

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL/KAUÇUK YAPIŞMA MUKAVEMETİNİ ARTTIRAN UYGULAMALAR
ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA



MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUKET BİLGİN

ARALIK 2020

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL/KAUÇUK YAPIŞMA MUKAVEMETİNİ ARTTIRAN UYGULAMALAR
ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Buket BİLGİN

DANIŞMAN: Doç. Dr. Mehmet YETMEZ

ZONGULDAK

Aralık 2020

KABUL:

Buket BİLGİN tarafından hazırlanan “Metal/ Kauçuk Yapışma Mukavemetini Arttıran Uygulamalar Üzerine Bir Çalışma” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 28.12.2020

Danışman: Doç. Dr. Mehmet YETMEZ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KOÇAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Şenol AVCI

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./.../2020

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Buket BİLGİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

METAL/KAUÇUK YAPIŞMA MUKAVEMETİNİ ARTTIRAN UYGULAMALAR ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Buket BİLGİN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet YETMEZ

Aralık 2020, 83 sayfa

Kauçuğun günümüzde çok geniş bir kullanım alanı vardır. Özellikle titreşim absorbe etme özelliği sebebiyle otomotiv endüstrisinde de pek çok noktada kullanılmaktadır. Başlıca taşıt lastiklerinde olmak üzere, burçlarda, motor takozlarında ve bağlantı borularında kullanılan kauçuk parçaların pek çoğu malzeme yapısının yeterince iyi bilinmemesinden dolayı deneme yanılma yöntemleri ile tasarlanmaktadır. Bu çalışma, otomotiv sektöründe kullanılan metal/kauçuk birleşik malzemelerde yaşanan mukavemet sürekliliği ve servis ömrü iyileştirilmesi üzerine üretim ve metot yaklaşımlarının kıyaslanmasını amaçlayan bir çalışmadır.

Tek bir Vulkanizasyon sisteminde üç farklı kauçuk tipi kullanılarak metal – kauçuk kompozit silindirler elde edilmiştir. Bu kompozit silindirlerde kullanılan kauçuk tipleri için, kauçuk karakteristikleri incelenmiştir. Kauçuk tiplerinin kompozit silindirlerin kauçuk/metal birleşmesinde gösterecekleri yapışma mukavemeti mekanik testler ile incelenmiştir. Elde edilen gruplar, mukavemet sürekliliği ve servis ömrü değerlerinin elde edilebileceği mekanik test ve modelle kıyaslanmıştır.

ÖZET (devam ediyor)

Bu çalışma kapsamında otomotivde kullanılan silindirik kompozitlerin viskoelastik modellemesi yapılarak sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Vulkanizasyon, İkili malzeme, Metal/kauçuk ara bağlantısı, Bağlayıcı, yapışma mukavemeti

Bilim Kodu: 625.01.04



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

A STUDY ON APPLICATIONS FOR IMPROVING METAL/RUBBER ADHESION STRENGTH

Buket BİLGİN

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineer**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet YETMEZ

December 2020, 83 pages

Today, rubber has a large usage capacity in the world. Especially, it is preferable in many structural points in automotive industry due to its vibration absorbing features. Most of the rubber parts used in vehicle tires, bushings, engine mounts and connection pipes are designed by trial and error methods, since the material structure is not known well enough. In this study, a comparable method is considered to improve durability and service life experienced in metal / rubber composite materials used in the automotive industry.

Metal - rubber composite cylinders were obtained by using three different types of rubber in a single vulcanization system. For the types of rubber used in these composite cylinders, the rubber characteristics were then examined. And, adhesion strength of the rubber types at the rubber / metal joints of the composite cylinders were handled with their mechanical performance. Results were discussed to find out an approach on strength continuity and service life.

ABSTRACT (continued)

At the end, experimental results were compared with numerical results of the viscoelastic model.

Keywords: Vulcanization, bimaterial, metal/rubber intersection, adhesion, bond strength

Science Code: 625.01.04.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Mehmet YETMEZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yine eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen Araştırma Görevlisi Utku UZUN'a çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmalarımı yürütmemde gerekli ortamı sunan, başta Yönetim Kurulu Başkanı İrfan CİVAK olmak üzere; Genel Müdür Yardımcısı Onur ATAMAN'a, Üretim ve ÜRGE Direktörü Orkun DEMİR'e, ARGE ve Karışım Hazırlama Yöneticisi Sıdıka SARAÇ TABAKLI'ya ve tüm Cilas Teknik Kauçuk A.Ş çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmalarım süresince benden yardımlarını esirgemeyen Kalite Kontrol ve Laboratuvar ekip arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme, özellikle de annem Binnaz ve babam Mehmet BİLGİN'e ve nişanlım Murat Oğuzhan GİDER'e teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
1.1 KAÜÇUK KAVRAMI.....	2
1.2 KAÜÇUK NASIL ELDE EDİLİR	3
1.3 KAÜÇUĞUN TARİHÇESİ	4
1.4 KAÜÇUĞUN KULLANIM ALANLARI.....	6
1.5 KAÜÇUK ÇEŞİTLERİ	8
1.5.1 Doğal Kauçuk (NR)	8
1.5.2 Stiren Bütadien Kauçuklar (SBR)	10
1.5.3 Akrilonitril Bütadien Kauçuklar (NBR)	11
1.5.4 Etilen- Propilen Kauçuklar (EPDM)	13
1.6 KARIŞIM HAZIRLAMA PROSESİ	14
1.6.1 Dolgu Maddeleri	16
1.6.1.1 Karbon Siyahı.....	17
1.6.1.2 Mineral Dolgu Maddeleri.....	17
1.6.2 Yumuşatıcılar.....	18
1.6.3 Proses Kolaylaştırıcılar ve Koruyucu Kimyasallar.....	19
1.6.4 Aktivatörler.....	20
1.6.5 Akselatörler (Pişiriciler)	20
1.6.6 Uygulama.....	20

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
1.7 KAUÇUK – METAL BAĞLAYICI PROSES.....	24
1.7.1 Yapışma Hata Türleri	28
1.7.1.1 Kauçuk ve Yapıştırıcının Birbirinden Ayrılması	28
1.7.1.2 Yapıştırıcının Metalden Ayrılması.....	28
1.8 VULKANİZASYON.....	29
1.8.1 Vulkanizasyon Çeşitleri.....	31
1.8.1.1 Kükürt Vulkanizasyonu.....	32
1.8.2 Kalıplama.....	33
1.8.2.1 Enjeksiyon.....	33
1.8.2.2 Kompresyon	37
1.8.2.3 Transfer	38
BÖLÜM 2 MATARYEL VE YÖNTEM.....	39
2.1 MATARYEL	39
2.1.1 Kullanılan Kauçuk Reçete Bilgileri.....	39
2.1.2 Kullanılan Test Cihazları	40
2.1.2.1 Kauçuk Testlerinde Kullanılan Test Cihazları	40
2.1.2.2 Ürün Testlerinde Kullanılan Test Cihazları	41
2.1.3 Kullanılan Metal Yarı Mamuller	42
2.2 YÖNTEM	43
2.2.1 Kauçuk Testlerinin Yapılması	43
2.2.1.1 Çekme Kopma Testi.....	45
2.2.1.2 Sertlik Testi	46
2.2.2 Kauçuk – Metal Silindirik Kompozitlerinin Hazırlanması.....	47
2.2.3 Mekanik Testlerin Yapılması.....	56
2.2.4 Sonlu Elemanlar Analizinin Yapılması	58
BÖLÜM 3 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	65
3.1 RHEOMETRE TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ.....	65
3.2 ÇEKME KOPMA TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ.....	66

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

3.2.1 NK Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	66
3.2.2 NBR Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	67
3.2.3 SBR Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	68
3.2.4 EPDM Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının İncelenmesi	69
3.2.5 Kauçuk Tiplerinin Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	69
3.3 EKSENEL VE RADYAL STATİK TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ.....	71
3.4 SONLU ELEMANLAR YÖNETİMİ İLE YAPILAN EKSENEL VE RADYAL TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ	74
3.5 MEKANİK TEST SONUÇLARI İLE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNDE YAPILAN RADYAL VE EKSENEL TEST SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	75
BÖLÜM 4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR.....	79
BİBLİYOGRAFYA	81
ÖZGEÇMİŞ	83



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Çapraz Bağlanmış Polimer Yapısı	2
Şekil 1.2 Kauçuk Ağacından Lateks Sıvısının Ağaca Bağlı Bulunan Kaba Aktarılması	4
Şekil 1.3 1950 Yılında Kullanılan İlk Araç Lastikleri	7
Şekil 1.4 Tank Paleti	8
Şekil 1.5 Hortum	8
Şekil 1.6 Elektronik Parçalar.....	8
Şekil 1.7 Spor Aletlerinin Parçaları.....	8
Şekil 1.8 Doğal Kauçuk.	8
Şekil 1.9 Doğal Kauçuğun Yapısı	9
Şekil 1.10 Stiren Bütadien Kauçuk (SBR).....	10
Şekil 1.11 Stiren Bütadien Kauçuğun (SBR) Üretim Reaksiyonu.....	10
Şekil 1.12 SBR ile Yapılan Malzemeler	11
Şekil 1.13 NBR Elde Etme Reaksiyonu.....	12
Şekil 1.14 Nitril Kauçukla Üretilen Mühür, Kaşe, Oyuncak Lego ve Hortum.....	13
Şekil 1.15 Etilen Propilen Kauçuk (EPM) Elde Etme Reaksiyonu.....	13
Şekil 1.16 EPDM ile Yapılan Profiller ve Hortum.	14
Şekil 1.17 Yan Kesitten Karışım Hazırlama Fabrika Görüntüsü.	21
Şekil 1.18 Yandan Görünüm	21
Şekil 1.19 Yukarıdan Görünüm.	21
Şekil 1.20 Kauçuk Tartım Bandı ve Kontrol Panosunun Bulunduğu Üst Kat.	22
Şekil 1.21 Dikeyden Görünüm.....	22
Şekil 1.22 Banbury Platformunun Bulunduğu Ara Kat.	23
Şekil 1.23 Banbury Makinası.	23
Şekil 1.24 Silindir Ön Şekillendirme ve Soğutma İstifleme Katı.	24
Şekil 1.25 Vulkanizasyon Bağlanma Sürecinin Şeması.....	25
Şekil 1.26 Bir Varsayımsal Yapışma Bağı.....	28
Şekil 1.27 Ağ Oluşumu	29
Şekil 1.28 Vulkanizasyon Derecesine Göre Vulkanizat Özellikleri.	30

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.29 Çapraz Bağ Yoğunluğu ile Değişen Fiziksel Özellikler.	31
Şekil 1.30 Kükürt Yapılarının Şematik Gösterimi.	32
Şekil 1.31 Enjeksiyonla Kalıplama Makinesi.	35
Şekil 1.32 Yatay Enjeksiyon Presi	35
Şekil 1.33 Dikey Enjeksiyon Presi	36
Şekil 1.34 Baskılı Kalıplama.....	37
Şekil 1.35 Transfer Kalıplama	38
Şekil 2.1 MonTech 3000 Basic Rheometre Test Cihazı.	40
Şekil 2.2 Zwick Roel Üniversal Test Cihazı 2,5 kN.	41
Şekil 2.3 Zwick Roel Üniversal Test Cihazı 50 kN.	41
Şekil 2.4 Ø35/28X70 MM-ST37 (İç Boru).	42
Şekil 2.5 Ø67/60X70 MM-ST37 (Dış Boru).....	42
Şekil 2.6 Metal – Kauçuk Kompozit Silindirin İzometrik Görünüşü.	43
Şekil 2.7 Vulkanizasyon Eğrisi.	44
Şekil 2.8 Vulkanizasyon Eğrisi	45
Şekil 2.9 Çekme – Kopma Testinde Kullanılan Tip 2 Test Numunesi.	46
Şekil 2.10 Sertlik Ölçümünde Kullanılan Dijital Durometre	47
Şekil 2.11 İç Borunun Kumlamasında Kullanılan Kumlama Makinası.	48
Şekil 2.12 Kumlama Makinası Askılarına Yerleştirilen İç Boru Metal Yarı Mamülü.	49
Şekil 2.13 Kumlanmış İç Boru Metal Yarı Mamul Görseli.	49
Şekil 2.14 Dış Borunun Kumlamasında Kullanılan Kumlama Makinesi.	50
Şekil 2.15 Kumlama Makinesine Yerleştirilen Dış Boru Metal Yarı Mamülü.....	50
Şekil 2.16 Kumlanmış Dış Boru Metal Yarı Mamul Görseli.	51
Şekil 2.17 Chemosil 211 ile Boyanan Dış Boru Yarı Mamülü.	52
Şekil 2.18 Chemosil 211 ile Boyanan İç Boru Yarı Mamülü.	52
Şekil 2.19 Chemosil 411 ile Boyanan Dış Boru Yarı Mamülü.	53
Şekil 2.20 Chemosil 411 ile Boyanan İç Boru Yarı Mamülü.	53
Şekil 2.21 Kompresyon Presi	54
Şekil 2.22 Tranfer Kalıbı.....	54
Şekil 2.23 Plaka Kauçuğun Transfer Haznesine Yerleştirilmesi.	55
Şekil 2.24 Vulkanizasyonu Tamamlanmış Kauçuk – Metal Silindirik Kompozit Görseli.	56
Şekil 2.25 Eksenel Test Aparatına Bağlanmış Ürün Görseli.	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.26 Radyal Test Aparatına Bağlanmış Ürün Görseli.....	58
Şekil 2.27 Sonlu Elemanlar Analizinin Sekmesinin Açılması.	59
Şekil 2.28 Modelin Programda Dört Yüzlü Geometrilere Bölünmesi Görseli.....	60
Şekil 2.29 Metal – Kauçuk Yapıştırıcı Ajan Uygulama Yüzeyinin Programda Tanıtılması. .	60
Şekil 2.30 Yapıştırıcı Ajan Yüzeyinin Seçimi.....	61
Şekil 2.31 Kauçuk Malzemelerinin Oluşturulması.....	61
Şekil 2.32 Kuvvet Tipinin Seçimi.	62
Şekil 2.33 Analiz Sonrası Metal – Kauçuk Silindirik Kompozit Görseli.....	63
Şekil 3.1 Rheometre Test Sonuçlarının Karşılaştırmalı Grafiği.	66
Şekil 3.2 Kauçuk Tiplerine Göre Eksenel Test Sonuçlarının Karşılaştırmalı Grafiği.	72
Şekil 3.3 Kauçuk Tiplerine Göre Radyal Test Sonuçlarının Karşılaştırmalı Grafiği.....	73
Şekil 3.4 Kauçuk – Metal Silindirik Kompozitlerde Açma Hatası Görselleri.	74



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Dolgu Malzemelerinin Kauçuk Testlerine Etkisi.....	16
Çizelge 1.2 Karbon Siyahı Çeşitleri ve Özellikleri	17
Çizelge 2.1 Kauçuk Reçete Bilgileri Çizelgesi.	39
Çizelge 2.2 Kumlama Süreleri Çizelgesi.	51
Çizelge 2.3 Kauçuk Tiplerine Göre Vulkanizasyon Parametreleri.	55
Çizelge 2.4 Test Parametreleri.	57
Çizelge 3.1 Rheometre Test Parametreleri.....	65
Çizelge 3.2 Rheometre Test Sonuçlarının Karılaştırmalı Tablosu.....	65
Çizelge 3.3 NK Yaşlandırma Öncesi Çekme – Kopma Test Sonuçları.	66
Çizelge 3.4 NK Yaşlandırma Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçları.	66
Çizelge 3.5 NK Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	67
Çizelge 3.6 NBR Yaşlandırma Öncesi Çekme – Kopma Test Sonuçları.....	67
Çizelge 3.7 NBR Yaşlandırma Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçları.....	67
Çizelge 3.8 NBR Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	67
Çizelge 3.9 SBR Yaşlandırma Öncesi Çekme – Kopma Test Sonuçları.	68
Çizelge 3.10 SBR Yaşlandırma Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçları.	68
Çizelge 3.11 SBR Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.	68
Çizelge 3.12 EPDM Yaşlandırma Öncesi Çekme – Kopma Test Sonuçları.....	69
Çizelge 3.13 EPDM Yaşlandırma Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçları.....	69
Çizelge 3.14 EPDM Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.	69
Çizelge 3.15 Kauçuk Tiplerinin Yaşlandırma Öncesi Kopma Mukavemeti Değerlerinin Karşılaştırılması.....	69
Çizelge 3.16 Kauçuk Tiplerinin Yaşlandırma Öncesi Kopma Uzaması Değerlerinin Karşılaştırılması.....	70
Çizelge 3.17 Kauçuk Tiplerinin Yaşlandırma Sonrası Kopma Mukavemeti Değişiminin Karşılaştırılması.....	70
Çizelge 3.18 Kauçuk Tiplerinin Yaşlandırma Sonrası Kopma Uzaması Değişiminin Karşılaştırılması.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.19 Kauçuk Tiplerine Göre Eksenel Test Sonuçları.....	72
Çizelge 3.20 Kauçuk Tiplerine Göre Eksenel Test Sonuçları Nominal Değer ile Karşılaştırılması.	73
Çizelge 3.21 Kauçuk Tiplerine Göre Radyal Test Sonuçları.	73
Çizelge 3.22 Kauçuk Tiplerine Göre Radyal Test Sonuçları Ortalaması.	74
Çizelge 3.23 Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminde Kauçuk Tiplerine Göre Eksenel Test Sonuçları ve Sapma Değerleri.....	74
Çizelge 3.24 Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminde Kauçuk Tiplerine Göre Radyal Test Sonuçları ve Sapma Değerleri.....	75
Çizelge 3.25 Eksenel Statik Test Sonuçları ile Sonlu Elemanlar Yöntemi Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.	75
Çizelge 3.26 Radyal Statik Test Sonuçları ile Sonlu Elemanlar Yöntemi Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: Santigrat Derece
dk	: Dakika
h	: Saat
g	: Gram
kN	: Kilonewton
m ² /g	: 1 gramın yüzey alanı
mm	: Milimetre
ML	: Minumun Tork
MH	: Maksimum Tork
MPa	: Megapaskal
nm	: Nanometre
Nm	: Newton metre
N/mm	: Yaylanma Katsayısı
Tg	: Geçiş Sıcaklığı
ts2	: Ön Vulkanizasyon (scorch) zamanı
t90	: Maksimum tork değerinin %90'ına ulaştığı zaman
Shore A	: Kauçuk sertlik birimi
S	: Kükürt Atomu
°	: Derece
%	: Yüzde

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Derneği)
BR	: Bütadien Kauçuk

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

CR	: Kloropren Kauçuk
EPDM	: Etilen- Propilen Kauçuk
IR	: İzopren Kauçuk
IIR	: Bütil Kauçuk
MONOMER	: Polimerin en küçük birimidir
NBR	: Akrlonitril Bütadien Kauçuk
NR	: Doğal Kauçuk
REÇETE	: Maksada uygun olarak seçilmiş ve birbirleriyle oransal bir bütünlük sağlamış maddeler topluluğu
SBR	: Stiren Bütadien Kauçuk
phr	: Yüz kısım kauçuk başına (Part per hundred rubber)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

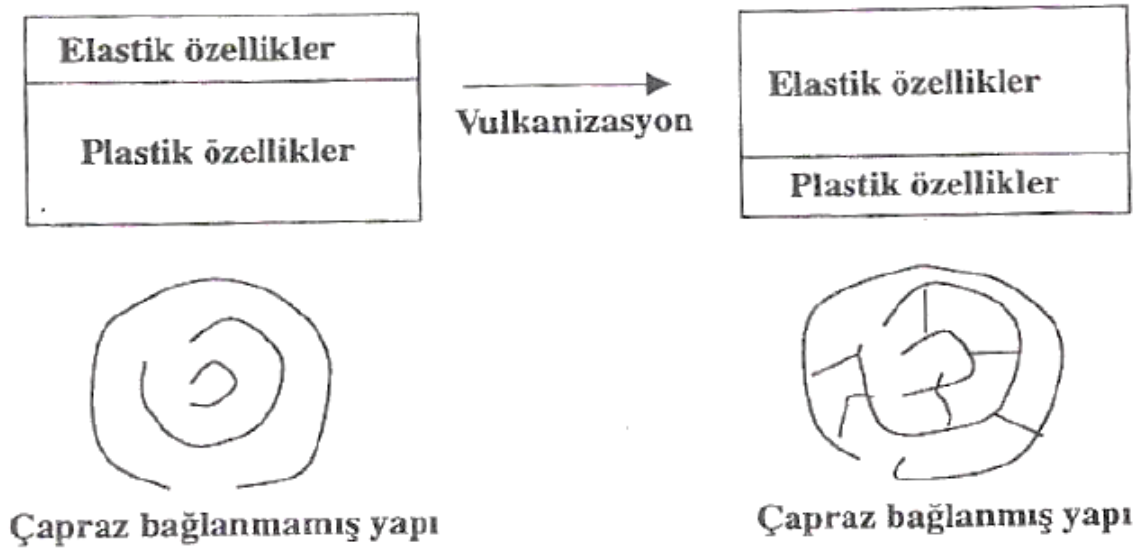
Kauçuk malzemelerle ilgili yapılan literatür araştırmasında kauçuk reçetesi içerisine ilave edilen kimyasalların, Vulkanizasyon tiplerinin, kauçuk – metal birleşimi ürünlerde metalin yüzey işlemlerinin ve yüzey temizleme operasyonlarının, sertlik değerinin ve çaplama işleminin kauçuk – metal yapışma mukavemetine etkisinin incelendiği görülmüştür.

