bir artış görülmüş, optimum karışım oranından sonra sabit kaldığı görülmüştür. NR kauçuğun mekaniksel özelliklerinin SBR'ye oranla daha iyi olduğu göz önüne alındığında bulunan bu değerler literatürdeki bilgiler ile örtüşmektedir. Vulkanizasyon parametrelerinin optimizasyonuna bakıldığında hazırlanan karışımlardan SBR oranı fazla olan formülasyonlardaki vulkanizasyon parametreleri diğer formülasyonlara göre daha yüksek derecede gerçekleştiği görülmüştür. Oluşturulan formülasyonların statik karakterizasyonları sonucunda elde edilen veriler ışığında artan NR oranıyla birlikte yay sabitleri de belirli bir düzeye kadar artmış buna bağlı olarak ürün ömür performansı için önemli bir gösterge olan histeresis kayıpları da artmıştır. Statik yay sabitleri de göz önüne alınarak ürün ömür performansı açısından NRSBR30 ve NRSBR10 formülasyonlarına ait parçalardan en iyi sonuçlar alınmıştır. Bu iki formülasyonun benzer özellikler gösterdiği fakat histeresis yüzdelerindeki %4.3 'lük değişim dikkate alındığında ise ömür performans kaybına etkisi %1'in altında etki ettiği karşımıza çıkmıştır. NR/SBR karışımı formülasyonlarda bütün veriler birlikte değerlendirildiğinde ürün ömür performansı için en iyi sonuçlar NRSBR30 ve NRSBR10 no'lu formülasyonlar ile elde edilmiş aynı zamanda vulkanizasyon süreleri açısından en uygun sonuçlar alınmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Aftalion, F. & Kent, J.A.** (2012). Handbook of industrial chemistry and biotechnology, 12, 368-370.
- Akiba, M.A., & Hashim, A.S.** (1997). Vulcanization and crosslinking in elastomers. *Progress in polymer science*, 22(3), 475-521.
- Arguello, J.M. & Santos, A.** (2016). Hardness and compression resistance of natural rubber and synthetic rubber mixtures. *In Journal of Physics: Conference Series*, 687(1), 012088.
- ASTM** (2012). *Standard Test Method for Rubber Property- Vulcanization Using Rotorless Cure Meters.* (ASTM D5289). Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/D5289.htm>
- ASTM** (2010). *Standard Test Method for Rubber Property- Durometer Hardness.* (ASTM D2240). Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/D2240.htm>
- ASTM** (2016). *Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension.* (ASTM D412). Retrieved from <https://www.astm.org/Standards/D412.htm>
- Boşnak, B.** (2010). *Kauçuktan Yarı Mamul Üretim Teknolojileri.* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Brentin, R. & Sarnacke, P.** (2011). Rubber Compounds, *Omni Tech International.*
- Brydson, J.A.** (1988). *Rubbers Materials and Their Compounds.* Elsevier.
- Coran, A.Y.** (2013). Vulcanization. *The Science and Technology of Rubber*, 4, 337-381.
- Darı M.E., Akyüz S., ve Bingül Ö.** (2018). Experimental Investigation of Hysteresis Loss in Antivibration Bushings Related to Rubber Formulations, *Otekon'09, 9th International Automotive Technologies Congress*, (pp. 1068-1075). Turkey : Bursa Uludag University, May 7-8.