Bu çalışmada, tek bir Vulkanizasyon sisteminde dört farklı kauçuk tipi (NR, NBR, SBR, EPDM) kullanılarak elde edilen metal – kauçuk silindirik kompozitlerde kauçuk – metal yapışma mukavemeti incelenmiştir. Bu silindirik kompozitlerde kullanılacak kauçuk tiplerinin sertlik, rheometre ve çekme kopma testleri yapılarak kauçuk malzemenin karakteristikleri incelenmiştir. Kauçuk – metal silindirik kompozitlerinde kullanılan metal yarı mamullerin yüzey pürüzlülüğünü sabit tutmak için kumlama süresi 9 dk olarak sabitlenmiştir. Yine aynı şekilde kauçuk tiplerinin metal - kauçuk yapışma mukavemetini üzerindeki etkisini inceleyebilmek için yapıştırıcı türü olarak Chemosil 211 ve Chemosil 411 de yapıştırıcı ajanı olarak sabit tutulmuştur. Her bir kauçuk tipi için öngörülen Vulkanizasyon parametreleri doğrultusunda kauçuk – metal silindirik kompozitleri elde edilmiştir. Elde edilen kauçuk – metal silindirik kompozitlerin gösterecekleri kauçuk – metal yapışma mukavemetine kauçuk tiplerinin etkisi mekanik testler ile incelenmiştir. Yapılan kauçuk testlerinden elde edilen veriler kullanılarak sonlu elemanlar analiz yönteminde malzeme tanımlanmıştır ve kauçuk – metal silindirik kompozitlerin mekanik testleri model üzerinde tekrarlanmıştır. Mekanik test sonuçlar ve sonlu elemanlar analiz yönetiminden elde edilen test sonuçları kıyaslanmıştır.

1.1 KAUÇUK KAVRAMI

Günümüz teknolojisinde kauçuk malzemeler geniş kullanım alanına sahip titreşim sönümleyicisi olarak kullanılan lastik malzemelerin hammaddesini oluşturmaktadır.

Esas itibariyle kauçuk, bitkisel kaynaklı bir özdür. İçerisine katılan çeşitli kimyasal maddeler ile elastiklik özelliği kazanmaya hazır bir hammadde haline getirilirler [1]. İşlenmemiş kauçuk, elastiklik özelliği zayıf, üzerine uygulanan kuvvetle şekil alan ve kuvvet kaldırıldığında ilk haline dönemeyen bir yapıya sahiptir [B1, 2'den]. Kauçuklar çapraz bağlanmamış ama çapraz bağlanabilme özelliğine sahip, yani vulkanize olabilen polimerlerdir. Yüksek sıcaklıkta ve deforme edici kuvvetlerin etkisi altında koyu sıvımsı akış özelliği gösterirler. Böylece uygun şartlarda şekillendirilebilirler. Lastik kavramı, yukarıda tarifi yapılan elastomer kavramı ile eş anlamlıdır. Vulkanize olmuş kauçuk, sıcaklık ve kuvvet etkisiyle boylarının en az iki katına kadar uzar ve kuvvet ortadan kalktığında orijinal boyutlarına geri dönebilirler [1].



Şekil 1.1 Çapraz Bağlanmış Polimer Yapısı [B2].

Endüstriyel preslerde parametre olarak belirlenen sıcaklık, basınç ve sürelerde ham kauçuk vulkanize edilerek, mekanik uygulamalarda titreşim sönümleyici olarak kullanılabilen elastiklik özelliği yüksek bir mühendislik malzemesi haline gelir. Çapraz bağlanabilme özelliği Vulkanizasyon'la açıklanabilir. Vulkanizasyon, kauçuğun kimyasal yapı değişikliğine uğrayarak (çapraz bağlanma reaksiyonu) ve geri dönüşümsüz olarak elastik özelliklere sahip

bir duruma gelmesi ve getirilmesi işidir. Vulkanizasyon öncesi yüksek plastik özellikler, Vulkanizasyon sonrası yerini yüksek elastik özelliklere bırakır [1].

Otomotiv sektöründe insan hayatı için çok önemli ve fonksiyonel parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Akaryakıt ve fren hortumları, cam silecekleri, transmisyon kayışları, contalar, aks körükleri, radyatör ve hava hortumları, kapı ve cam profilleri, salınım titreşim takozları, ızalasyon elemanları bunlara örnek olarak verilebilir [3]. Kullanım alanlarındaki görevleri darbe, ses ve titreşim önlemek, sızdırmazlık, sıvı iletimi, araç lastiği, iletkenlik / yalıtkanlık şeklinde özetlenebilir.

1.2 KAÜÇUK NASIL ELDE EDİLİR

Kauçuk malzemesi sıcak ve nemli bölgelerde yetişen kauçuk ağacından (Hevea brasiliensis) elde edilir [4]. Kauçuk ağacı Kapalıtohumlular altşubesinin ikiçenekliler sınıfının Ayrıtacıyapraklılar takımından bir bitkidir. İnce, uzun bir ağaçtır. Gövdesi düzgündür, açık renktir; genişliği 75-100 santimetre arasındadır. Boyu ise, 20-25 metreyi bulur [5].

Doğal lateks kauçuğunun %90'ı bu ağacın öz suyundan elde edilir. Meksika ve ABD'de guayule ağacından da lateks elde edilir. Bir diğer doğal kauçuk olan çikl ise sapodilla ağacından elde edilir. Çiklden vulkanizasyonla sert kauçuk elde edilmez.

Bitkinin kauçuk içeren öz suyuna lateks denir [4]. Bu sıvıya, koyu bir sütü andırdığı için, lateks adı verilmiştir. «Lateks» latince «süt» demektir [5].

Kauçuk ağacı beş yaşına gelinceye kadar pek az kauçuk verir. En verimli çağı ise, 7-12 yaşları arasındadır. 30 yıl boyunca kauçuk veren kauçuk ağaçlarına bile rastlanmıştır [5].

Lateks yapışkan, sütlü kolloidal bir yapıda olup elde edilebilmesi için ağaç kabuğunun V şeklinde yarılarak sıvının akması sağlanır [4]. Lateks kendi haline bırakılırsa, süt gibi ekşir; içindeki kauçuk taneleri pıhtılaşarak kötü bir koku çıkarırlar [5]. Akan sıvı ağaca bağlı bulunan bir kaba aktarılır ve elde edilen sıvının içerisine genellikle formik asit eklenir. Latex'teki kauçuk parçacıklarının çapları, 0.1-50 mikron arasında değişir. Bu parçacıklar, negatif yüklüdür. Bu nedenle latex, asetik ya da formik asitle muamele edilerek parçacıklar çöktürülür. Lateks havayla temas ettiğinde koyulaşarak katılaşır. Bunun önüne geçmek için

sıvı kauçuk, amonyak ile karıştırılır. Sonrasında hava ile teması kesilir. Lateks yaklaşık otuz dakika içerisinde pıhtılaşır. Lateks pıhtılaştıktan sonra elastik bir hamur görünümü alır. Lateksteki fazla suyun giderilmesi için iki silindir arasına alınarak haddeleme işlemi gerçekleştirilir. Bu aşamadan sonra içeriğinde bulunan formik asidin lateksten tamamıyla uzaklaştırılması için durulama işlemi yapılır ve askılarda kurutma uygulanır [4].



Şekil 1.2 Kauçuk Ağacından Lateks Sıvısının Ağaca Bağlı Bulunan Kaba Aktarılması [4].

Askılarda ortalama beş saat bekletilen lateks kuruma sonrasında daha sağlam ve sert bir yapıya ulaşır. Rengi koyulaşan lateksin yıkayıcılarda iyice temizlenmesi sağlanır. Elde edilen ürün küflenmemesi için tuğla fırınlarda 45 gün kadar bekletilir. Bu işlemin ardından elde edilen kauçuk, daha az yer kaplaması için presleme işlemine alınır ve depolara gönderilir. Buradan elde edilen lateksin yaklaşık %35'i kauçuktur [4].

Kauçuğun lastik hâline gelebilmesi için kükürt elementi gibi kimyasal maddelerle karışması gerekir, içerisinde yaklaşık %12-20 oranında kükürt bulunan kauçuklara lastik adı verilir. Kauçuk içerisindeki kükürt oranı (%30 gibi) fazla olursa elektrik yalıtkanı olarak kullanılan bir ürün elde edilir. Kauçuk ağaçlarının ekonomik ömrü yaklaşık otuz yıldır. Bunun yaklaşık yedi yılı olgunlaşma süreci, geriye kalan da salgısını kullanabildiğimiz üretim safhasıdır [4].

1.3 KAUCUĞUN TARİHÇESİ

Doğal kauçuk yüzyıllarca sıradan amaçlarla kullanılmıştır. Kauçuk, kauçuk ağacından elde edilen dayanıklı, esnek bir maddedir [5]. Yüzyıllar önce, Güney Amerika'da İnkalar,

giydikleri sandaletlerin tabanını kauçukla kaplayarak su geçirmeyen ayakkabılar, Aztekler ise içi boş kauçuk heykeller yaparlardı [4]. Kauçukla ilk tanışan Kristof Kolomb olduğu kabul edilir [5]. Kristof Kolomb, 15. yüzyılın sonlarına doğru Güney Amerika'ya gittiğinde, yerlilerin küre şeklinde cisimlerle oyun oynadığını ve bu cisimlerin yerden sektiğini gözlemledi. Yerlilerin bu cisimleri “cau-uchu” ismini verdikleri ağaçlardan elde ettiklerini öğrendi. Yerliler ağaçtan elde ettikleri malzemeyi sertleştirmek için palmiye cevizlerinin dumanında tütsülüyorlardı. Kelimenin kökeni Keçuva dilindeki “Kauchuk” sözcüğü olup “ağlayan ağaç” anlamına gelir. Kolomb, yanında bir miktar kauçuğu Avrupa'ya götürdüyse de o dönem altın ve gümüşe olan ilgiden dolayı kauçuk göz ardı edilmiş [4].

1730'lu yılların ilk yarısında, Fransız kimyager Charles-Marie de la Condamine'in Fransız Bilimler Akademisine kauçuk örnekleri göndermesiyle Avrupa'da kauçuk bilinmeye başlandı. 1751'de François Fresneau'nun kauçuğun birçok özelliğini tanıttığı makalesi, kauçuk ile ilgili ilk bilimsel makale olarak kabul ediliyor [4].

19 yy. başlarında Thomas Hancock kauçuğa biçim verilmesini sağlayan mekanik işleme yöntemlerini geliştirdi. 1820'de İngiltere' de ilk kauçuk fabrikası kuruldu. 1823'te Charles Machintos kumaşı kauçukla kaplayarak su geçirmez yapmak için pratik bir yöntem geliştirdi. Bununla birlikte doğal kauçuk hemen hemen hiç çapraz bağ içermediği için ısınınca yapışkanlaşıyordu, soğuyunca da sertleşiyordu.

Michael Faraday, 1826 yılında doğal kauçuğun kimyasal formülünü ortaya koydu [4]. Michel Faraday polimerler adı verilen molekül sınıfını bilmemesine karşın, doğal kauçuğun izopren adı bir kimyasal bileşiğin birimlerinden oluştuğunu buldu.

1839 yılına gelindiğinde ise kauçuk işlemede önemli bir aşamaya geçildi. Kauçuk çok yüksek sıcaklıklarda eriyor, düşük sıcaklıklarda ise parçalanıyordu. Charles Goodyear bu sorunu geliştirdiği Vulkanizasyon yöntemi ile çözdü [4]. Vulkanizasyon, kauçuk içindeki çift bağlı karbon atomları arasına kükürt elementinin yerleşerek çapraz bağ yapmasıdır [6]. Vulkanizasyon öncesinde yüksek plastik özelliklere sahip olan kauçuk, Vulkanizasyon sonrasında yüksek elastik özelliğe sahip olur [4]. Charles Goodyear kauçuğun güçlendirilmesine çok büyük ivme sağlayacak Vulkanizasyon işlemini tesadüfen bulmuştur. Goodyear, kauçuğu güçlendirmek için yaptığı çalışmalar esnasında tesadüfen kauçuk-kükürt karışımının ateşe temas etmesi sonucu kauçuğun güçlendirdiği fark edilmiştir. Kükürt ve

kurşun katılarak ısıtıldığında, kauçuğun sıcaklık değişimine daha az duyarlı olduğunu gözlemlemiştir [7]. Charles Goodyear'ın bir rastlantı sonucu bulduğu kükürtleme yöntemi, üretimde kullanılmaya uygun sağlam bir esnek bir gereç elde edilmesini sağladı. Goodyear'ın kauçuğu kükürtle ısıtılmaya dayanan ve çapraz bağlanmaya neden olan kükürtleme işlemi bazı değişikliklerle günümüzde de kullanılmaktadır [8].

Kauçuğun sağlamlığı bu şekilde artırıldıktan sonra J. Dunlop'un lastik tekerleği icat etmesiyle, kauçuktan tekerlek üretilmeye başlandı ve kullanımı arttı. O dönemlerde kauçuk yalnızca Güney Amerika'da üretiliyordu. 1876 yılında İngiliz kâşif Henry Wickham, 70.000 kadar kauçuk ağacı tohumunu gizlice Brezilya'dan İngiltere'ye kaçırdı. Bu tohumların 2.400 kadarı çimlendi. Sonrasında bunlardan yararlanarak Sri Lanka, Singapur ve Afrika'da kauçuk plantasyonları kurdu. Yirminci yüzyılın ilk çeyreğine gelindiğinde kauçuk üretiminin çoğu Güney Amerika'dan Asya'ya kaymıştı [4].

Birinci Dünya Savaşı sırasında Almanya'nın doğal kauçuk kaynaklarına ulaşması zorlaştı ve bunun üzerine Alman bilim insanları kauçuğa benzer bir madde olan metil kauçuğu sentezlemeyi başardı. Ancak bu madde kauçuk kadar kullanışlı değildi ve üretimi maliyetliydi. 1930'lara gelindiğinde bilim ve teknolojiye bağlı olarak kauçuğun moleküler yapısı ortaya çıkarıldı. Bu keşfin ardından yapay kauçuk çalışmaları ve üretimi arttı. İkinci Dünya Savaşı sırasında, uçaklar ve diğer taşıtların tekerlekleri için kauçuğa ihtiyaç duyulması sentetik kauçuk üretimini büyük ölçüde artırdı [4].

1960 yılından sonra birçok ülke yapay kauçuk üretimine başlamıştır. Stirenbutadien kauçuğu günümüzde üretilen en önemli yapay kauçuktur. Yüksek kimyasal direnç için kullanılan policolopren ya da neopren ve çok yüksek sıcaklıklar için kullanılan silikon, yağlar için nitril ya da akrilnitril silikon kauçuklar bunlara örnek gösterilebilir [7].

1.4 KAUÇUĞUN KULLANIM ALANLARI

Doğal kauçuk üretiminde sağlanan gelişmeler otomotiv sanayinin gelişmesiyle aynı döneme rastlamaktadır. Oto lastiği üretimi için kauçuğa duyulan ihtiyacın büyük boyutlara ulaşması, kauçuk sanayinin hızla gelişmesini sağladı. Günümüzde üretilen kauçuğun %60'ı lastik üretiminde kullanılır [7].

Doğal ve yapay kauçuk birbirlerine göre daha üstün nitelikli sayılmazlar, her birinin kendine özgü özellikleri ve fiyatı vardır. Üretici üreteceği malın gereklerine göre seçim yapar, örneğin uçak lastikleri %100 doğal kauçuktan imal edilmektedir, bununla birlikte doğal kauçuk aşırı çevre koşullarında iyi değildir. Söz gelimi yağa dayanması gereken yerlerde conta olarak kullanılmazlar. Ayrıca ozon yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde doğal kauçuk kullanılmaz, ama bozulma olasılığı az olduğundan motor destek takozu gibi mühendislik gerektiren yerlerde yaygın olarak kullanılır [7].

Üstün özellikleri nedeniyle doğal kauçuk günümüzde değerini korumaktadır. Ancak sentetik kauçukların endüstriyel amaçlı kullanılması, daha yaygın ve sık kullanılabilen malzemeler hâline gelmesini sağlamıştır. Otomotiv lastikleri, kimya endüstrisinin bir mucizesi sayılmaktadır. Günümüzde lastiklerin birçoğunda sentetik ham maddeler kullanılmaktadır. İlk otomobil lastikleri de doğal kauçuktan yapılmaktaydı. Birinci ve İkinci Dünya Savaşı'nda sentetik kauçuk teknolojisinin gelişmesiyle doğal kauçuk, yerini sentetik kauçuğa bırakmıştır [9].



Şekil 1.3 1950 Yılında Kullanılan İlk Araç Lastikleri [9].

Sentetik kauçuklardan üretilen malzemeler hayatımızın vazgeçilmezleri arasına girmiştir. Sektörde üretilen malzemelerin bir kısmı şunlardır: Lastik körükler, contalar, sıcak ve soğuk su hortumları, bulaşık ve çamaşır makinesi parçaları, akaryakıt ve fren hortumları, cam silecekleri, transmisyon kayışları, aks körükleri, radyatör ve hava hortumları, kapı ve cam profilleri, salınım, titreşim takozları, yalıtım elemanları, konveyör bant imalatı, ayakkabı

retiminde ke, pençe ve taban imalatı vb. Gıda, sağlık ve elektronik sanayiinde de yalıtım amaçlı yapıştırıcı olarak sentetik kauçuklar kullanılmaktadır [9].



Şekil 1.4 Tank Paleti [9].



Şekil 1.5 Hortum [9].



Şekil 1.6 Elektronik Parçalar [9].



Şekil 1.7 Spor Aletlerinin Parçaları [9].

Üretilen sentetik kauçukların özelliklerinin laboratuvar şartlarında değiştirilebilmesi, geliştirilebilmesi; bu sektörün önemini koruyarak hızla büyüyen bir sektör hâline gelmesini sağlamıştır. Sentetik kauçuklar, yapısal özellikleri gereği yüksek elastikiyet göstermektedir. Bu nedenle elastomer olarak da adlandırılır. Elastomerlerin kullanıldığı en önemli alan, araç i ve dış lastiklerinin yapımıdır. Ayrıca ayakkabı, terlik, profil, teknik parçalar conta, keçe, hortum, taşıyıcı bant vb. gibi birçok alanda da kullanılmaktadır [9].

1.5 KAUCUK ÇEŞİTLERİ

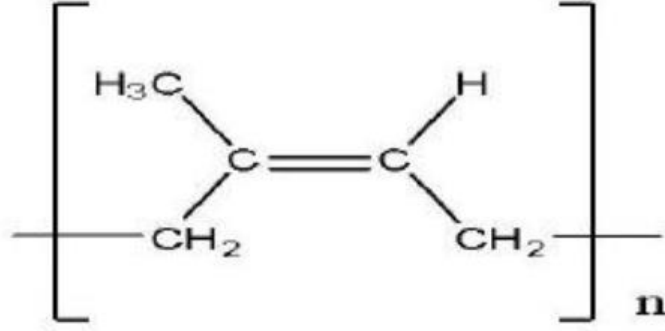
1.5.1 Doğal Kauçuk (NR)

Doğal kauçuk, kauçuk ağacı denen *Hevea brasiliensis*' ten oluşan stms bir akışkan sıvıdan üretilir [2].



Şekil 1.8 Doğal Kauçuk.

Doğal kauçuğun ana maddesi az miktarda protein, lipid, inorganik tuzlar ve diğ er bazı maddeler karışmış cis-1.4 poliizoprendir. Doğal kauçuğun polimer zincirleri uzun, birbirine girmiş sargılar halindedir ve oda sıcaklığında sürekli hareket halindedir. Doğal kauçuk polimerlerinin b     p sarılmaları, karbon-karbon çift bağıyla aynı tarafta olan metil grubu ve hidrojen atomunun oluşturduğu üç boyut düzeninin engellenmesinin bir sonucudur [B2, 10'dan].



  kil 1.9 Doğal Kauçuğun Yapısı [11].

➤   zellikleri

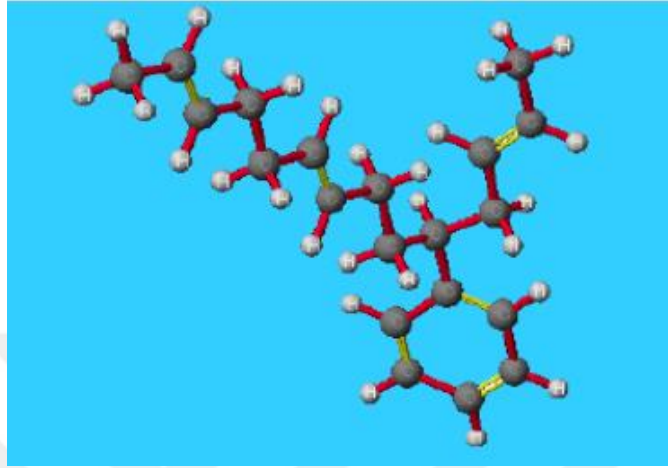
Çift bağlar doğal kauçuğun k    rt ile çapraz bağlamasını sağlar, ancak aynı zamanda ozon ve oksijene karşı dirençsiz olmasına yol a arlar. Doğal kau  k; k    rt, k    rt verici sistemler, peroksitler, izosiyanatlar gibi çeşitli sistemlerle vulkanize edilebilirler. Kullanma sıcaklık aralığı -60  C ile 90  C'dir. Doğal kauçuğun camsı geçiş sıcaklığının (Tg) -70  C civarında olduğundan düşük sıcaklıklardaki performansı yüksektir. Doğal kau  k yüksek derecede kristallenme göstermektedir. Bu   zellik ona yüksek elastiklik özelliği, yüksek çekme dayanımı, yüksek yırtılma dayanımı, iyi dinamik özellikler, düşük kalıcı deformasyon gibi birçok üstün özellik katmaktadır. Doğal kauçuğun ısı, ozon, yağlar ve hidrokarbonlara dayanımı düşüktür. Ancak polar sıvılara karşı dayanıklıdır. Vulkanizasyon sistem seçimi ve koruyucular ile iyileştirilebilir [11].

➤ Kullanım Alanları

Doğal kau  k; konveyör kayışları, lastik silindir ve tekerlekler vb. gibi endüstriyel ürünlerin; fan kayışları, radyatör hortumları vb. gibi otomotiv ürünlerin; lastik eldivenler, oyuncaklar, sıhhi ürünler vb. l  teks ürünleri ve yapışkanların temel hammaddesidir. Bunlardan çok daha fazla tüketildiği alanlar ise araç lastikleri ve ayakkabı sektörleridir [10].

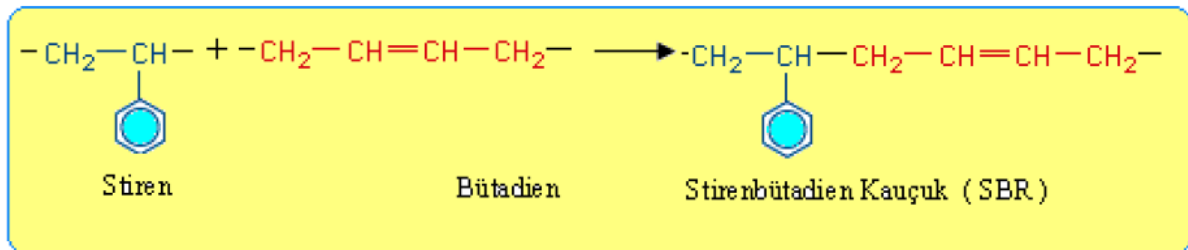
1.5.2 Stiren Bütadien Kauçuklar (SBR)

SBR stiren ve bütadienin kopolimeridir ve üretimi en fazla yapılan sentetik kauçuktur. Kopolimer, polimerin iki veya daha fazla sayıda monomerden oluşmasıdır.



Şekil 1.10 Stiren Bütadien Kauçuk (SBR) [9].

Polimer zinciri genellikle %25 stiren, %75 bütadien bulundurur. Yapı olarak düzensizdir, bu durumda kristalleşmeyi engeller. Çözelti ve emülsiyon polimerizasyonu ile üretilmektedir [9].



Şekil 1.11 Stiren Bütadien Kauçuğun (SBR) Üretim Reaksiyonu [9].

➤ Özellikleri

Çoğu zaman doğal kauçuğun yerine kullanılmaktadır. İyi, mekanik özellikleri sağlayabilmesi için kuvvetlendirici dolgu maddeleri gerektirir. Aşınma direnci doğal kauçuğa göre daha iyidir. Doğal kauçuğa benzer fakat yaşlanma ve sıcaklık dirençleri daha iyidir. Doğal kauçuğa kıyasla daha düşük esnekliğe sahiptir. Ozon ve atmosferik dayanımı iyidir [9].

Doğal kauçuk ile SBR kauçuğun kıyaslanması:

SBR kauçuk ile karışım, doğal kauçuğa göre daha kısa zamanda ve kolayca hazırlanır.

- Aşınma, yaşlanma ve ısıya karşı dayanımı doğal kauçuktan daha iyidir.
- Elastik davranışları doğal kauçuktan daha kötüdür.
- Polar olmayan çözücülere, seyreltik asit ve bazlara dayanıklıdır.
- Yakıt ve yağlara dayanıklı değildir.
- İçerisinde %25 oranında SBR bulunduran SBR araç lastiklerinin yola temas eden kısımlarında kullanılır [9].

➤ Kullanım Alanları

Taşıyıcı bant, paspas, ayakkabı tabanı ve topuğu, spor eşyaları, sakız, sünger yapıştırıcı, hortum, yer döşemesi yapımı, kablo kılıflama, ambalajlama SBR kauçuğun kullanım alanlarındandır [9].

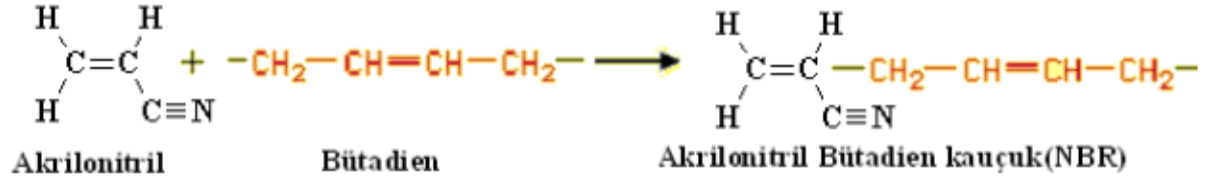


Şekil 1.12 SBR ile Yapılan Malzemeler [9].

1.5.3 Akrilonitril Bütadien Kauçuklar (NBR)

Akrilonitril ile bütadienin kopolimerizasyonu sonucu bu sentetik kauçuk elde edilir. İlk defa 1930'lu yıllarda akrilonitril kopolimerizasyonu gerçekleşmiştir. Üretimi 1934 yılında Almanya'da başlamıştır [9].

Kauçuk içerisindeki nitril oranı ayarlanarak çok farklı amaçlarda kullanılacak elastomerler hazırlanabilir. Örneğin nitril sayısı arttıkça NBR'nin yağ ve çözücülere karşı direnci, diğer polimerlerle karışma özelliği, gaz geçirgenliği artar, kopma dayanımı yükselir [12].



Şekil 1.13 NBR Elde Etme Reaksiyonu [9].

➤ Özellikleri

Nitril kauçuğun özelliği içinde bulunan akrilonitril miktarına göre değişmektedir. Nitril kauçuğun içerisindeki akrilonitril miktarı arttıkça;

Akrilonitril % 18 Akrilonitril % 50
→

Yağa ve yakıtlara dayanıklılığı artar. Yoğunluk artar. Sertlik artar. Pişme hızı artar.

İşlenebilirlik artar. Mekanik özellikler artar.

Nitril kauçuğun içerisindeki akrilonitril miktarı azaldıkça;

Akrilonitril % 18 Akrilonitril % 50
←

Düşük sıcaklıklarda dayanımı azalır. Elastik özelliği azalır [9].

➤ Kullanım alanları

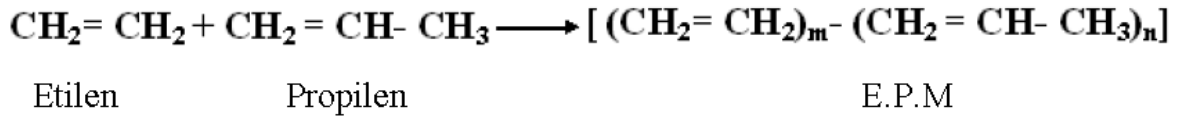
Yağa ve yakıtlara dayanıklıdır. Bu nedenle conta, benzin yağ ve hidrolik hortumlarının yapımında, konveyör kayışı, işçi elbiseleri ve botları, lastik klişe ve mühürlerin yapımında, oyuncak yapımında kullanılmaktadır [9].



Şekil 1.14 Nitril Kauçukla Üretilen Mühür, Kaşe, Oyuncak Lego ve Hortum [9]

1.5.4 Etilen- Propilen Kauçuklar (EPDM)

Etilen ile propilenin kopolimerizasyonu ilk defa 1963 yılında üretilmeye başlamıştır. Reaksiyonda çift bağ olmadığı için tamamen doymuş bir yapıya sahiptir. Bu özellik, kauçuğun ozon ve oksijene karşı dayanıklı olmasını sağlar.



Şekil 1.15 Etilen Propilen Kauçuk (EPM) Elde Etme Reaksiyonu.

EPDM etilen, propilenin yanı sıra üçüncü bir dienin reaksiyona girmesi ile elde edilir.

➤ Özellikleri

Isı, ışık ve oksidasyona çok dayanıklıdır. Çok miktarda dolgu maddesi yağ emme kapasitesinden dolayı düşük maliyetli karışımlar oluşturur. Asit ve bazlara karşı dayanıklıdır.

➤ Kullanım Alanları

Genellikle kapı ve cam fitilleri, sünger fitil, radyatör ve ısıtma hortumları, beyaz eşya körük ve contaları, konveyör bant, tank kaplama ve silindir kaplama üretiminde kullanılır [9].



Şekil 1.16 EPDM ile Yapılan Profiller ve Hortum.

1.6 KARIŞIM HAZIRLAMA PROSESİ

Kauçuk ürün eldesinde birçok girdinin bulunduğu ve bu girdilerin kauçuk imalatında faydaları olduğu, son ortaya çıkan ürünün özelliklerini etkileyeceği bilinen bir gerçektir. Bitmiş ürün için gerekli olan tüm malzemelerin polimer ile oluşturdukları ön karışıma compound ismi verilmektedir. İstenilen özelliklere göre ayarlanmış, kauçuk ve diğer hammaddeler ile katkı maddelerinden oluşan, vulkanize edilebilen bir karışımdır. Bir kauçuk karışımından beklenen özellikler şu şekilde sıralanabilir [13]:

- Bitmiş mamulün çalışacağı ortama uygun özelliklerin yaratılması,
- Karışımın uygulanacağı prosesin metot ve makinelere uygun olması,
- Rekabet edilebilmesi için maliyet özellikleri [13].

Kauçuk karışımı, bitmiş üründen istenilen özelliklerin sağlanabilmesi için uygun kauçuk (polimer) ve hammaddeler ile katkı maddelerinin seçilebilmesi ve birbirleriyle karıştırılması işlemidir. Karışım içindeki kauçuğu seçmek birinci önceliklidir. Diğer katkı maddeleri kauçuğun özelliklerini geliştirici, yapacağımız prosesi kolaylaştırıcı ya da bitmiş ürüne bazı özellikleri sağlayıcı konumundadırlar. Bu karışımlar bir reçete halinde hazırlanırlar. Maksada uygun olarak seçilmiş ve birbirleriyle oransal bir bütünlük sağlamış maddeler topluluğu reçete veya formül olarak adlandırılır [13]. Binlerce değişik karışım reçetesi istenilen özelliklere göre hazırlanabilir. Doğal olarak bu reçeteler belirli sınırlamalara tabiidir.

Günümüzde kauçuk sektöründe en fazla gizlilik arz eden konu kauçuk reçeteleridir. Karışım reçetelerinde bir standart sağlamak amacıyla PHR “Part Per Hundred Rubber” deyimi kullanılır. Reçetede bir karışıklığa neden olmamak için kauçukların toplam miktarı 100

PHR'a tekabül eder. Bir veya birden fazla kauçuk olması yine toplam 100 PHR kuralını değiştirmez. Burada dikkat edilmesi gereken unsurlardan biri bazı kauçukların bünyelerinde mevcut olan kauçuk dışı katkılarıdır. Bu durumda katkı dışında kalan kauçuk 100 PHR'a dahil edilir.

Bir reçete aşağıdakilerden oluşur;

- Kauçuk
- Dolgu Maddeleri
- Yumuşatıcılar
- Proses Kolaylaştırıcılar
- Yaşlanma Önleyiciler
- Aktivatörler
- Hızlandırıcılar
- Pişiriciler
- Geciktiriciler
- Diğer Katkı Maddeleri [14].

Her kauçuk karışımı sayılan reçetenin tamamını içermez fakat kauçuk ve Vulkanizasyon sistemini oluşturan maddelerin bulunması gereklidir.

Karışımında genellikle %50 civarında kauçuk bulunur. Karışım içindeki oranlar çok genel anlamda aşağıdaki gibidir:

Kauçuklar	100 PHR
Vulkanizasyon Maddeleri	6-10 PHR
Dolgu Maddeleri	20-100 PHR
Yumuşatıcılar	0-30 PHR
Proses Kolaylaştırıcılar	0-10 PHR
Yaşlanma Önleyiciler	0-10 PHR

1.6.1 Dolgu Maddeleri

Kauçuklar saf halde vulkanize edildiklerinde elastikiyet kazanarak lastik haline geçerler. Ancak gerekli mukavemet ve dayanıklılığa ulaşmaları için ekstra dolgu malzemelerine ihtiyaç vardır.

Dolgular güçlendirici olarak kullanıldıkları gibi zaman zaman maliyeti düşürme veya kauçuğa alev dayanım, sürtünmeye dayanım vb. gibi ekstra özellikler kazandırmak amacı ile de katılabilirler.

Dolgular genelde toz halinde organik veya inorganik katı maddelerdir. Sektörde en çok kullanılan dolgu maddeleri şunlardır;

- Karbon Siyahı
- Silikalar
- Kalsiyum Karbonat
- Kaolin
- Barit
- Magnezyum Oksit
- Talk

Aynı reçete ile her seferinde farklı dolgular kullanılarak yapılmış hamurlara uygulanan test sonuçlarına bakılarak dolguların güçlendirme etkisini daha iyi anlamak mümkündür.

Çizelge 1.1 Dolgu Malzemelerinin Kauçuk Testlerine Etkisi.

ASTM Sınıfı	N 110	N 220	N 330	N 440	N 550	N 660	N 762
İsim	SAF Süper Abrasion Furnace	ISAF Intermediate Süper Abrasion Furnace	HAF High Abrasion Furnace	FF Fine Furnace	FEF Fast Extrusion Furnace	GPF Genaral Purpose Furnace	SFR Semi Reinforcing Furnace
Özelliği	Üstün Aşınma	Orta Üstün Aşınma	Yüksek Aşınma	İnce Fırın Siyahı	Hızlı Ekstruzyon	Genel Amaçlı	Yarı Takviye Edici
Tane Büyüklüğü (nm)	11 – 19	20 – 25	26 – 30	31 – 39	40 – 48	49 – 60	61 – 100
Yüzey Alanı (m ² /g)	125 – 155	110 – 140	70 – 90	45 – 69	36 – 52	26 – 42	17 – 33

1.6.1.1 Karbon Siyahı

En basit tanım ile petrol türevi hidrokarbonların kontrollü olarak yarım yakılması veya ısı ile bozunmaları ile elde edilen organik dolgu maddeleridir.

Elde edilme yöntemlerine göre farklı karbon siyahları mevcuttur. Kauçuğa kazandırdıkları güçlendirici etki tane boyutu ve yüzey alanına göre değişir.

Karbon siyahlarının tane boyutu artıkça yüzey alanları azalır. Yüzey alanları kauçuğa kazandırdıkları güçlendirici etki ile doğru orantılıdır. Karbon siyahının yüzey alanı artıkça kauçuğa kazandırdıkları güçlendirici etki de artar.

Çizelge 1.2 Karbon Siyahı Çeşitleri ve Özellikleri

Dolgu Maddesi	Sertlik (Shore A)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Kalıcı Deformasyon % - (22h / 70 °C)
N 220 (ISAF)	64	23,1	450	16
N 330 (HAF)	64	22,5	450	17
N 550 (FEF)	63	18,4	550	18
N 990 (MT)	50	10,5	770	21
Silika	59	13,8	740	31
Kaolin	50	9,6	860	38

1.6.1.2 Mineral Dolgu Maddeleri

Karbon siyahları dışında kauçuk sanayinde en yaygın kullanılan dolgular Beyaz Dolgular diye de adlandırılan mineral dolgulardır. Mineral dolgular genelde çeşitli madenlerden elde edilen inorganik maddelerdir. Silikalar, Kalsiyum karbonat, barit, magnezyum oksit, Alüminyum hidroksit bunlardan bazılarıdır.

Firmamızda kullanılan beyaz dolgular, genelde maliyet düşürmek, renkli hamur yapmak ve yapışma mukavemetini arttırmak için kullanılan Egesil (amorf silisyum oksit), Kaolendir.

Egesil (Amorf Silisyum Oksit): Karbon siyahları gibi kauçuğa güçlendirici etkisi vardır ve karışımın metala yapışmasını artırıcı etkisi vardır. Tanecik boyutu 20-25 nm olup yüzey alanı 150 m²/g'dır. Bu özelliği ile karışıma, ISAF karbon siyahına benzer özellikler kazandırır.

Kaolin: Karbon siyahları ve Egesil kadar olmasa da kauçuğu güçlendirici etkisi vardır. Ucuz olmasından dolayı, karışma asıl katılma sebebi maliyetin düşürülmesidir. Kaolinin farklı boyutlarda üretilmiş çeşitleri vardır. 22-26m²/g yüzey alanına sahip sert kaolini renkli hamurlarda kullanılırken, 8-15m²/g yüzey alanına sahip kaolin maliyeti düşürmek amacı ile bazı siyah hamurlarda kullanılmaktadır.

1.6.2 Yumuşatıcılar

Karışmada kauçuk ve dolgu maddelerinden sonra en çok kullanılan malzeme yumuşatıcılardır. Karışmadaki esas kullanılma amaçları prosesi kolaylaştırmak ve dolguların karışma homojen karışmalarını sağlamaktır.

Yumuşatıcıların Karışma Etkisi;

- Dolgu maddeleri ve diğer kimyasalların karışım içerisine kolayca dağılarak homojen karışım elde edilmesine olanak sağlarlar.
- Karışım esnasında ısısının düşürülmesini sağlayarak ön vulkanizasyon yani score'u önlerler.
- Yüksek oranda dolgu maddesi ile karışma ilave edilerek karışmadaki kauçuk oranı düşürülebilir ve maliyetin azaltılması sağlarlar.
- Sertlik, elastikiyet ve uzama gibi fiziksel özelliklerin optimize edilmesinde direkt olmasa bile dolgular ile birlikte etki ederler.
- Karışımın yapışkanlığını artırırılar.
- Polimer ve dolguları ıslatarak karışım sırasında meydana gelen sürtünmeleri azaltıp mekanik aşınmaları önlerler.
- Karışım sırasında vizkoziteyi düşürerek karışım enerjisinin azaltılması ile enerji tasarrufu sağlarlar.

Yumuşatıcıların Karışma Olumsuz Etkileri;

Yağ seçiminin iyi yapılmadığı, miktarın optimize edilemediği durumlarda kullanılan yağların karışma olumsuz etkileri olabilir. Özellikle kauçuğun kendi kimyasal yapısına uygun yağlar

kullanılmaması son ürün için olumsuz etkiler yaratabilir. Yağların olumsuz etkilerini şöyle sıralayabiliriz;

- Asidik yapıda olur ise vulkanizasyonu geciktirirler.
- Doyamamış hidrokarbon yönünden zengin yağ vulkanizasyon derecesini düşürür.
- Uçucu yağlar zamanla sertliğe sebep olur.
- Lastiğin temas ettiği madde ile reaksiyona girip ekstrakte olabilirler.
- Karışım içerisinde reaksiyona girmemiş kimyasalları çözüp bu kimyasalları yüzeye taşıyabilirler.
- Yüksek miktarda kullanıldığında yüzey kusmasına sebep olabilirler.

1.6.3 Proses Kolaylaştırıcılar ve Koruyucu Kimyasallar

Proses kolaylaştırıcı kimyasallar kauçuğa, yağlara benzer işlevler kazandırmak için kullanılsalar bile yağlara göre çok daha az miktarlarda karışıma katıldıkları için fiziksel özelliklere daha az tesir etmeleri ile yağlardan ayrılırlar. Proses kolaylaştırıcı kimyasallar şu amaçlar için karışıma katılabilirler;

- Dağıtıcılar (Dispergatörler)
- Akışkanlık artırıcı maddeler
- Mastikasyon yardımcı maddeleri (Peptizörler)
- Yapışkanlık sağlayanlar
- Homojene edici maddeler
- Kalıp ayırıcılar

Koruyucu kimyasallar; kauçuk ürünler zaman içerisinde yapılarındaki çift bağlardan dolayı ısı, ışık ve dinamik yorulma sebebi ile bozulurlar. Bozulma sonucu çatlama, kırılma, sertleşme gibi fiziksel problemler ortaya çıkar. Bozulmanın ortadan kaldırılması ve kauçuğun ısı, ışık ve dinamik yorulma gibi etkenlerden korunması için kauçuk karışımına bazı koruyucu kimyasallar eklenir. Koruyucu kimyasalların karışıma katılma sebeplerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Yüksek ısıda oksidasyon
- Ağır metallerin oksidasyonu
- Su buharı etkisi ile oluşan oksidasyon
- Dinamik yorulma sonucu oluşan çatlaklar
- Ozon etkisi ile oluşan çatlaklar
- Radyasyon (UV, X-ray, Gün ışığı)yolu ile oluşan çatlaklar

1.6.4 Aktivatörler

Vulkanizasyonun hızlı bir şekilde gerçekleşebilmesi için akseleratör denilen hızlandırıcı organik kimyasallara ihtiyaç vardır. Vulkanizasyon yani pişmenin hızlanması için kullanılan bu kimyasallar çoğu zaman fiziksel özellikler üzerinde de etki ederler. Bu kimyasallar pişirici olarak bilinmektedir. Pişiricilerin aktif hale gelmesi için de bir aktivatöre ihtiyaçları vardır.

Kauçuk sektöründe aktivatör olarak en çok kullanılan kimyasal çinko oksittir. Bunun yanında bazı metal oksitler. Bunun yanında bazı kauçuk türlerinde çok az da olsa magnezyum oksit ve kalsiyum oksitte aktivatör olarak kullanılmaktadır.

1.6.5 Akselatörler (Pişiriciler)

Akseleratörler karışıma pişmeyi hızlandırmak amacı ile katılan organik yapıdaki kimyasallardır.

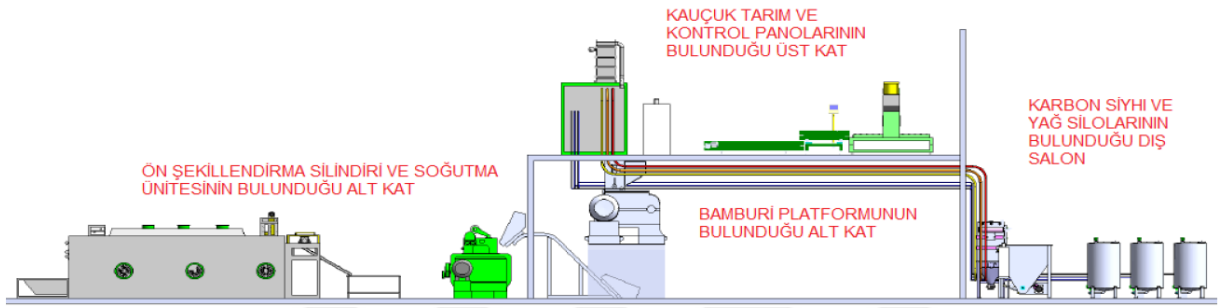
Kauçuk sektöründe birçok pişirici kimyasal mevcut olup kauçuğun türüne ve elde etmek istediğiniz ürünün özelliklerine göre uygun olan pişiriciler karışıma dahil edilmektedir. Pişiricileri pişirme hızlarına göre yavaş, orta ve hızlı olarak sınıflandırmak mümkündür.