- Dasgupta, S., Agrawal, S.L., Bandyopadhyay, S., Charakraborty, S., Mukhopadhyay, R., Malkani, R.K., & Ameta, S.C.** (2007). Characterisation of Eco-friendly Processing Aids for Rubber Compound: Part II. *Polymer Testing*, 27, 277-283.
- Datta, S.** (2013). Elastomer Blends. *The Science and Technology of Rubber*, 547–589.
- Durmuş, A., Ülkü, S., Güden, M., ve Otnar, Ö.F.** (2005). Kauçuk/Metal Yapışma Mukavemetinin Belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(1).
- Ebewele, R. O.** (2000). Polymer science and technology, *CRC press*.
- Edge, M., Allen, N. S., Gonzalez-Sanchez, R., Liauw, M. C., Read, S. J., & Whitehouse, R. B.** (1998). The Influence of Cure and Carbon Black on the High Temperature Oxidation of Natural Rubber I. Correlation of Physico-Chemical Changes. *Polymer Degredation and Stability*, 64(2), 197-205.
- Eirich, F.R., Erman, B., & Mark, E.J.** (2005). *Science and Technology of Rubber*. New York, Elsevier.
- Erkek, S.** (2007). *Karbon Siyahı / Yağ ve Karbon Siyahı / Dolgu Maddesi Oranının Farklı Vulkanizasyon Sistemlerinde EPDM, NBR ve SBR Elastomerlerinin Fiziko-Mekaniksel Özelliklere Üzerine Etkisi.* (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Eşiyok, Y.E.** (2019). *Hidrolik Burcun Geometrik Parametrelerinin Sönüm Kabiliyetine Etkisinin İncelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Hamed, G.R.** (1986). Materials and compounds. *Engineering with Rubber: How to Design Rubber Components*, 21, 13-14.
- Hanhi, K., Poikelispaa, M., & Tirila, H.M.** (2007). Elastomeric Materials. *Tampere University of Technology, Tampere*.
- Ibeh, C.C.** (2011). *Thermoplastic materials: properties, manufacturing methods, and applications.* CRC Press.
- ISO** (2006). *Rubber, Assessment of carbon black and carbon black/silica dispersion-Rapid comparative methods.* (ISO 11345). Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:11345:ed-2:v1:en>
- Jubsilp, C., Takeichi, T., & Rimdusit, S.** (2011). Polymerization Kinetics. *In Handbook of Benzoxazine Resins*, 157–174.