1.6.6 Uygulama

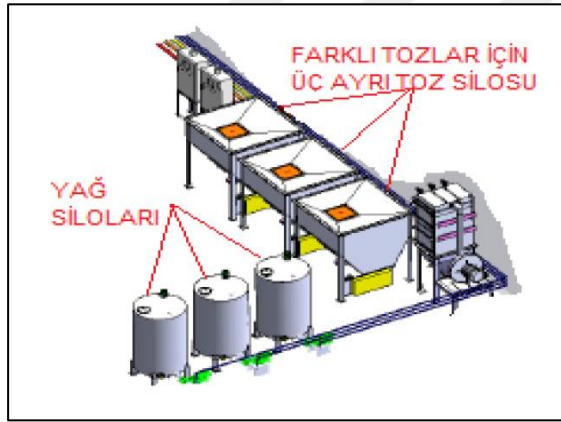
Kauçuğa mukavemet vermek üzere bazı dolgular karıştırılır ve bu dolgular yarım yanmış hidrokarbolar (karbon siyahları), çeşitli minerallerden elde edilmiş (kaolin, silika vb.) farklı tanecik boyutuna sahip toz formunda maddelerdir. 100 birim kauçuk için 10 birimden 150-200 birime kadar miktarları değişebilir. Yapılacak ürünün özelliğine ve kullanılacak kauçuk

türüne göre ayarlanır. Yine toz formundaki bu kimyasalları kauçuğa yedirebilmek için yumuşatıcı ve homojenleştirici olarak çeşitli mineral yağlar kullanılır. Bu yağların miktarı da karışımdaki önemli bir kısmı kaplar 100 birim kauçuk için 5 birimden 50 birime kadar miktarı değişebilir.

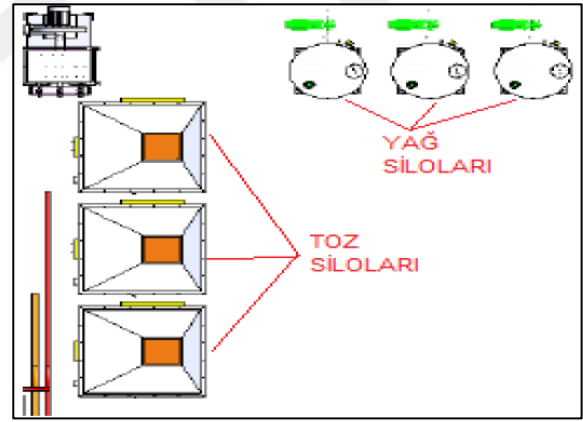
Karışımdaki miktarı büyük tozlar ve yağlar özel silolarda depolanır ve karışım zamanı geldiğinde bu silolardan borular aracılığı ile Banbury üzerindeki tartım tanklarına pompalanır. Silolardan oluşabilecek toz ve yağ kaçakları nedeni ile bu silolar genelde ana üretim hattından tecrit edilmiş ayrı salonlarda kurulur ve hat ile bağlantıları borular ile sağlanmış olur.



Şekil 1.17 Yan Kesitten Karışım Hazırlama Fabrika Görüntüsü.



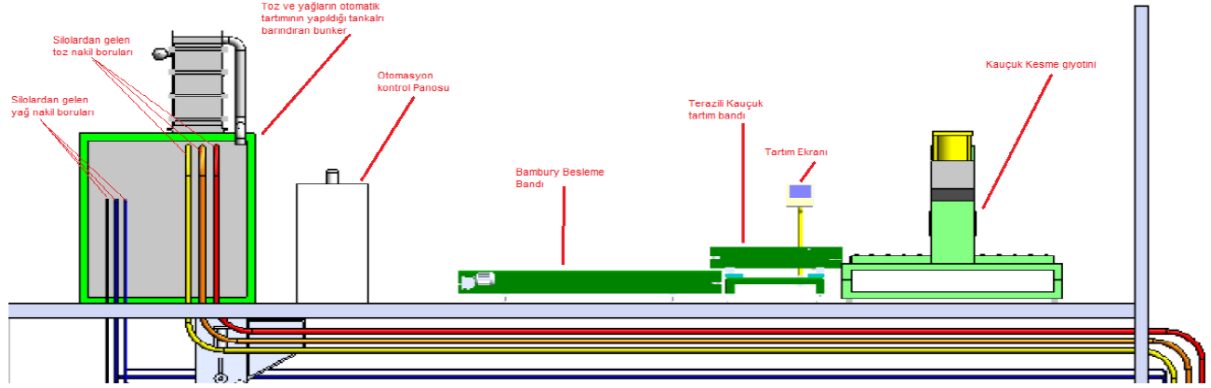
Şekil 1.18 Yandan Görünüm.



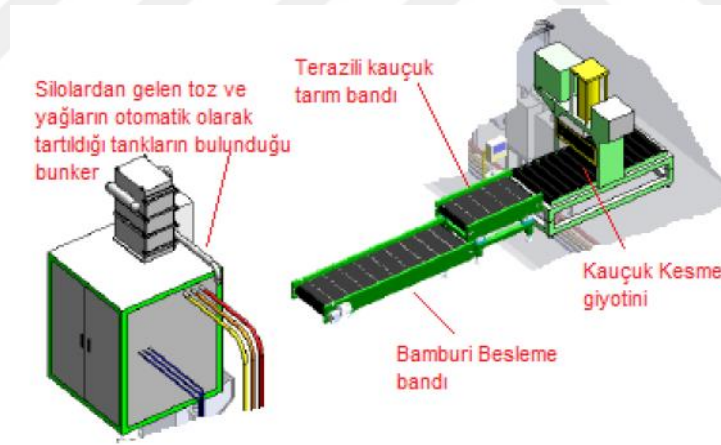
Şekil 1.19 Yukarıdan Görünüm.

Kauçuklar 25 ila 35 kg'lık balyalar halinde olduklarından reçete içerisindeki miktarın ayarlanması için kauçukların kesilmesi gerekebilir. Bu sebeple tartım öncesi kauçuk giyotinde boyutlandırılır. Boyutlandırılarak miktarı ayarlanan kauçuk terazili tartım bandına koyulur ve tartım ekranında reçetede olması gereken miktar otomatik olarak tartım ekranında görülür. Tartım ekranında çıkan miktar ile terazi üzerine konulan miktar eşit olunca konveyör start butonu aktif hale gelir. Start butonuna basılarak terazili konveyör hareket eder ve üzerindeki kauçuğu Banbury besleme bandına düşürür. Buraya düşen kauçuk bu bandında

hareket etmesi ile Banbury besleme kapağına kadar gelir ve Banbury'e start verene kadar burada hazır halde bekler. Eğer kauçuk ile birlikte atılması gereken başka bir kimyasal var ise burada tartım terazisi ve besleme konveyörü ile Banbury'e aynı şekilde besleme yapılabilir. Aynı şekilde otomasyon kontrol sistemi karışımında miktarları daha önceden girilmiş olan yağ ve tozları nakliye boruları yağ ve tozlar olmak üzere iki ayrı şekilde bunker içerisindeki tartım tanklarında toplar ve Banbury'nin üzerinde hazır hale getirir.

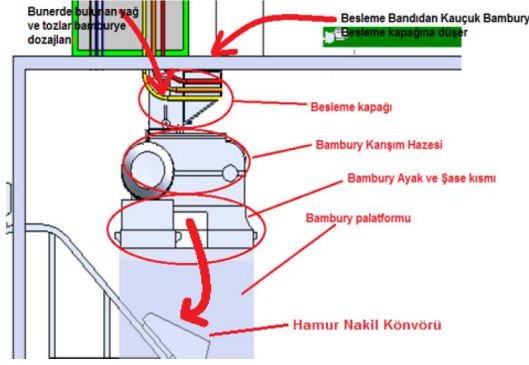


Şekil 1.20 Kauçuk Tartım Bandı ve Kontrol Panosunun Bulunduğu Üst Kat.



Şekil 1.21 Dikeyden Görünüm.

Besleme bandına gelen kauçuk Banbury'e start verilmesi ile birlikte besleme kapağından Banbury'nin içine düşer. Daha sonra sırası ile bunkerde bulunan ve otomatik olarak tartılmış olan toz ve yağlar Banbury'e sırası geldikçe dahil olurlar. Proses yardımcıları ve akseleratör gurubu kimyasalla da ayrıca tartılmış olan torbalar ile besleme konveyöründe veya proses şartlarına göre açık karıştırıcılarda karışıma ilave edilirler.



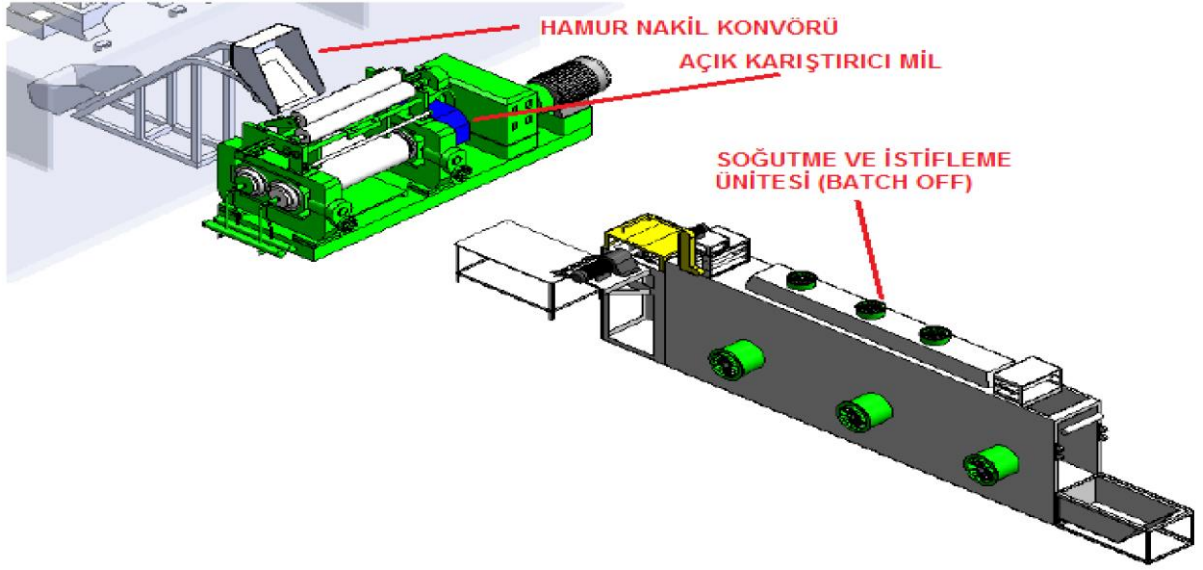
Şekil 1.22 Banbury Platformunun Bulunduğu Ara Kat.



Şekil 1.23 Banbury Makinası.

Karışımı tamamlanmış olan hamur Banbury alt kapağından nakil konveyörüne veya bazı proseslerde direkt açık karıştırıcı mile düşer. Burada iki mil arasında dönen kauçuk karışımı hem belli bir sıcaklığa kadar soğutulur hem de ön şekillendireme yapılır. Bazı proseslerde vulkanizasyonu gerçekleştirecek olan akseleratör gurubu kimyasallar karışıma bu proste dahil edilir.

Karışımı tamamlanan kauçuk karışımı oda sıcaklığına kadar soğutulması için Batch-Off adı verilen fanlı ve soğutmalı makina verilir.



Şekil 1.24 Silindir Ön Şekillendirme ve Soğutma İstifleme Katı.

1.7 KAUÇUK – METAL BAĞLAYICI PROSES

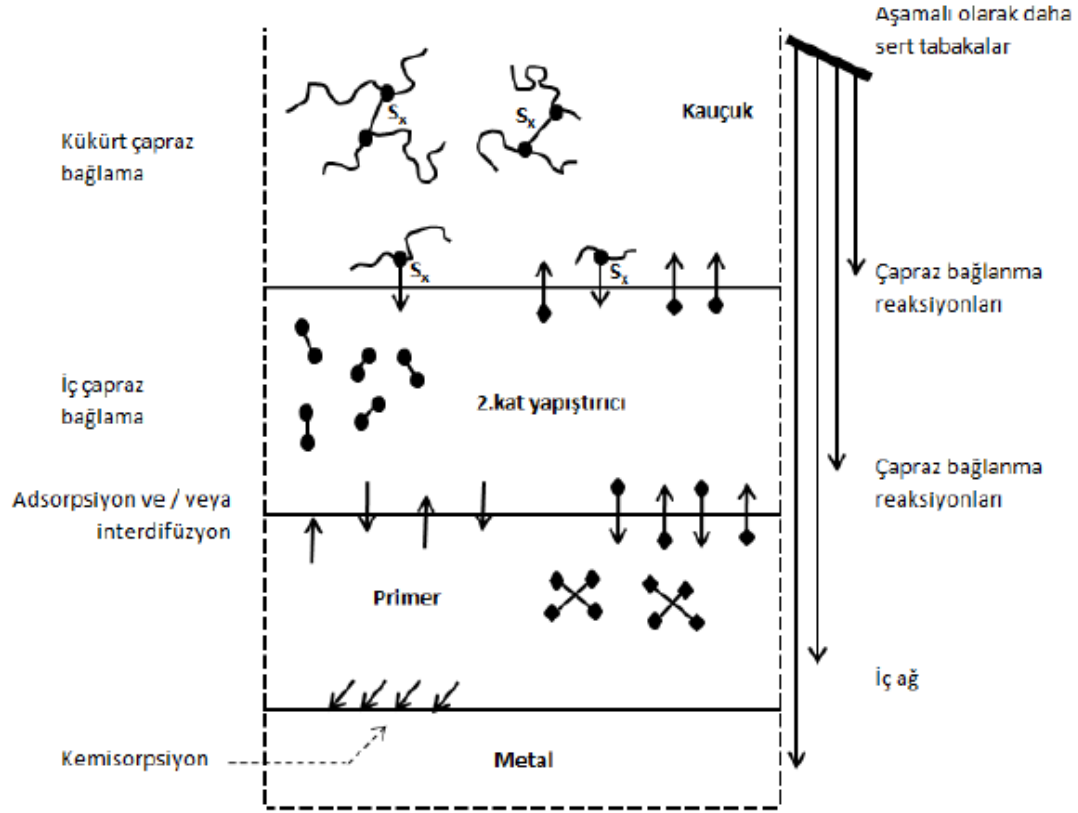
Kauçuğun metale yapıştırılmasında kullanılan genel amaçlı astarlar ve yapıştırıcılar, özel olarak formüle edilmiş ürünlerdir. Bunlar genellikle, polimerlerin, reçinelerin, küratörlerin, pigmentlerin, genişleticilerin ve diğer bileşenlerin, örneğin korozyon inhibitörlerinin veya viskozite stabilizatörlerinin bir karışımını içerir [15].

Metalden primerlere kadar olan metaller, metale kimyasal bir bağ oluşturmak için Vulkanizasyon işlemi sırasında çoğu metal (çelik, alüminyum, paslanmaz çelik, bakır, pirinç) yüzeylerle reaksiyona giren organik reçineler içerir. Aynı zamanda, daha iyi film oluşumu sağlayan ve daha sonra yapışkanın uygulanması için bir tutturma görevi gören polimerler içerirler [15].

Kauçuk – metal yapıştırıcıları, primerdeki bileşenlerle ve ayrıca yapıştırılacak olan kauçuk bileşiği ile uyumlu olan polimerik malzemeler içerir. Birçoğu halojenli polimerlere dayanır. Halojenlenmiş polimerler veya reçinelerin, metalleri verimli bir şekilde ıslattığı bilinmektedir, aynı zamanda hem primer hem de yapıştırıcı formülasyonda kullanılabilir [15].

Yapıştırıcılar hem kauçuktaki polimerler hem de metaller ile reaksiyona giren çok güçlü küratörler içerir. Kauçuk – metal bağlanma mekanizması, aynı anda meydana gelen çeşitli reaksiyonlar olduğu için çok karmaşıktır. Tüm bu reaksiyonlar, güçlü bir bağın oluşması için

çok kısa bir sürede (yani kauçuğun presle sertleşme süresi esnasında) gerçekleştirilmelidir. Oluşan farklı reaksiyonlar Şekil 1.15'te gösterilmiştir [15].



Şekil 1.25 Vulkanizasyon Bağlanma Sürecinin Şeması [15].

Bir kauçuktan metal bağına (primer, ikinci kat yapıştırıcı, kauçuk) üç organik katmanın her biri kalıplama aşaması sırasında çapraz bağlanır veya sertleşir. Bu çapraz bağlamanın kaynağı ya bir ısı reaktif reçinesi ya da harici olarak eklenen çapraz bağlama ajanlarının varlığıdır. Bu dâhili kütleme, her tabakanın molekül ağırlığını ve yapışma gücünü artırır. Ek olarak, her tabaka hemen üstündeki ve altındaki katmanlar ile reaksiyona girer. Bu ara katman reaksiyonları, dâhili çapraz bağlanmanın gerçekleşmesine izin veren aynı kimyasal maddelerden kaynaklanır [15].

Kauçuktan metale bağlanan ilk bağlantı, metal ara yüzün astarıdır. Primerde yer alan iç çapraz bağlamaya ek olarak, primerdeki organik reçineler, metal parçanın yüzeyindeki metal oksitlerle reaksiyona girerek çok güçlü kovalent kimyasal bağlar oluştururlar. Bu tip reaksiyona hemisorpsiyon denir. Kimyasal adsorpsiyon ya da fiziksel bağlanmadan ayrıştırılarak, kemisorpsiyon tarafından oluşturulan bağlarda su, ısı ve kimyasal maddelere

karşı çok dirençlidir. Tersine, adsorpsiyon ile oluşturulan bağlar, ısı veya kimyasal maruziyet gibi çevresel kuvvetlerin uygulanmasıyla kolayca yok edilir [15].

Kauçuğun metal bağındaki bir sonraki bağlantı, astar ve yapışkan ara yüz arasındadır. Yapışkan tabakada bulunan iyileştirici madde, vulkanizasyon sırasında primer tabakasına göç eder veya yayılır ve astar ve yapıştırıcı arasında kimyasal bir bağ oluşturur. Astar da mevcut olan polimerik film, yapışkan tabaka ile yayılır ve örülür ve yapışkan tabakada mevcut olan polimerlerle uyumluluğu nedeniyle astar ve yapıştırıcı arasındaki bağı güçlendirir. Kauçuğun metal bağlantısındaki son bağlantı, kauçuk ara yüzüne yapıştırıcıdır. Yapışkan tabakada bulunan iyileştirici madde aynı zamanda Vulkanizasyon sırasında kauçuğa da yayılır ve yapıştırıcı ile kauçuk arasında kimyasal bir bağ oluşturur. Ek olarak, kauçuktaki kükürt yapıştırıcı tabakaya yayılır ve kauçuk ile yapıştırıcı arasında ek çapraz köprüler oluşturmaya yardımcı olur [15].

Metal ile kauçuk yapışmasında iki sınıf mevcuttur. Birincisi primer (astar) ve ikinci kat yapıştırıcı uygulaması, diğeri ise tek kat uygulamadır. Astar ve ikinci kat yapıştırıcı sistemlerinde, astar esas olarak metal yüzeyle güçlü ve dayanıklı bağlar oluşturacak malzemeler içerir. Sertleştirilen astarın modülü, kauçuğunki ile metalin arasındaki ara maddedir, fakat metalinki ile daha yakındır. Tek kat yapıştırıcı esas olarak kauçuk ile bağlar oluşturan materyaller içerir ve sertleştirilmiş yapıştırıcının ortaya çıkan modülü sertleştirilmiş kauçuğunkine daha yakındır. Komple sistem kauçuk ve metal arasındaki modülde bir geçiş sağlar ve daha iyi bir stres dağılımı yaratır [15].

Tek yapıştırıcılar, metal yüzey ile reaksiyona giren malzemeler ve kauçukla reaksiyona giren maddeler içerir. Bu malzemeler, çoğu durumda, birlikte sabit değildir. Bu nedenle, tek kat yapıştırıcıların uzun süreli raf stabilitesinin elde edilmesi daha zordur. Her sistemin avantajları ve dezavantajları vardır. Tipik olarak, astar ve ikinci kat yapıştırıcı sistemleri, sıcak yağ veya genişletilmiş tuz spreyine maruz kalma gibi aşırı çevresel koşullara daha dayanıklıdır. Bununla birlikte, astar / ikinci kat yapıştırıcı sistemleri, iki takım uygulama ekipmanına (yani astar için ve diğeri ikinci kat yapıştırıcı için) sahip olma gereği nedeniyle, uygulanması daha pahalıdır. Tek kat sistemler sadece bir takım uygulama ekipmanı gerektirir ve iki yerine sadece bir uygulama adımı gerektirir ve dolayısıyla işlem yapmak daha az maliyetlidir. Envanter sorunları, tek kat yapıştırıcı kullanımı ile önemli ölçüde basitleştirilmiştir [13].

Bu tez çalışmasında primer (astar) ve ikinci kat yapıştırıcı sentezlenmiştir. Primer (astar) olarak Chemosil 211; ikinci kat yapıştırıcı olarak Chemosil 411 kullanılmıştır.

Chemosil 411 çeşitli kauçuk bileşiklerini metal ve polimer polimerik substratlara bağlayacak olan ısıyla aktiveleşen çok yönlü bir bağlayıcıdır.

Chemosil 411 bazı durumlarda tek bir kat halinde kullanılabilir. Genel kullanım için Chemosil 211 gibi uygun bir metal astarı ile birlikte kullanılmalıdır. Chemosil 211 ile birlikte kullanıldığında nihai bağın kullanım sırasında çevresel direnci kuvvetlidir.

Chemosil 411; Doğal Kauçuk (NR), Bütadien (BR), İzopren (IR), Strien Bütadien (SBR), Nitril (NBR), Kloropren (CR), Etilen Propilen (EPDM) ve Bütil (IIR) kauçuğu tabanlı elastomer bileşikleri birçok metal, alaşım ve polimerik substratlara bağlar.

Yapıştırıcı uygulanmadan önce metal yüzeyleri temizlenmelidir. Bu temizleme işlemi kimyasal ve mekanik olmak üzere iki farklı şekilde yapılmalıdır. Önce kimyasal temizlik yapılarak metal yüzeyleri yağ, toz, pas vb. yabancı maddelerden ayrılarak temizlenir. Sonrasında mekanik işlemler uygulanır. Kumlama, zımpara gibi işlemler mekanik yüzey temizlemede kullanılabilecek tekniklerdir.

Bu tez çalışmasında metal yüzeylerini temizlemek için kullanılan operasyonlar aşağıdaki gibidir;

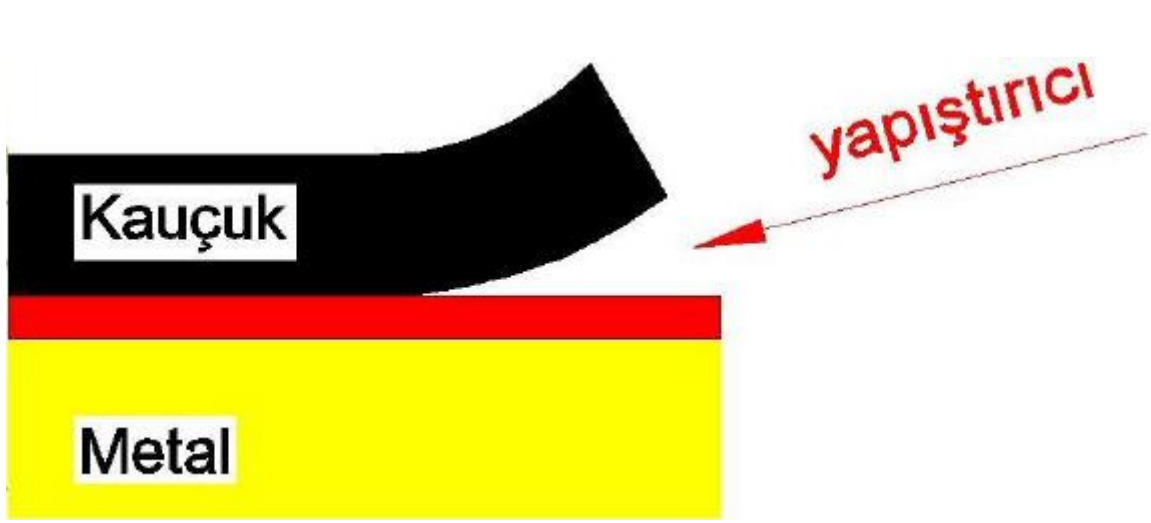
Kimyasal Yüzey Temizleme;

- Asit ile yüzey temizleme
- Yağ Alma
- Çinko Nikel Kaplama

Mekanik Yüzey Temizleme

- Kumlama

1.7.1 Yapışma Hata Türleri



Şekil 1.26 Bir Varsayımsal Yapışma Bağı.

1.7.1.1 Kauçuk ve Yapıştırıcının Birbirinden Ayrılması

- Yüksek Sıcaklık, Kavrulma
- Pişme Süresinin Fazla Olması
- Kullanılan kauçuğun son kullanma tarihinin geçmiş olması
- Kauçuk yüzeylerinde su, toz vb. yabancı madde bulunması
- Metal yüzeylerinde su, toz vb. yabancı madde bulunması
- Boyalı metal yüzeylere yağlı, kirli ve terli el ile temas edilmesi
- Kauçuğun kalıba seri bir şekilde yerleştirilememesi nedeniyle boyalı metallerin kalıpta uzun süre kalması

1.7.1.2 Yapıştırıcının Metalden Ayrılması

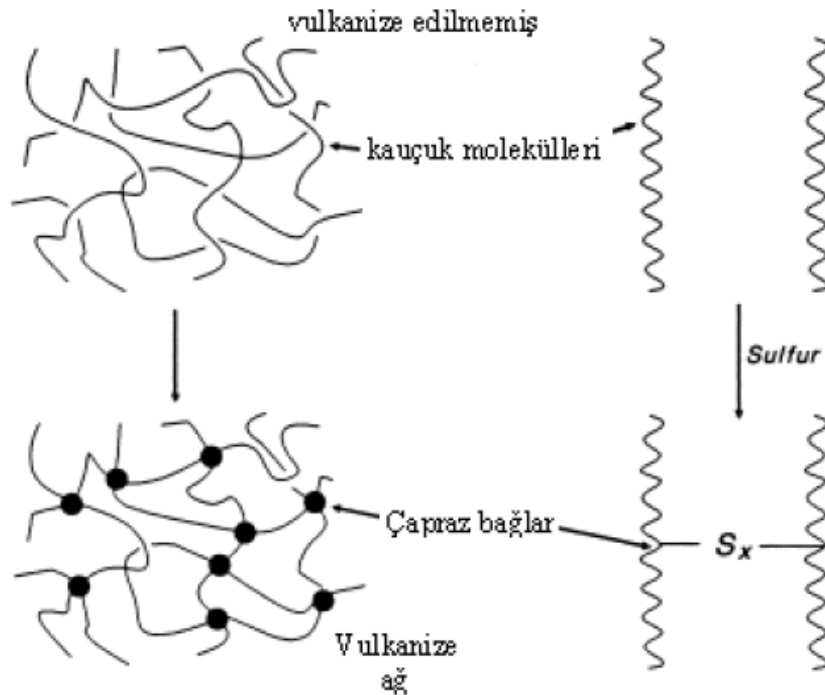
- Yetersiz kaplama
- Metal Yüzeye yapılan yağ alma işleminin uygun olmaması
- Metal yüzeylerinin kirli olması
- Boya karışımının uygun olmaması
- Boyanın yetersiz kurutulması
- Kaplama sonrası metal parçaların uzun süre bekletilmesi
- Yüksek Vulkanizasyon sıcaklığı

- Metal parçaların kalıba seri bir şekilde yerleştirilememesi nedeniyle boyalı metallerin kalıpta uzun süre kalması

1.8 VULKANİZASYON

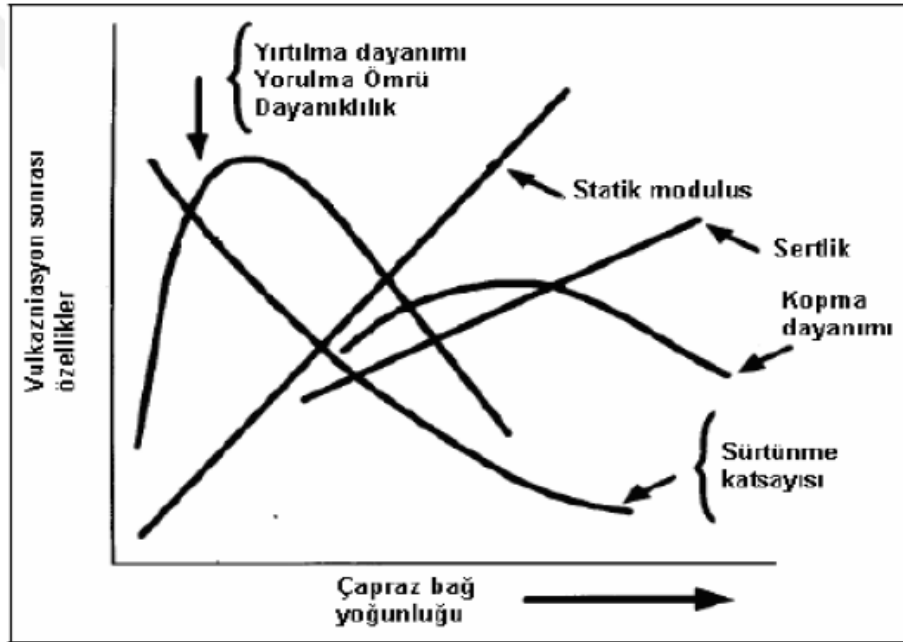
Lastik hamurları vulkanize olmadan önce, viskoelastik özelliklere sahip akışkandırlar. Hamurların özellikleri kauçuk ve katkı maddelerinin tip ve miktarlarına bağlıdır. Lastik hamurları vulkanize edilerek mekanik özellikleri iyileştirilir ve elastik özeliğe sahip olurlar. Vulkanizasyon, kauçuğun kükürt veya diğer eşdeğer çapraz bağlayıcıların ilavesiyle daha dayanıklı malzemelere dönüştürülmesi için kullanılan kimyasal sürecin adıdır. Vulkanizasyon, geri dönüşümü olmayan ya da çok zor olan bir kimyasal işlemdir [2].

Vulkanizasyon genellikle kauçuk ya da elastomerlere uygulanan prosestir. Bu maddeler mekanik kuvvetlere maruz kaldıktan sonra hemen hemen orijinal hallerine geri dönerler. Vulkanizasyon deforme edilen kuvvet kaldırıldıktan sonraki kalıcı deformasyonu azaltır. Böylelikle plastikliği azaltırken, elastikliği artırır. Genellikle çapraz bağlı molekül ağı oluşumu ile gerçekleştirilir [B3, 16'dan]. Ağ oluşumu Şekil 1.27'de gösterilmektedir [16].



Şekil 1.27 Ağ Oluşumu [23].

Elastomer maddelerin çapraz bağlanma ya da Vulkanizasyonu son ürün özellikleri açısından çok önemli olan karışık bir prosestir. Vulkanizasyon süresince kauçuk bileşiminin özellikleri değişir ve bu nedenle Vulkanizasyon karakteristikleri zaman ve sıcaklığın fonksiyonu olarak belirlenebilir [B4, 16'dan]. Vulkanizasyonun ve vulkanizatın yapısının analizi için Vulkanizasyon boyunca enerji ve reoloji özelliklerini belirlemek [B5, 11'den]. Polimerin elastiklik ve ısı dayanımı özellikleri çapraz bağlanmanın tipine ve derecesine bağlıdır [B6, 11'den]. Vulkanizasyon derecesine göre vulkanizat özellikleri Şekil 1.28'de gösterilmektedir. Şunu belirtmek gerekir ki; Şekil 1.28'de verilen özellikler sadece çapraz bağlanma yoğunluğuna bağlı değildir; aynı zamanda polimerin, dolgu maddelerinin ve çapraz bağlanmanın tipine de bağlıdır [B3, 16'dan].



Şekil 1.28 Vulkanizasyon Derecesine Göre Vulkanizat Özellikleri [16].

Genelde ve en basit şekilde bir ham kauçuk Vulkanizasyondan sonra aşağıdaki değişiklikleri gösterir [B7, 16'dan].

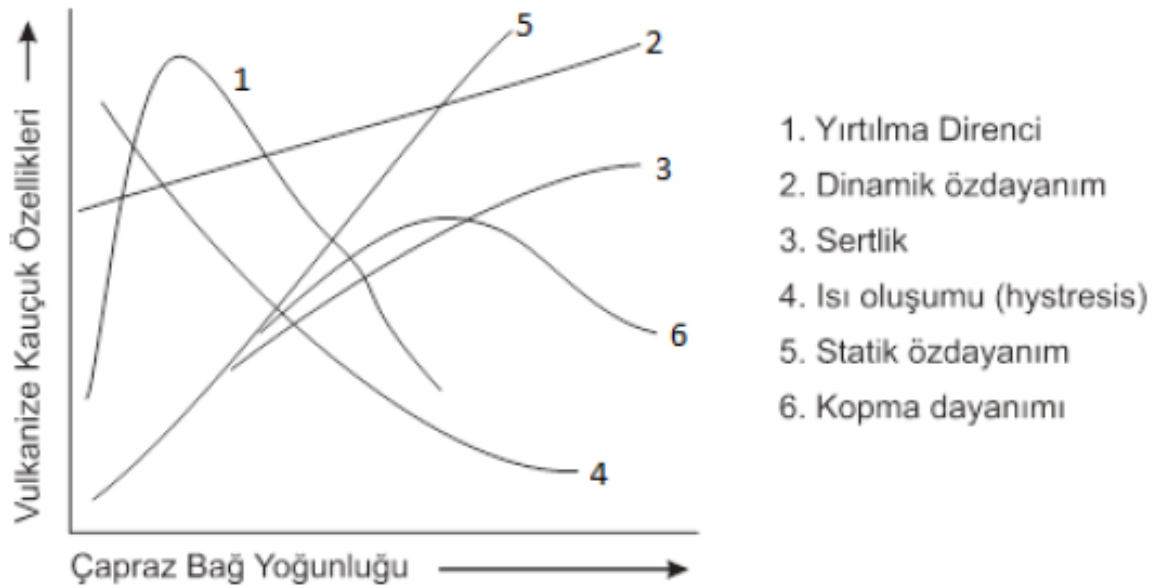
- Yapışkanlığın önlenmesi,
- Çekme kuvvetinde artma,
- Çözücülerde çözünmede azalma,
- Soğukta akma ve plastiklikte azalma,
- Elastiklik artışı,
- Sıcaklık hassasiyetinde azalma [16].

1.8.1 Vulkanizasyon Çeşitleri

Vulkanizasyon, kullanılan kimyasalara ya da proseslere göre isimlendirilir. Kauçuklara en yaygın olarak kullanılan çapraz bağlama tekniği kükürt Vulkanizasyonudur.

- Kükürt Vulkanizasyon
- Peroksit Vulkanizasyon
- Silan Vulkanizasyon
- Metal oksit Vulkanizasyon
- Reçine (resin) Vulkanizasyon
- Radyasyon ile Vulkanizasyon

Çapraz bağ yoğunluğu lastiğin özelliklerini etkiler (Şekil 1.29) Ancak lastiğin özellikleri sadece çapraz bağ yoğunluğuna bağlı değildir. Vulkanizasyon yönteminin, kauçuğun ve katkı maddelerinin tipi ve miktarlarının da lastiğin çapraz bağ yoğunluğu üzerinde etkili olduğu bilinmektedir.

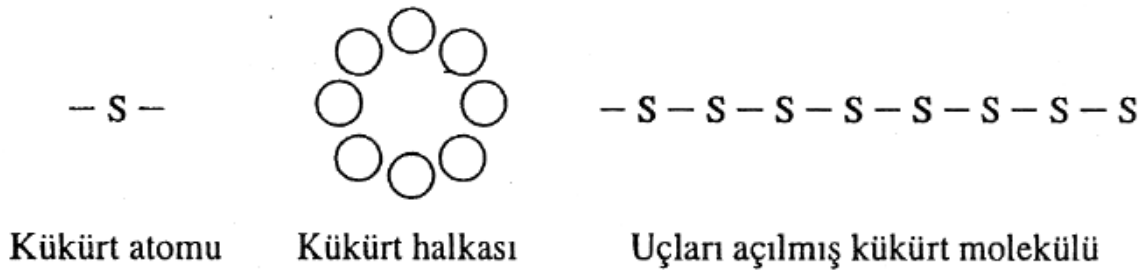


Şekil 1.29 Çapraz Bağ Yoğunluğu ile Değişen Fiziksel Özellikler.

1.8.1.1 Kükürt Vulkanizasyonu

Kükürt Vulkanizasyonu (genel anlamda Vulkanizasyonun) patenti 1844 yılında Charles Goodyear tarafından alınmıştır. O günden bu güne Vulkanizasyon yöntemleri, prosesler, kullanılan kimyasallarda büyük değişiklikler olmuştur. Bu değişiklikler ve kükürt Vulkanizasyonunun kontak ve lekeleme dezavantajı, aerobik ve anaerobik yaşlandırma dayanımının düşük olması ve kullanılan kimyasallardaki kısıtlamalara rağmen, kükürt Vulkanizasyonu halen dünyada en yaygın kullanılan Vulkanizasyon yöntemidir. Bu yaygın kullanımın temel sebepleri; oda sıcaklığından 300°C ve hatta daha yüksek sıcaklıklarda mümkün olması, zaman/hız oranının kimyasallarla oynayarak değiştirilebilme imkanı, kopma mukavemeti ve yırtılmaya devam direncinin yüksek olması, elastiklik, yorulma direncinin ayarlanabilmesi ve kükürt Vulkanizasyonunda kullanılan kimyasalların dış etkilere ve başka kimyasallardan az etkilenmesidir [B8, 16'dan].

Kükürt Vulkanizasyonda, kükürt molekülü halka şeklinde 8 kükürt atomunun birbirlerine bağlanmasıyla meydana gelmiştir. Vulkanizasyon işlemi sırasında sıcaklığın artışıyla bu halka bozulur ve düz ve aktif zincir yapısı oluşur (Şekil 1.30) [16].



Şekil 1.30 Kükürt Yapılarının Şematik Gösterimi.

Kükürt Vulkanizasyonu bir alilik hidrojenin kükürt köprüsü oluşturmak üzere yer değiştirmesini kapsar. Bu proses ısıdan etkilenmektedir. Hızlandırıcı ve aktivatör hızlandırıcı aktivatör kompleksi oluşturmak üzere reaksiyon verir. Sonra bu kompleks kükürt ile reaksiyon vererek aktif sülfür bileşikleri oluşturur. Bu bileşikler de kauçukla çapraz bağ oluşturmak için reaksiyon verirler. Önce çok fazla kükürt atomundan oluşan köprüler meydana gelir. Daha sonra çapraz bağların bozulmasıyla bağlar kısalır ve kauçuk ağ yapısı son şeklini alır. Bu dönüşüm nükleofilik yer değiştirme, serbest radikalik bağlanma, halka açılması, katılma ve yığılma reaksiyonları gibi bir dizi reaksiyon üzerinden yürümektedir [B9, 23'ten].

Kükürt vulkanizasyonunun evrimi aşağıda belirtilen önemli adımlar halinde özetlenebilir:

- Kauçuk + kükürt: Belirli bir ham kauçuğu değişikliğe uğratarak daha fazla istenilen özellikleri elde etmek içindir.
- Kauçuk + kükürt + çinko oksit: Karışımın geliştirilmesinde daha sonra atılan adım, kauçuk - kükürt karışımına çeşitli metal oksitlerin ilave edilmesidir. Bu maddeler pişme zamanını kısaltmak ve daha az kükürt kullanmak gayesiyle bulunmuştur. Çinko oksidin aktifleyici etkisi bugünkü kullanımda da önemini devam ettirmektedir.
- Kauçuk + kükürt + çinko oksit + organik hızlandırıcı + stearik asit: Anilin ve tio karbanilid, 1906'da ilk defa kullanılan orijinal organik Vulkanizasyon hızlandırıcılarıdır. Bu keşfi azot ihtiva eden çok sayıda organik bileşiklerin organik hızlandırıcılar olarak kauçuk Vulkanizasyonunda kullanılmaları üzerine araştırmalar izlemiş ve 1921'de bulunan "merkaptobenzotiazol" ilk gerçek ticari hızlandırıcı olmuştur [B7, 16'dan].

1.8.2 Kalıplama

Basit bir şekilde bir araya getirildiğinde, istenilen ürün formunu oluşturan bir boşluk meydana getiren çelik parçalar olarak tanımlanabilir. Kalıplama, çapraz bağlanmamış kauçuğun ısıtılmış bir kalıba yerleştirildiği, nihai ürün şeklini veren ve daha sonra malzemeyi Vulkanize eden en önemli pişirme işlemidir.

Kalıplamanın üç çeşidi vardır; kompresyon, transfer ve enjeksiyon. Her üç yöntemde de parça kalıp içindeki sıcaklık ve basınç altında Vulkanize olur. Vulkanizasyon süresi karışımın formülasyonuna, kalıp sıcaklıklarına bağlıdır.

1.8.2.1 Enjeksiyon

Enjeksiyonla şekillendirme işlemi, polimerin ısıtılarak yumuşatıldığı, basınç etkisiyle ürün şeklinin verileceği kalıba basılıp kalıbın soğutulmasıyla sertleştirildiği birkaç kademeli ve kesikli bir işlemdir [B10, 16'dan].

Enjeksiyon kalıplama yöntemi her biri kısmi olarak bir sonraki safhayı da giren çeşitli aşamalardan oluşmuştur. Çevrim kalıbın kapanması ile başlar. Makinenin plastik ünitesi lüle kalıbın yolluk burcuna dayanana kadar ileri doğru hareket eder. Bu safha sıcak yolluk sistemli

kalıplarda atlanabilir. Konvansiyonel yolluk sistemlerinde ise makine enjeksiyon lülesi kalıbı ısıtmaması için enjeksiyon işlemi bittikten sonra geriye çekilmelidir.

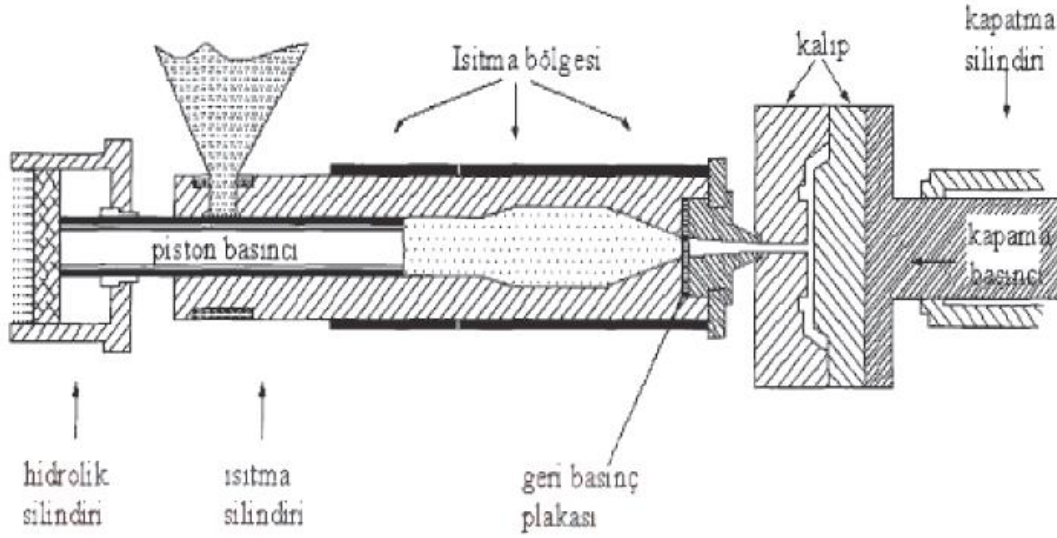
Makine enjeksiyon lülesi ile yolluk burcunun teması sağlanır sağlanmaz plastik ünitesi basıncı arttırmaya başlar ve artık enjeksiyon işlemi başlayabilir. Bu safha parça boyutuna ve işlem sırasına göre birkaç saniye kadar devam edebilir. Enjeksiyon safhası süresince oluşan koşullar kalite açısından parçanın bazı önemli karakteristiklerini etkiler. Tutma (ütüleme) basıncı safhası enjeksiyon safhasını takip eder. İşlemin bu safhası boyunca plastik ünitesi vidasının eksensel hareketi, kavite içinde soğumadan dolayı meydana gelen çekmeyi azaltmak için yeteri kadar malzemeyi kaviteye sokabilmek amacıyla yavaştır. Bu safha parçanın ağırlığını, boyut hassasiyetini ve içyapısını etkilemesi açısından yöntemin en önemli safhalarından biridir. Enjeksiyon ve tutma safhalarında plastik ünitesi kalıp ile temas halindedir.