- Khairi, N.** (1993). *Rubber as Engineering Material*, Hanser Publishers, Munich, Vienna, New York, Barcelona, 302.
- Kurtman, Ş. ve Göktaş, G.** (2006). *Termoplastik Elastomerler*. (Lisans Tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Zonguldak.
- Kutlak H. ve Uygur İ.** (2014). Ticari Araç Salıncak Düzeninin Sonlu Elemanlar Metodu ile Yorulma Analizi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 235-250.
- Köksal, T., Aba, E., Morgül, K.Ö., ve Fındık, F.** (1998). Farklı Kompozisyonlardaki Lastiğin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 2(1), 57-64.
- Long, J.C.** (2001). The History of Rubber-A Survey of Sources About The History of Rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, 74(3), 493-508.
- Luo, K., Zheng, W., Zhao, X., Wang, X., & Wu, S.** (2018). Effects of antioxidant functionalized silica on reinforcement and anti-aging for solution-polymerized styrene butadiene rubber: Experimental and molecular simulation study. *Materials & Design*, 154, 312–325.
- Marşoğlu, M.** (1986). Plastik Malzemeler. *Arpaz Matbaacılık Tesisleri*, İstanbul.
- Medalia, A.I.** (1978). Effect of Carbon Black on Dynamic Properties of Rubber Vulcanizates, *Rubber Chemistry and Technology*, 51(3), 437-523.
- Megep** (2013). Motorlu Araçlar Teknolojisi Süspansiyon Sistemleri, Ankara, 3-10.
- Mostoni, Milana, Credico, D'Arienzo, & Scotti.** (2019). Zinc-Based Curing Activators: New Trends for Reducing Zinc Content in Rubber Vulcanization Process. *Catalysts*, 9(8), 664.
- Mullins L. & Tobin N. R.** (1969). Softening of Rubber by Deformation. *Rubber Chemistry and Technology*, 42(1), 339-362.
- Nieuwenhuizen, P.J., Reedijk, J., van Duin, M., & McGill, W.J.** (1997). Thiuram- and Dithiocarbamate-Accelerated Sulfur Vulcanization from the Chemist's perspective; methods, materials and mechanisms reviewed. *Rubber chemistry and technology*, 70(3), 368-429.
- Özgün, R.E.** (2010). *Kauçuk-metal burçlarda kauçuk sertliği ve çaplama işleminin kopma mukavemetine etkisinin araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- Öztürk, E.** (2008). *Farklı Kauçuk Karışımlarının Vulkanizasyonuna Hızlandırıcıların Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Qiao, Y. & Salviato, M.** (2019). Strength and Cohesive Behavior of Thermoset Polymers at the Microscale: A Size-Effect Study. *Engineering Fracture Mechanics*, 213, 100-117.
- Simpson, R.B.** (2002). *Rubber Basics*. Shawbury, UK.: Rapra Publishing.
- Rodgers, B. & Waddell, W.** (2013). *The Science and Technology of Rubber*. Houston, Texas.: Academic Press.
- Romano, G.** (2017). *Advanced experimental investigations and finite element analysis of rubber friction on model surfaces and rough substrates*. Göttingen, Germany.: Cuvillier Verlag.
- Saboktakin, A. & Saboktakin, M.** (2016). Improvements of physical, mechanical and biodegradation properties of polybutadiene rubber insulators by chitosan and silica nanoparticles. *International journal of biological macromolecules*, 91, 1194-1198.
- Saçak, M.** (2010). *Polimer Kimyası*. Ankara, Türkiye.: Gazi Kitabevi.
- Savran, H.** (2001). *Elastomer Teknolojisi-1*. İstanbul, Türkiye.: Acar Matbaacılık.
- Smith, L.P.** (1993). *The Language of Rubber: An introduction to the specification and testing of elastomers*. London, UK.: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Soyubol, B.** (2006). *Elastomerlerin Statik ve Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Tepebağ, B.** (2007). *Akselatörlerin Vulkanizasyon Üzerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malatya.
- TS ISO** (2015). *Rubber, Vulcanized-Determination of density*. (TS ISO 2781). Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:2781:ed-5:v1:en>
- Utracki, L.A. & Favis, B.D.** (1989). Polymer Alloys and Blends. *Handbook of polymer science and technology*, 4, 121-185.
- Vahapoğlu, V.** (2006). Kauçuk Türü Malzemeler II. Sentetik Kauçuk. *Journal of Science and Engineering*, 9(1).
- Yıldız, A.R.** (2002). Salıncak Kolunun Optimizasyonu ve Yorulma Analizi, Otekon'02, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Türkiye : Bursa Uludağ Üniversitesi, Haziran 24-26.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : SEHER AKYÜZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.03.1988 Ayancık
E-posta : seherakyuz16@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2007-2012, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü
- **Yüksek Lisans** :2017-halen, Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Biyokompozit Mühendisliği A.B.D

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **06.2017 - 03.2019** : Yamas A.Ş Arge Merkezi, Proses ve Dökümantasyon Uzman Yardımcısı, BURSA
- **11.2016 - 03.2017** : Onan Kimya Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., Araştırma Geliştirme / Arge Proje Uzmanı, BURSA
- **11.2013 - 11.2016** : MYD Grup A.Ş., Araştırma Geliştirme / Arge Sorumlusu, BURSA
- **08.2012 - 03.2013** : Kemitaş A.Ş., Üretim ve Kalite Sistem Sorumlusu, BURSA

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Effects of NR/SBR Ratio on Mechanical Properties and Product Performance of Anti-Vibration Bushings, Journal of Rubber Research (Under review)

DiĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Darı M. E., Akyüz S., Bingöl Ö., (2018). “Experimental Investigation of Hysteresis Loss in Antivibration Bushings Related to Rubber Formulations”, Otekon’09, 9th International Automotive Technologies Congress, Bursa, pp.1068-1075