Tutma basıncı safhasından sonra makine lülesi geriye çekilir. Plastik ünitesi geri geldikten sonra bir sonraki çevrim için plastikleşme işlemi başlar. Ancak bu durum makine lülesinin plastik ünitesi geri geldikten sonra kapanabilir tip olması durumunda mümkündür. Eğer lüle açık tip bir lüle ise, plastikleşme süreci lüle yolluk burcuna temas edince başlar. Uygun seçilmiş olan bir makinede plastikleşme safhası kalıbın soğuması tamamlanmadan önce biter.

Pratikte bu faz parçaların cidar kalınlığına ve plastikleştirilecek malzemeye bağlı olarak tamamlanır. Eğer makinenin plastikleşme performansı yeterli değilse çevrim zamanı plastikleşme zamanı tarafından belirlenir ve üretim maliyeti artar. Plastikleşme safhasını takiben parça yeterli mekanik kararlılığa ulaşana kadar soğutulur. Enjeksiyon kalıplama çevriminin en son safhasında kalıp açılır ve parça kalıptan çıkartılır. Bundan sonra artık bir sonraki çevrim başlar [B11, 16'dan].

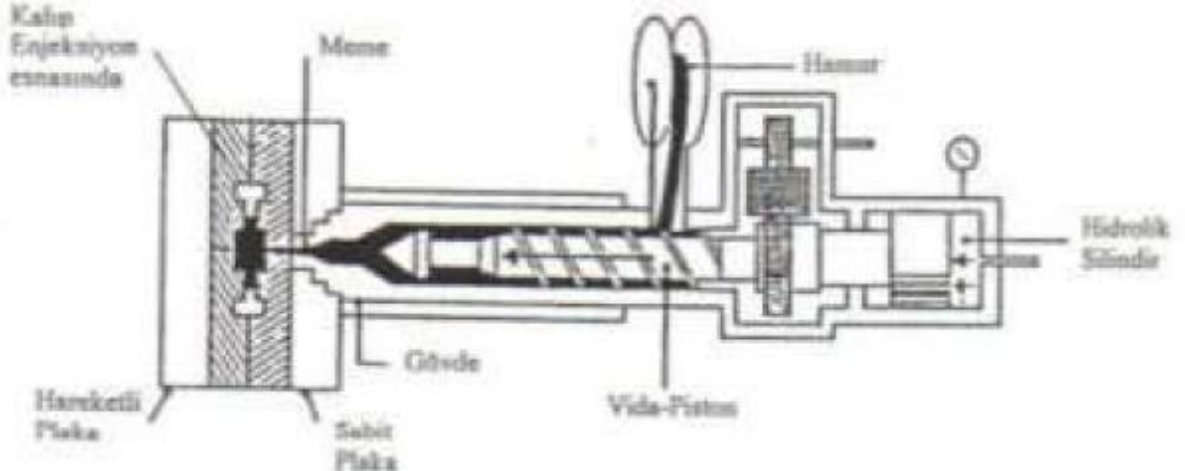
Tüm safhaların zamanları toplamından oluşan çevrim zamanı parça maliyeti açısından kritik bir önem taşır. Tüm safhaların sürelerinin mümkün olduğu kadar kısaltılabilmesi için belirli bir çaba gereklidir ve tüm makine ve kalıp hareketleri mümkün olduğu kadar kısa sürelerde gerçekleştirilmelidir [B11, 16'dan].

Enjeksiyonla kalıplama makineleri enjeksiyon ve kapatma olmak üzere iki ayrı sistemden oluşur (Şekil 1.31). Kapatma sistemi kalıbı bağlama, kalıbı açıp kapatma ve erimiş polimeri kalıba enjekte eden sistemleri kapsamaktadır. Kalıp yüzeylerinin tam olarak birbirine yapışması ürün kalitesini etkileyen önemli bir özelliğidir. Tam olarak kapanma sağlanmadığı zaman kalıp arasında kalan boşlukta malzeme taşarak ürünün bozuk veya çapaklı olmasına yol açacaktır [B12, 16'dan].



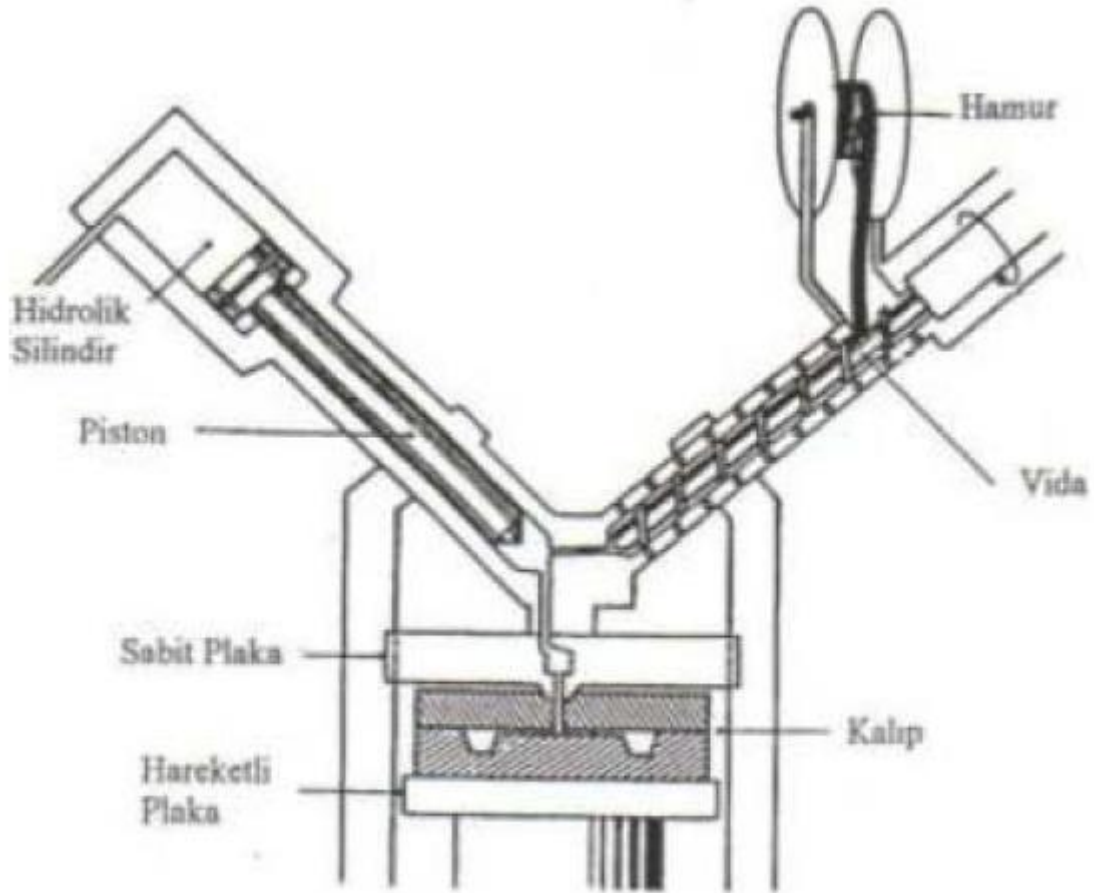
Şekil 1.31 Enjeksiyonla Kalıplama Makinesi [B12, 16'dan].

Enjeksiyon preslerinin dik ve yatay tipleri vardır. Yatay preslerde genelde sonsuz vida aynı zamanda piston görevini de yapmaktadır. Kalıp kapanır ve memeye kontak haline geldiğinde vida dönmeyi ve bir piston gibi karışımı kalıba basar [B13, 16'dan].



Şekil 1.32 Yatay Enjeksiyon Presi [B13, 16'dan].

Dikey preslerde günümüzde en çok kullanılan preslerdir. Parça çıkarıcı grubunun pres dışında olması, çift maçalı kalıplar kullanılarak imalat hızlarının artmasını sağlaması açısından yatay presler üstündür. Enjeksiyon grubu vidalı, vida ve pistonlu olabilir. Şekil 1.33'te gösterilen vida ve pistonlu preslerde, vida tarafından yumuşatılan ve ısıtılan karışım, pistonun bulunduğu 60-70°C sıcaklıktaki gövdeye doldurulur. Bu işlem Vulkanizasyon süresi bitene kadar tamamlanmalıdır. Kalıp açıldığında parçalar elle veya parça itici grubu yardımı ile alınır. Kalıp kapandıktan sonra bu karışım piston ile kalıba basılır. Enjeksiyonun tamamlanmasından sonra Vulkanizasyon başlar. Çevrim bu şekilde devam eder. Vidalı preslerde de aynı proses geçerlidir [B13, 16'dan].

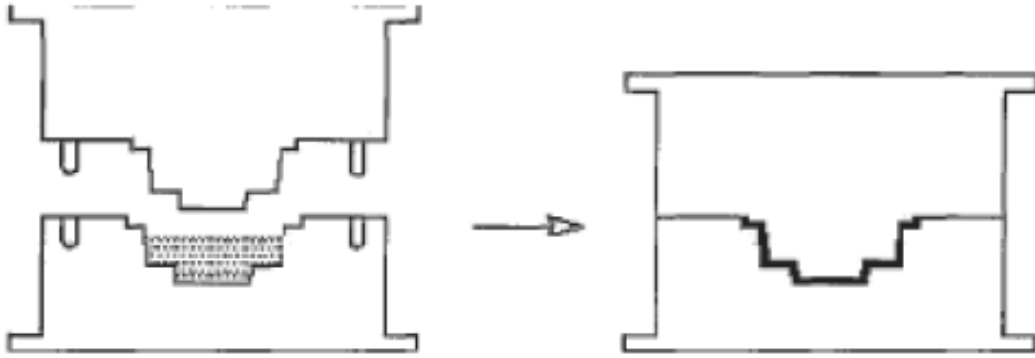


Şekil 1.33 Dikey Enjeksiyon Presi [B13, 16'dan].

Yüksek sıcaklıklarda çok kısa Vulkanizasyon süresi, otomatik çalışma imkanı sağlaması ve çapak miktarını önemli oranda azalması yönlerinde tercih edilir. Kalıp ve enjeksiyon preslerinin pahalılığı, ekonomik olması için fazla sayıda basması gerekliliği dezavantajlarıdır [B13, 16'dan].

1.8.2.2 Kompresyon

Kompresyon kalıplaması, prosesin basitliğinden ve kalıpların nispeten ucuz olmasından dolayı, büyük parçaların ve küçük serilerin kalıplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çiğ haldeki eboşlar (ekstrüzyondan çıkmış yarı mamül) önceden ısıtılmış kalıp gözlerine yerleştirilir ve kalıp kapatılınca malzeme kalıp gözünün her noktasına yayılır. Birkaç saniye sonra vulkanizasyon için gerekli basınç (5-10MPa) uygulanmadan önce, kalıplar aralanır ve hapsedilen havanın kaçmasına izin vermek için birkaç kez kapatılır. Vulkanizasyon sonrası kalıp açılır, parçalar manuel veya otomatik olarak çıkarılır [B13, 16'dan]. Baskılı kalıplama Şekil 1.34'de gösterilmektedir.

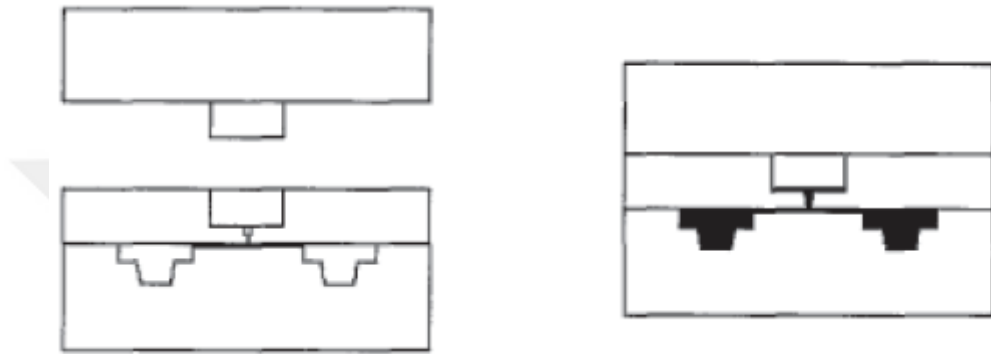


Şekil 1.34 Baskılı Kalıplama [B12, 16'dan].

Presler, kauçuğu değişik şekillere veya profillere dönüştürürler. Bu da kalıbın direkt ya da döner oluşuna göre değişir. Presleme işleminde, kauçuk ve kauçuk fireleri ısınmıştır. Kauçuğun presten çıkarılmasında fiber veya kumaşa benzer takviye malzemeler kullanılarak, sıkıştırılan kauçuğun sıyrılması sağlanır. Bazen preslenen kauçuk, tel kablo, polyester ve diğer maddeler kullanılarak, farklı kauçuk ürünler üretilir. Bazen de metalli parçalar ve kauçuk aynı anda prese konarak, metalli kauçuk parçaları üretilir [B10, 11'den]. Kompresyonla kalıplamanın avantajı kalıbın ucuzluğu ve işlemin basitliğidir. Dezavantajı uzun zamanda pişmesidir [B7, 16'dan]. Küçük ayrıntılar içeren, karmaşık ve çok ağır parçaların üretimi için uygun değildir [B12, 16'dan].

1.8.2.3 Transfer

Transfer kalıplama baskılı kalıplamaya benzemektedir. Burada kullanılan yöntem; bir pota içerisinde hazırlanan eriyik plastiğin üzerine basınç yapılarak bağlantı delikleri vasıtasıyla tekli veya çoklu halde hazırlanmış olan kalıplara enjekte edilmesidir. Daha sonra ürün soğutulurak kalıptan çıkarılır [B12, 16'dan]. Transfer kalıplama Şekil 1.35'te gösterilmektedir.



Şekil 1.35 Transfer Kalıplama [B12, 16'dan].

Transfer kalıplamasında kompresyon presi veya transfer presi kullanılır. Transfer presinde kalıbı kapatmak ve malzeme transferi için iki ayrı piston vardır. Transfer işlemi kalıp kapandıktan sonra gerçekleştiği için çapak oluşumu, dolayısıyla malzeme kayıpları daha azdır [B13, 16'dan].

Transfer kalıplaması, küçük parçaların seri üretiminde kullanılır [B13, 16'dan]. Bu kalıplamanın avantajı hızlı pişmesi ve zor parçalarda iyi netice vermesidir. Dezavantajları ise kalıbın pahalı olması, işlemin zorluğu ve pişme ile yanma bağlantısının kurulması zorluğudur [B7, 16'dan].

Bu tez çalışmasında transfer kalıplama yöntemi ile kullanılmıştır. Kauçuk – metal silindirik kompozitler, farklı kauçuk çeşitleri kullanılarak transfer kalıplama yapılarak, kompresyon presinde üretilmiştir.

BÖLÜM 2

MATARYEL VE YÖNTEM

2.1 MATARYEL

2.1.1 Kullanılan Kauçuk Reçete Bilgileri

Çizelge 2.1 Kauçuk Reçete Bilgileri Çizelgesi.

Kullanılan Kimyasallar	NBR	EPDM	SBR	NR
SBR 1502			100	10
EPDM (OİL CONTENT %50)		100		
SVR 3L				90
NBR ACN CONTENT %33	100			
KAOLEN	25		30	15
SİLİKA	10	7	7	8
CARBON BLACK N550	15	45	15	35
YUMUŞATICI	10	4	7	15
ÇİNKO OKSİT	5	5	5	5
STEARİK ASİT	1,5	1,5	1,5	1,5
OZONWAX			2	2
REÇİNE		1	3	
PEG 4000		0,5		
TBZTD	0,3	0,4	0,3	0,3
MBT		0,8		
CBS	2		2	1,5
MBTS			1	1
KÜKÜRT	2	1,25	2,5	2

2.1.2 Kullanılan Test Cihazları

2.1.2.1 Kauçuk Testlerinde Kullanılan Test Cihazları

Rheometre testi MonTech 3000 Basic Rheometre Test Cihazı (Şekil 2.1) ile yapılmıştır.



Şekil 2.1 MonTech 3000 Basic Rheometre Test Cihazı.

Kopma mukaveti ve kopma uzaması testi, Zwick Roel Üiversal Test Cihazı 2,5 kN (Şekil 2.2) ile yapılmıştır.



Şekil 2.2 Zwick Roel Üniversal Test Cihazı 2,5 kN.

2.1.2.2 Ürün Testlerinde Kullanılan Test Cihazları

Axial ve Radial testi Zwick Roel Üniversal Test Cihazı 50 kN (Şekil 2.3) ile yapılmıştır.



Şekil 2.3 Zwick Roel Üniversal Test Cihazı 50 kN.

2.1.3 Kullanılan Metal Yarı Mamuller

Metal – kauçuk kompozit silindirlerin üretiminde iki farklı yarı mamul kullanılmıştır. Bu yarı mamullerin her ikisi de malzemesi St37’dir.

Bu yarı mamullerden, iç boru olarak kullanılan metalin boyutları dış çapı 35mm iç çapı 28mm ve boyu 70mm’dir.



Şekil 2.4 Ø35/28X70 MM-ST37 (İç Boru).

Metal – kauçuk kompozit silindirinde, dış boru olarak metalin boyutları dış çapı 67mm iç çapı 60mm ve boyu 70mm’dir.



Şekil 2.5 Ø67/60X70 MM-ST37 (Dış Boru).

Üretimi kapılacak metal – kauçuk silindirik kompozitte iç boru ve dış boru arasında kauçuk malzeme kullanılarak kompozit bir yapı elde edilmiştir.



Şekil 2.6 Metal – Kauçuk Kompozit Silindirin İzometrik Görünüşü.

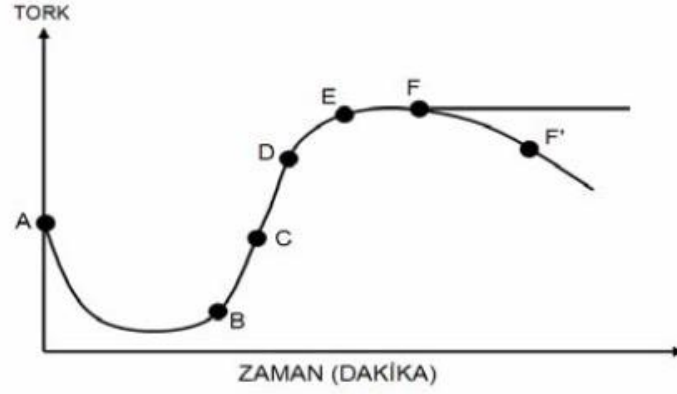
2.2 YÖNTEM

2.2.1 Kauçuk Testlerinin Yapılması

Vulkanizasyon sonrası oluşan çapraz bağların etkileri kauçuk türüne göre değişir. Bu etkileri yorumlamak için rheometre test cihazı ile Vulkanizasyon yapılan kauçuk incelenir.

Doğal kauçuklar ve sentetik kauçuklar, 1.6. Karışım Hazırlama Prosesi’nde de anlatıldığı gibi karbon karaları, proses yağları, pişiriciler, hızlandırıcılar, yavaşlatıcılar gibi katkı malzemeleri karıştırılarak elde edilir.

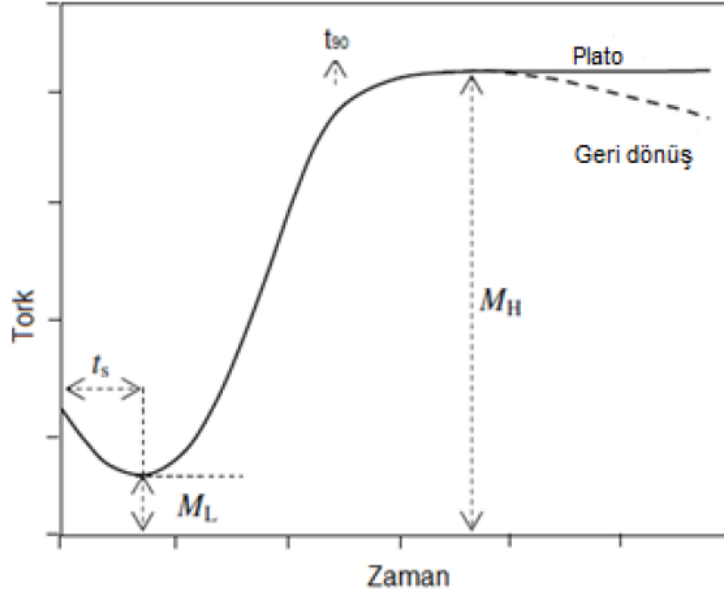
Reçete bilgileri doğrultusunda hazırlanan kauçuk hamuru, Rheometre Test Cihaz’ında pişirme mekanizmasında vulkanize edilerek Vulkanizasyon eğrisi elde edilir. Pişirme olayı esnasında lastik hamuru önce sertleşir, sonra yumuşar, sonra yeniden sertleşir. Oluşan Vulkanizasyon eğrisi Şekil 2.7’de gösterilmiştir ve bu Vulkanizasyon eğrisinden elde edilebilecek veriler aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 2.7 Vulkanizasyon Eğrisi.

- **AB** arasında lastik hamuru, yumuşar ve akışkandır. AB'nin uzun olması emniyetli çalışmayı sağlar.
- **BC** arasında eklenen kükürt halkası açılır, lastik içinde bulunan polimer ile etkileşmeye başlar.
- **CD** arasında kükürt çapraz bağlar yapmaya başlar. Bu nokta grafiğin en önemli aralığıdır. Vulkanizasyonun hızını verir. Eğim ne kadar dikse Vulkanizasyon da o kadar hızlıdır.
- **DE** arası, vulkanizasyonun en uygun olduğu sıcaklık aralığıdır.
- **EF**'de lastik hamuru tekrar sertleşmeye başlar.

Kauçuk hamuru hammaddelerinden kauçuk örneği folyo arasına konularak, sürekli yüksek sıcaklık ve pozitif bir basınç altında çift konik disk içeren test boşluğuna yerleştirilir. Kauçuğun katılığına bağlı olarak salınım için bir güce ihtiyaç duyar. Bu güç (tork) zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Kaydedilen tork bir denge ya da maksimum değere ulaştığında tamamlanmış bir Vulkanizasyon eğrisi oluşur.



Şekil 2.8 Vulkanizasyon Eğrisi [19].

t_{s2} : Ön vulkanizasyon (scorch) zamanı (dk)

ML: Minimum tork (Nm)

MH: Maksimum tork (Nm)

t_{90} : Maksimum tork değerinin %90'ına ulaştığı zaman (dk)

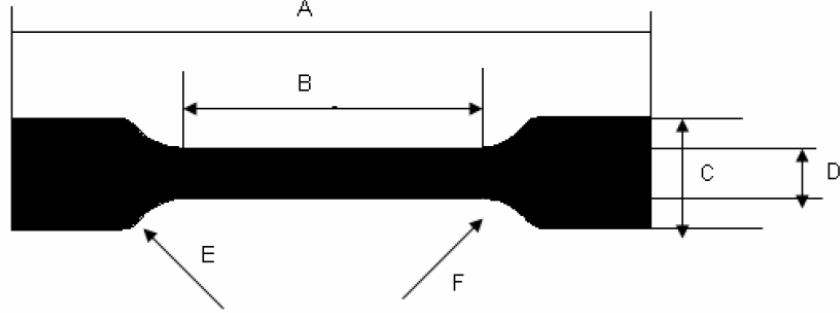
Bu tez çalışmasında yapılan reolojik kontroller Tez kapsamında tüm reolojik ölçümler MonTech 3000 Basic Rheometre Test Cihazı'nda **ASTM D 5289** standardına göre yapılmıştır.

2.2.1.1 Çekme Kopma Testi

Kopma mukavemeti, kopma anında kauçuk malzemenin çekmeye karşı dayanımının MPa cinsinden ifade edilmesidir. Kopma uzaması ise; kopma anında kauçuk malzemenin ilk boyuna oranla uzama miktarının % uzama cinsinden ifade edilmesidir. Kauçuk sektöründe kopma mukavemetinin 7,5 MPa'ın altına olmaması ve kopma uzamasının minimum %200 olması istenir.

Bu test DIN 53504 standardına göre yapılmıştır. Hazırlanan 2 mm'lik test plakalarından DIN 7863'e göre özel kesme aparatı ile papyon şeklinde 6 adet numune kesilmiştir. Numunelerin 3 tanesi yaşlanma sonrası için kullanılmıştır. Yaşlandırma prosesi 100 °C'de 1 hafta süre ile etüvde yapılır. Yaşlandırma öncesi ve sonrası papyon test numunesine Zwick Roel Universal

Test Cihazı 2,5 kN’da test edilir. Yaşlandırma öncesi ve sonrası test numunelerine yapılan test sonuçları karşılaştırılır. Yaşlandırma sonrasında kopma mukavemetinde en fazla %25’lik azalma, kopma uzamasında ise en fazla %50’lik azalma kabul edilebilir.



Şekil 2.9 Çekme – Kopma Testinde Kullanılan Tip 2 Test Numunesi.

- A: Toplam uzunluk, 75 mm
- B: Dar kısmın uzunluğu, 25 mm
- C: Uçların genişliği, 12,5 mm
- D: Dar kısmın genişliği, 4 mm
- E: Kavis yarıçapı (dış), 8 mm
- F: Kavis yarıçapı (iç), 12,5 mm

2.2.1.2 Sertlik Testi

Bu tez çalışmasında sertlik testi **TS ISO 48** standardına göre yapılmıştır. Durometre ölçüm cihazı ile Shore A birimi kullanılarak ölçümler yapılmıştır.

Sertlik testi; küçük bir temas kuvveti ile büyük bir batma kuvveti altında batma ucunun kauçuk içinde ilerlediği derinlikler arasındaki farkın ölçülmesidir.



Şekil 2.10 Sertlik Ölçümünde Kullanılan Dijital Durometre

2.2.2 Kauçuk – Metal Silindirik Kompozitlerinin Hazırlanması

Bu tez çalışmasında incelenen kauçuk – metal silindirik kompozit üründen sertlik sabit tutularak 4 farklı kauçuk tipi kullanılarak numune üretimi yapılmıştır. Kullanılan kauçuk tipleri ve sertlik değeri aşağıdaki gibidir;

- Doğal Kauçuk (NR) – Sertlik Değeri: 60 Shore A
- Strien Bütadien Kauçuk (SBR) – Sertlik Değeri: 60 Shore A
- Akrilonitril Bütadien Kauçuk (NBR) – Sertlik Değeri: 60 Shore A
- Etilen – Propilen Kauçuk (EPDM) – Sertlik Değeri: 60 Shore A

Kauçuk – metal silindirik kompoziti, iki metal yarı mamulden oluşmaktadır. Her iki metal yarı mamul de kauçuk – metal yapışma mukavemeti için kimyasal ve mekanik temizleme yapılır ve yapıştırıcı uygulanır. Bu operasyonların her biri kauçuk tiplerinden bağımsız aynı parametrelerde yapılmıştır.

Kauçuk – metal silindirik kompozitlerde kullanılan metal yarı mamuller, Vulkanizasyon prosesi öncesinde kauçuk – metal yapışmasının sağlanabilmesi için yüzey temizleme operasyonlarına tabi tutulurlar. Metal yarı mamuller önce asit ile temizleme ve yağ alma operasyonları ile kimyasal yüzey temizleme operasyonu gerçekleştirilir. Buradaki amaç metal yüzeyinde olabilecek kir, pas, toz, yağ vb. yabancı maddelerin uzaklaştırılmasıdır. Kimyasal yüzey temizleme operasyonu tamamlanan metal yarı mamullere mekanik temizleme operasyonu uygulanır.

Mekanik temizleme operasyonu kumlama operasyonu ile yapılır. Buradaki amaç metal yarı mamullerin yüzeylerini temizlemek ve kauçuğun metal üzerinde tutunmasını sağlayabilmek için yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktır. Kumlama operasyonunun yapılacağı makine ve aparatlar belirlenirken ürün boyutları ve makine kapasite analizi baz alınır.



Şekil 2.11 İç Borunun Kumlamasında Kullanılan Kumlama Makinası.

Kauçuk – metal silindirik kompozitinde kullanılan Ø35/28X7MM-ST 37 (İç Boru) yarı mamulü aparata dizilerek Şekil 2.11 gösterilen kumlama makinasının askılarına yerleştirilir. Ø35/28X7MM-ST 37 (İç Boru) yarı mamulünün sadece dış kısmı kumlanır. Çizelge 2.2’de belirtilen kumlama süresini tamamlandıktan sonra kumlama makinasının kapağı otomatik olarak açılır ve iç boru yarı mamuller kumlama makinasından çıkarılır.



Şekil 2.12 Kumlama Makinası Askılarına Yerleştirilen İç Boru Metal Yarı Mamülü.

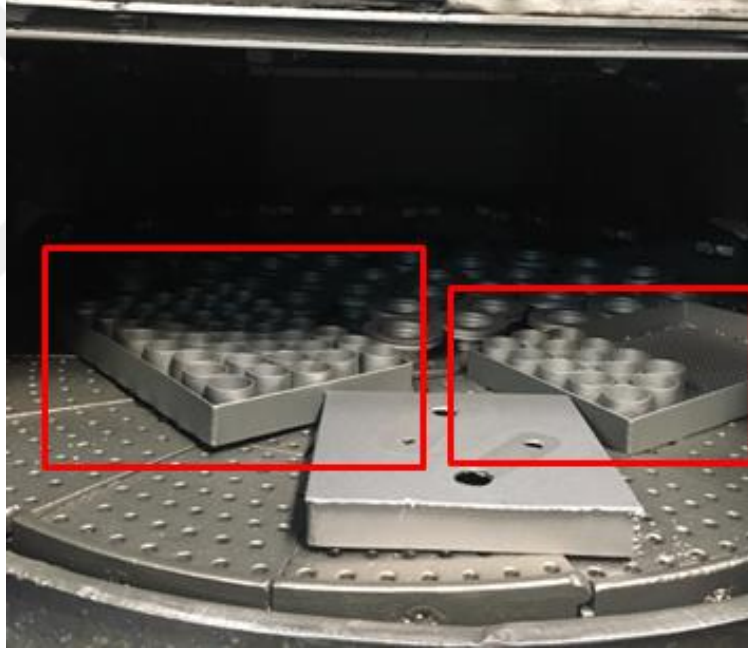


Şekil 2.13 Kumlanmış İç Boru Metal Yarı Mamul Görseli.

Yukarıda anlatılan işlemler aynı sıra ile dış boru yarı mamulü için de uygulanır. Buradaki tek fark seçilen kumlama makinasıdır.



Şekil 2.14 Dış Borunun Kumlamasında Kullanılan Kumlama Makinesi.



Şekil 2.15 Kumlama Makinesine Yerleştirilen Dış Boru Metal Yarı Mamülü.



Şekil 2.16 Kumlanmış Dış Boru Metal Yarı Mamul Görseli.

Çizelge 2.2 Kumlama Süreleri Çizelgesi.

Birinci Kumlama Süresi (dk)	İkinci Kumlama Süresi (dk)	Üçüncü Kumlama Süresi (dk)	Toplam Kumlama Süresi (dk)
3	3	3	9

Kimyasal ve mekanik yüzey temizleme operasyonu tamamlanan metal yarı mamuller, kauçuk – metal yapışma mukavemetinin sağlanabilmesi için Chemosil Boyama dediğimiz, yapıştırıcı kimyasalın uygulandığı, prosese geçirilirler.

Burada uygulanan operasyonda boyanacak yüzeyin geometrik yapısına bağlı olarak boyanın uygulanma tipi seçilir. Manuel fırça ile ya da sprej tabancası ile metal yarı mamullerin Chemosil Boyama operasyonu yapılabilir. Boyanacak yüzey, metalin kauçuk ile yapışacak yüzeyi kadardır. Sadece bu yüzeye Chemosil Boyama operasyonu gerçekleştirilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan kauçuk – metal kompozit silindirin dış boru metal yarı mamulüne manuel fırça ile iç boru metal yarı mamulüne sprej tabancası ile Chemosil Boyama operasyonu yapılmıştır.

Chemosil Boyama operasyonunda astar görevi gören Chemosil 211, gri boya, uygulaması yapılır.



Şekil 2.17 Chemosil 211 ile Boyanan Dış Boru Yarı Mamulü.



Şekil 2.18 Chemosil 211 ile Boyanan İç Boru Yarı Mamulü.

Chemosil 211, gri boya ile boyanan iç ve dış boru metal yarı mamulleri kurutma fırınlarında en az 2 saat süre ile kurutma fırınında bekletilmelidir. Bu operasyon metal – kauçuk yapışma mukavemeti için kritik bir parametredir. Chemosil 211’in tam kurumaması, uygulanacak bir sonraki prosesin de kauçuk – metal yapışma mukavemetine etkisini engelleyecektir.

Kauçuk metal yapışma mukavemeti, metallerin kimyasal ve mekanik yüzey temizleme operasyonu ile başlamaktadır. Yüzey temizlemede ve Chemosil 211’de oluşabilecek olası hatalar, prosesin eksik ya da yanlış yapılmış olması kauçuk – metal yapışma mukavemetini olumsuz yönde etkileyecektir.

İç ve dış metal yarı mamuller, Chemosil 211 boya kuruma süresini tamamladıktan sonra Chemosil 411, siyah boya ile boyanırlar. Buradaki uygulanacak boyama metodu, Chemosil

211’de bahsi geçen parametreleri ile aynıdır. Chemosil 211 için seçilen boyama metodu, Chemosil 411’de de geçerli olup aynı metotla boyanırlar.



Şekil 2.19 Chemosil 411 ile Boyanan Dış Boru Yarı Mamulü.



Şekil 2.20 Chemosil 411 ile Boyanan İç Boru Yarı Mamulü.

Chemosil 411, siyah boya ile boyanan iç ve dış boru metal yarı mamulleri kurutma fırınlarında en az yarım saat süre ile kurutma fırınında bekletilmelidir.

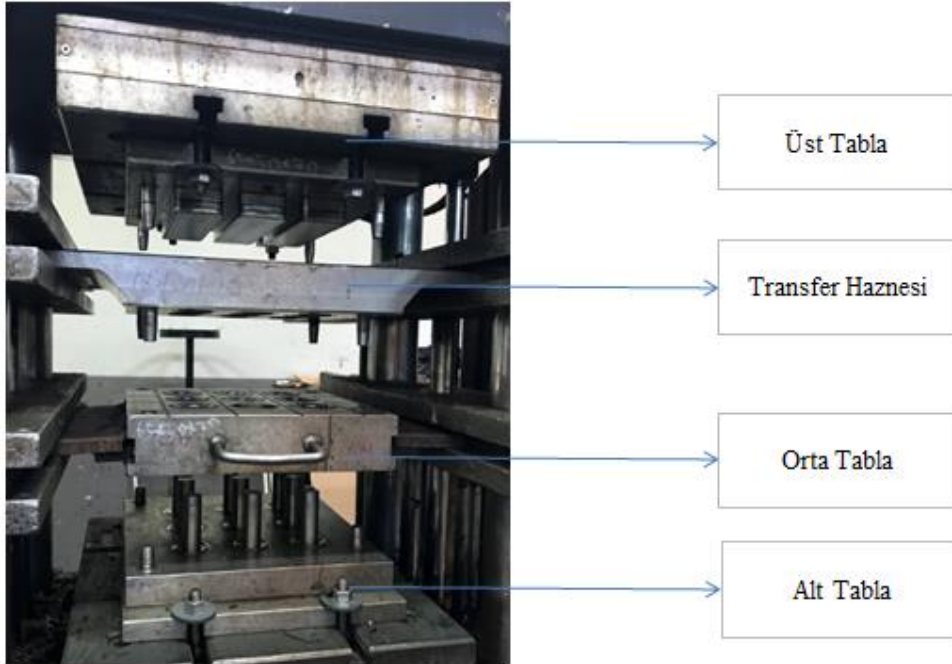
Yüzey temizleme ve Chemosil Boyama operasyonları tamamlanan metal yarı mamuller, Vulkanizasyon prosesi için hazırdır.

Kükürtlü Vulkanizasyon operasyonunda kullanılacak pres, ürün geometrisi, kalıp ebatları, pres tabla ebadı ve yıllık adet vb. kriterler dikkate alınarak belirlenir.

Bu tez çalışmasında üretilecek kauçuk – metal kompozit silindiri, transfer kalıbı kullanılarak kompresyon presinde üretilmiştir. Transfer haznesi, kalıp tasarım aşamasında üründe kullanılacak toplam gramaj dikkate alınarak hesaplanır.



Şekil 2.21 Kompresyon Presi



Şekil 2.22 Tranfer Kalıbı.

Vulkanizasyon prosesi için kauçuk tipine ve ürün geometrine bağlı olarak proses parametreleri belirlenir. Belirlenen proses parametreleri Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Kauçuk Tiplerine Göre Vulkanizasyon Parametreleri.

Kauçuk Tipi	Alt Tabla Sıcaklığı (°C)	Üst Tabla Sıcaklığı (°C)	Basınç (Bar)	Pişme Süresi (dk)
NR	140±10	140±10	180±20	30±5
NBR	145±5	145±5	180±20	35±5
SBR	140±10	140±10	180±20	30±5
EPDM	150±5	160±5	180±20	30±5

Ürün geometrisine uygun imalatı yapılmış Şekil 2.22'de gösterilen transfer kalıbı, Şekil 2.21'de gösterilen kompresyon presine bağlanır. Kalıp, prese bağlandıktan sonra Çizelge 2.3'te belirtilen kalıp sıcaklıkları presin kontrol ekranından ayarlanır ve kalıp kapatılır, belirlenen kalıp sıcaklığına ulaşana kadar beklenir. İstenilen sıcaklık değeri elde edildikten sonra üst tabla ve transfer haznesi kaldırılır. Kauçuk – metal silindirik kompozitinde kullanılan metal yarı mamuller kalıba yerleştirilir. Metal yarı mamulleri kalıba yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra transfer haznesi indirilir, bu hazne içerisine Vulkanizasyon yapılacak kauçuk yerleştirilir.



Şekil 2.23 Plaka Kauçuğun Transfer Haznesine Yerleştirilmesi.

Üst tabla indirilerek kauçuğun akışkan özellik kazandırılmış kauçuk transfer deliklerinden kalıp gözlerine enjekte edilir. Transfer haznesine ilk kauçuk dolumu sonrasında üst kalıp indirilerek önce sıkıştırma operasyonu yapılır. Bu operasyon piyasada “gazlama” işlemi olarak tanımlanır. Sıkıştırma işlemi sonrası üst tabla kaldırılır, transfer haznesinden taşan

kauçuk çapakları temizlenir ve transfer haznesine tekrar kauçuk yerleştirilir. Bu sıkıştırma işlemi 2 ya da 3 kez tekrarlanır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra Vulkanizasyon için belirlenmiş pişme süresi boyunca beklenir.

Pişme süresi tamamlandıktan sonra üst kalıp otomatik olarak kalkar. Transfer haznesinde bulunan çapaklar temizlenir. Bu temizleme işleminin yapılmasının amacı, ürünlerin kalıptan çıkarma işleminin kolay yapılabilmesi ve ürünlerin deforme olmasını engellemektir.



Şekil 2.24 Vulkanizasyonu Tamamlanmış Kauçuk – Metal Silindirik Kompozit Görseli.

2.2.3 Mekanik Testlerin Yapılması

Vulkanizasyonu tamamlanan kauçuk – metal silindirik kompozitlerin, belirlenen test parametrelerine uygun olarak mekanik testlerinin yapılma süreci başlar. Testlerin yapılabilmesi için Vulkanizasyon sonrası 24 saat beklenmelidir. Kauçuk – metal silindirik kompozitler, çift katmanlı metalden oluşmaktadır. Vulkanizasyon sırasında yüksek sıcaklığa maruz kalan metallerin soğuması beklenmelidir. Vulkanizasyon sonrası, metal – kauçuk silindirik kompozitler ısıya maruz kalmaya devam ettiği için, kauçuğun pişme işlemi devam etmektedir. Bu nedenle testlerin doğru sonuçlar vermesi için Vulkanizasyonu tamamlandıktan sonra 24 saat geçmesi beklenmelidir.

Bu bekleme süresi test sonuçları için kritik bir parametredir.

Çizelge 2.4’te verilen parametrelere göre, Zwick Roel Üniversal Test Cihazı 50 kN’da kauçuk – metal silindirik kompozitlerin önce eksenel statik sonra radyal statik testleri yapılır.

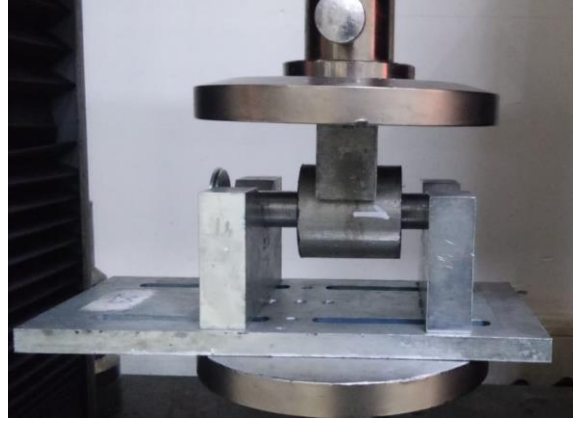
Çizelge 2.4 Test Parametreleri.

Test Tipi	Yaylanma Katsayısı (1mm – 5mm)		Yaylanma Katsayısı (0,1mm – 1,3mm)	
Eksenel Statik Test	Max	1008 N/mm		
	Min	672 N/mm		
Radyal Statik Test			Max	4000N/mm
			Min	6000N/mm



Şekil 2.25 Eksenel Test Aparatına Bağlanmış Ürün Görseli.

Kauçuk – Metal silindirik kompozit, Şekil 2.25’te gösterildiği gibi eksenel test aparatına yerleştirilir. Zwick Roel Üniversal Test Cihazı’ndan test programı seçilerek test başlatılır. Her kauçuk tipi için üretilmiş tüm kauçuk – metal silindirik kompozitler için test tekrarlanır.



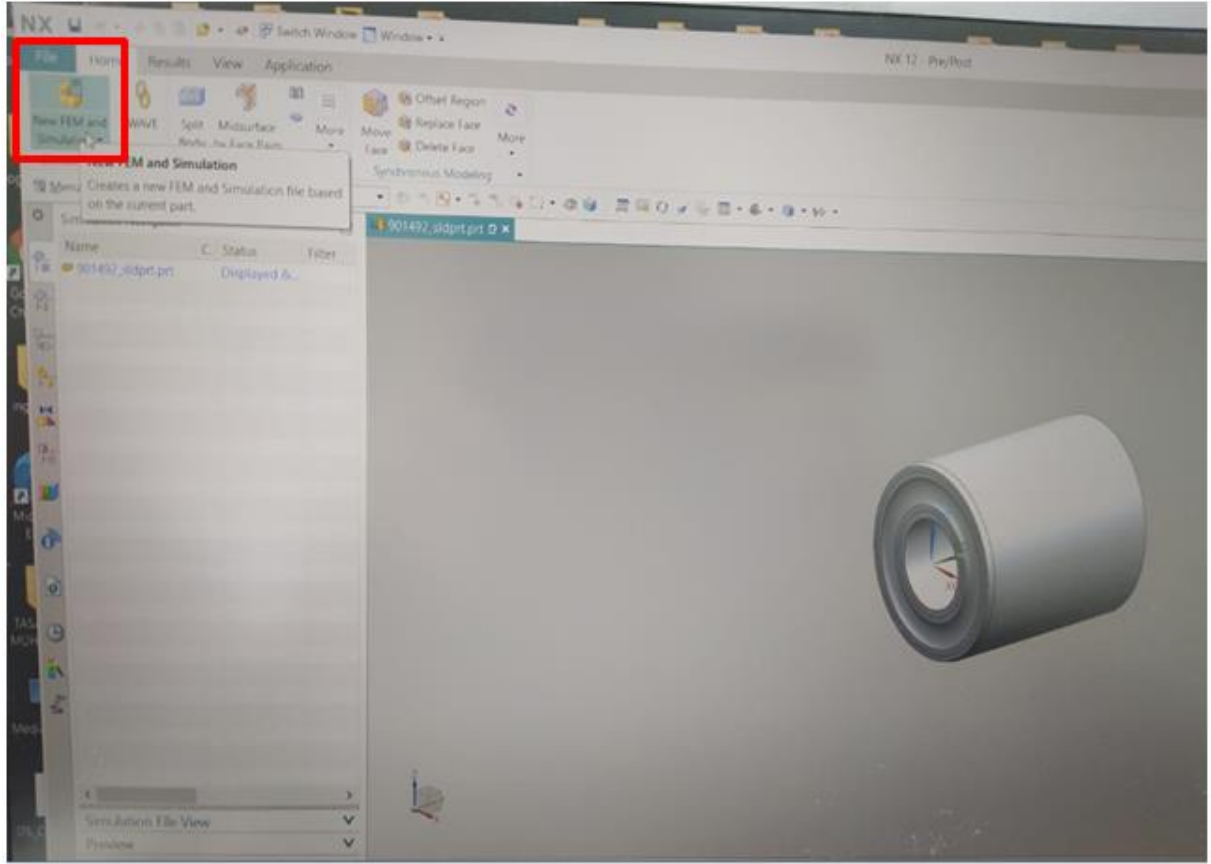
Şekil 2.26 Radyal Test Aparatına Bağlanmış Ürün Görseli.

Eksenel testi tamamlanan ürün Şekil 2.26’da gösterildiği gibi radyal test aparatına yerleştirilir. Zwick Roel Üniversal Test Cihazı’ndan test programı seçilerek test başlatılır. Her kauçuk tipi için üretilmiş tüm kauçuk – metal silindirik kompozitler için test tekrarlanır.

2.2.4 Sonlu Elemanlar Analizinin Yapılması

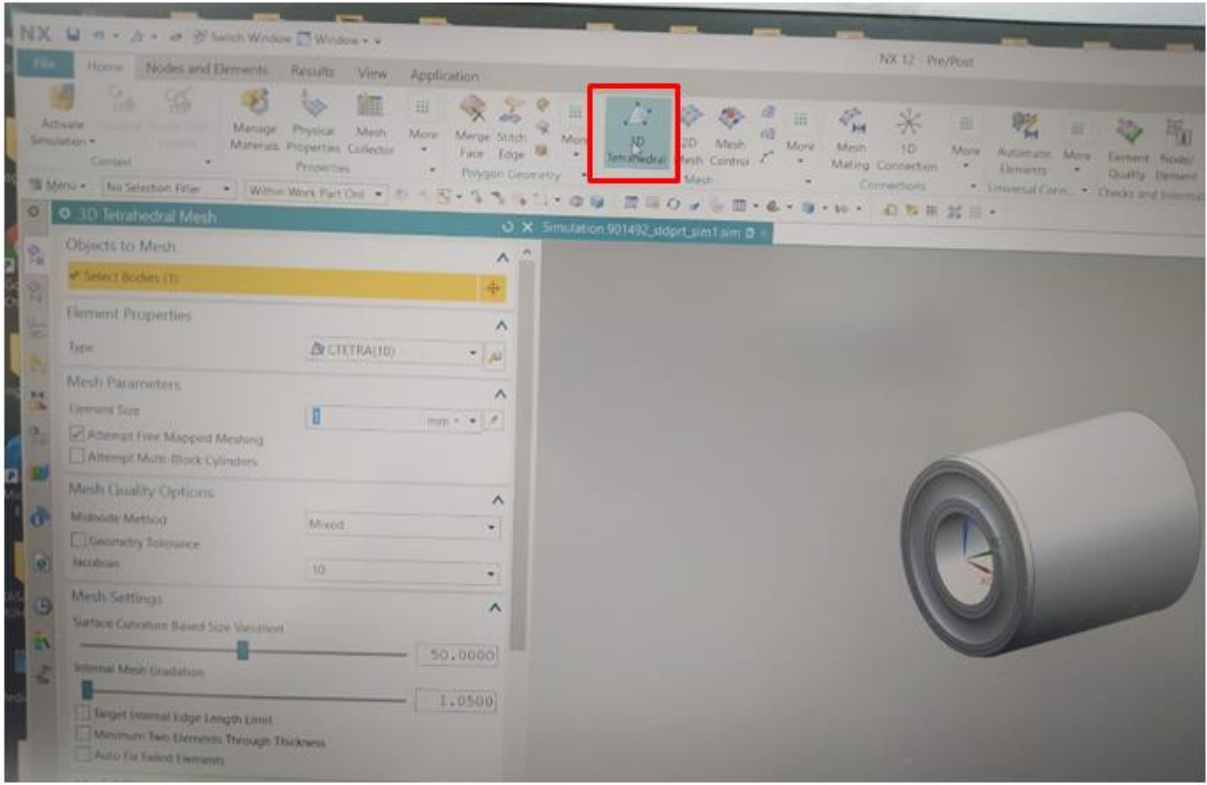
Bu tez çalışmasında, sonlu elemanlar analizi için NX programı kullanılmıştır. Üretimi yapılan metal – kauçuk silindirik kompozitin üç boyutlu modellemesi yapılmıştır. Bu modelleme üzerinde, kauçuk – metal bağlantısında kullanılan yapıştırıcı ajan programda tanımlanmıştır. Her bir kauçuk tipi için yapılan kauçuk testlerinden, kauçuk tiplerinin poisson oranı, elastisite modülü ve yoğunluğu hesaplanmıştır. Fiiliyatta yapılan bu testler neticesinde elde edilen veriler NX programında malzeme oluştururken kullanılmıştır. Yine fiiliyatta yapılan statik eksenel ve radyal test metotlarında olduğu gibi metal – kauçuk silindirik kompozitin test esnasında sabit yüzeyleri ve test aparatı ile temas eden yüzeyleri ve aynı zamanda kuvvetin uygulandığı yönler programda gösterilerek analizler yapılmıştır. Elde edilen veriler, beklenen teorik test değeri ve fiiliyatta gerçekleşen test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Metal – kauçuk silindirik kompozitin modellemesi tamamlandıktan sonra NX programında analiz sekmesine geçilir.



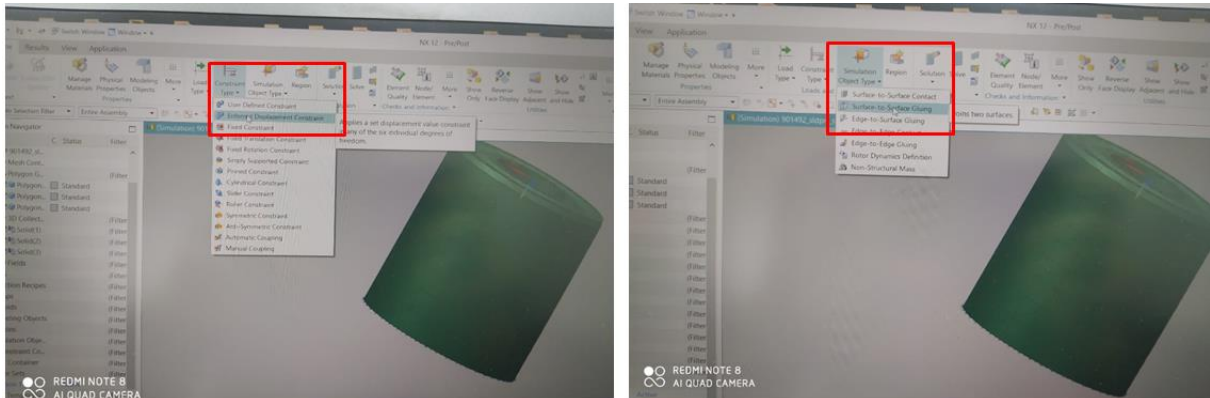
Şekil 2.27 Sonlu Elemanlar Analizinin Sekmesinin Açılması.

Analizin gerçeğe yakın sonuçlar verebilmesi için, model hayali dört yüzlü geometrilere bölünür. Bu hem analizin yapılabilmesi için programın zorunlu tuttuğu bir adımdır hem de gerçeğe yakın veriler elde edebilmek için önemli bir adımdır. “3D Tetrahedral” seçtiğinden model hayali dört yüzlü geometrilere bölünür. Analizin zorluğuna ve kolaylığına göre bu hayali geometrilendirme sıklaştırılabilir ya da azaltılabilir.



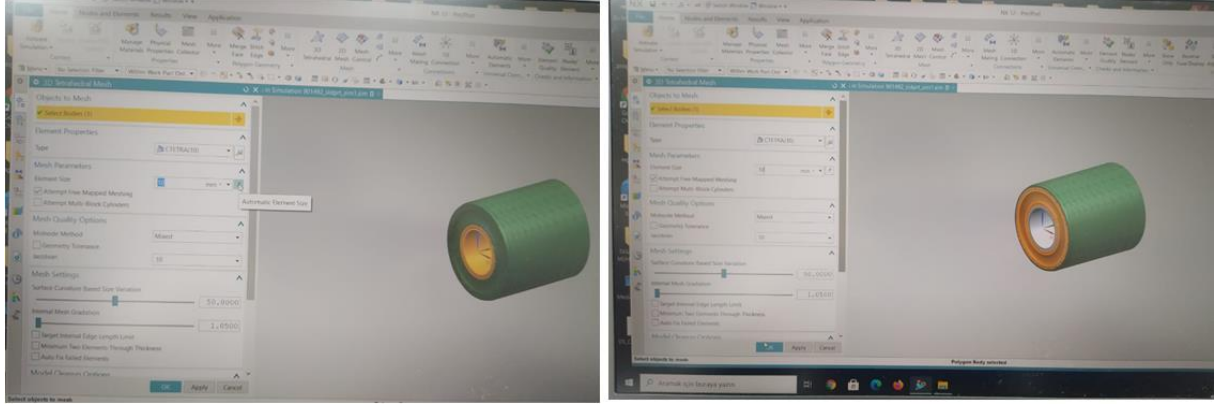
Şekil 2.28 Modelin Programda Dört Yüzlü Geometrilere Bölünmesi Görseli.

Sonraki adım, metal – kauçuk arasındaki yapıştırıcı ajan NX’te tanıtılmasıdır. 1. Yarı mamul diye adlandırdığımız Ø35/28X70 MM-ST37 (İç Boru) ile kauçuk arasında, 2. Yarı mamul diye adlandırdığımız Ø67/60X70 MM-ST37 (Dış Boru) ile kauçuk arasında yapıştırıcı ajan tanımlanır. Programdaki “Enforced Displacement Constraint” sekmesine basılır ve “Surface-to-Surface Gluing” seçilerek yüzeyler arasında yapıştırıcı ajan olacağı programa tanıtılır.



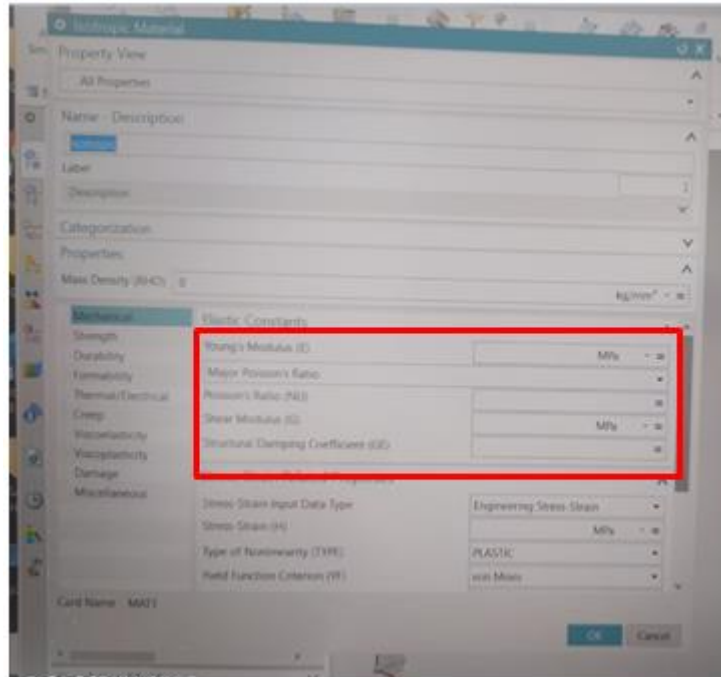
Şekil 2.29 Metal – Kauçuk Yapıştırıcı Ajan Uygulama Yüzeyinin Programda Tanıtılması.

“Surface-to-Surface Gluing” sekmesinden sonra programda hangi yüzeylerde yapıştırıcı ajan olduğu seçilmelidir.



Şekil 2.30 Yapıştırıcı Ajan Yüzeyinin Seçimi.

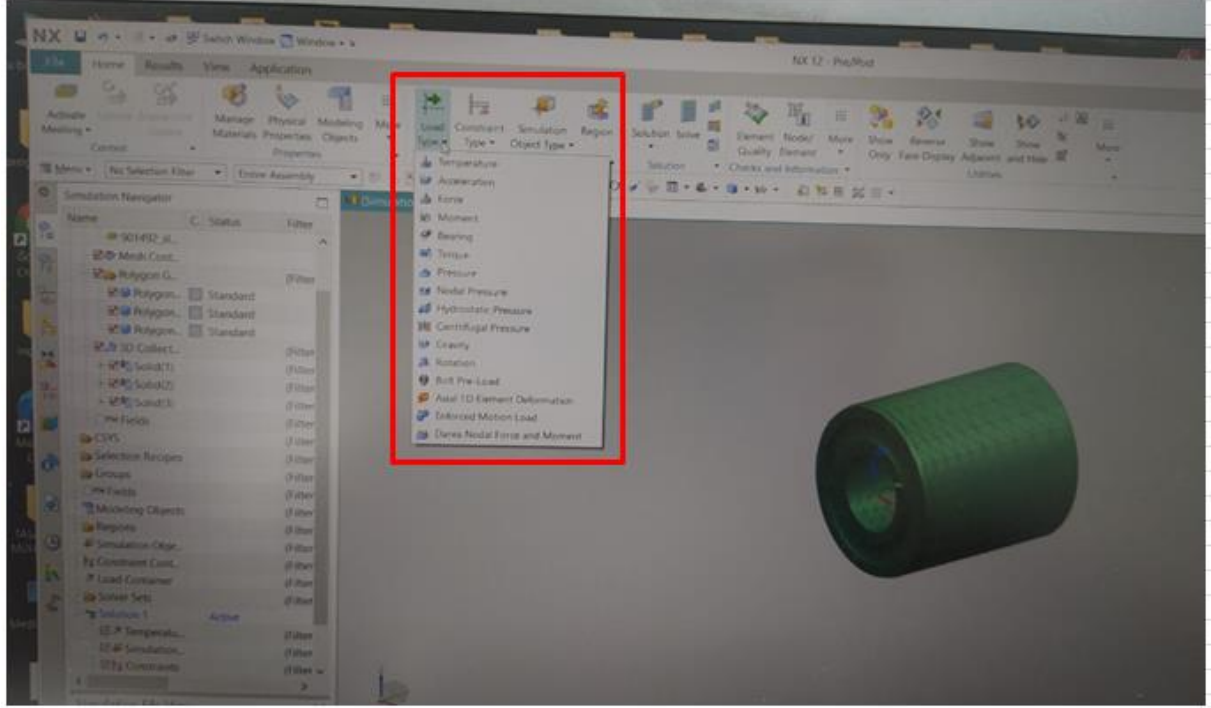
Model üzerinde oluşturulan 3 farklı geometri vardır. Bunlar 1. Yarı mamul ve 2. Yarı mamul dediğimiz metal malzemelerdir. Bu metaller St37 malzemedendir ve bu malzeme bilgileri NX’te mevcuttur. Modelde kullanılan diğer geometri olan kauçuk için malzeme bilgileri NX’te bulunmamaktadır. Bu nedenle programda yeni malzeme oluşturulmalıdır ve bu malzeme için Poisson oranı, Elastisite Modülü ve kauçuk malzeme yoğunluk bilgileri girilmelidir. Bu bilgiler kullanılan 4 kauçuk tipi için de ayrıca tanımlanmalıdır.



Şekil 2.31 Kauçuk Malzemelerinin Oluşturulması.

Kauçuk malzemenin programda oluşturulması, her bir kauçuk tipinin analizi yapılırken oluşturulmuştur. Poisson Oranı, Elastisite Modülü ve yoğunluk verileri tanımlanmıştır. Bu verileri malzeme seçimi yaparken analizin başında bir kez girmek yeterlidir.

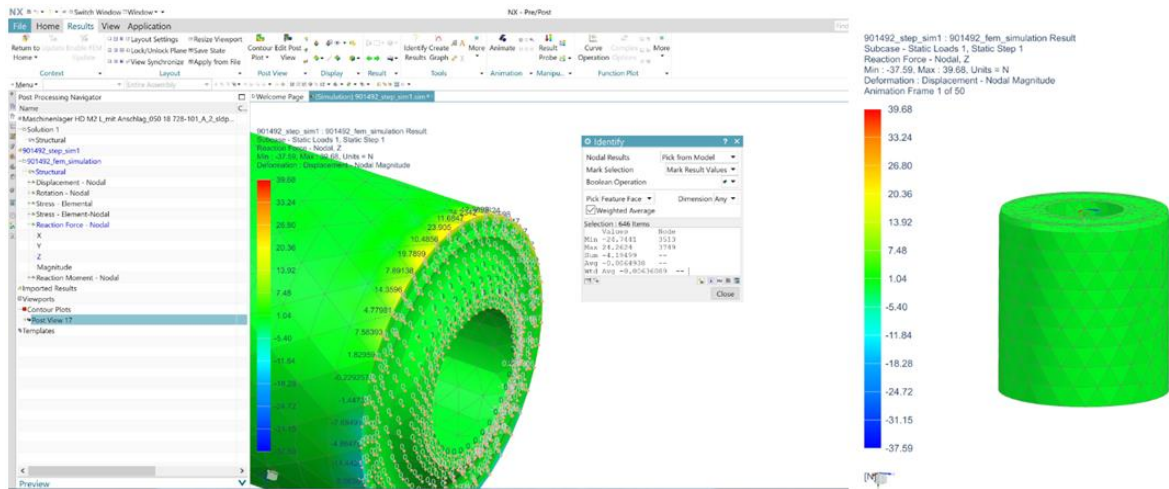
Bu verilerin girilmesinden sonraki aşama ürün üzerinde sabitlenecek yüzeylerin, test aparatının temas edeceği yüzeylerin, kuvvet tipinin ve kuvvet yönünün verilmesidir.



Şekil 2.32 Kuvvet Tipinin Seçimi.

Mevcuttaki test verileri deplasmana karşılık elde edilen kuvvet değeridir. Bu nedenle model üzerine etkiyecek kuvvet yönü tanımlanır ve deplasman değeri girilir. Belirtien deplasman değerleri, fiiliyatta yapılan testlerdeki deplasman değerlerdir.

Tüm veriler sonlu elemanlar analiz programında girildikten sonra analiz başlatılır. Analiz programında, fiiliyatta yapılan testlerde kullanılan deplasman değerleri kullanılarak adım verileri karşılaştırmak da mümkün olacaktır. Aynı zamanda hangi deplasman değerinde metal – kauçuk yüzeyinde deformasyonun başladığı tespit edilebilir olacaktır. Buradan yola çıkarak uygulanabilecek maksimum kuvvet değeri bulunabilir.



Bu analizin amacı, analiz programından elde edilen verilerin teorik test sonucu ve fiiliyatta elde edilen test sonucundan sapmasının hesaplanmasıdır. Analizden elde edilen test sonuçlarının fiiliyattaki test sonuçlarından sapması bulunarak, sonraki çalışmalarda numune üretimi yapılmadan analiz üzerinden ön görüde bulunmaktadır.

Böylece yeni bir projede kullanılacak kauçuk seçimi ve oluşturulacak kauçuk reçetesi için bir ön görüde bulunabilir. Firmanın alt yapısında bulunan kauçuk testlerinden elde edilen veriler kullanılarak, ürün testlerinin analizi yapılabilir. Elde edilen test sonuçlar, sapmalar dahil edilerek fiiliyattaki test sonuçları hakkında bir öngörüde bulunulması sağlayabilir. Böylece üretimi yapılacak kauçuk reçetesi için bir yaklaşım çıkarılabilir. Bu yapılan analiz neticesinde, kauçuk üretiminde kullanılacak kimyasallar, kauçuk üretimi ve ürünün üretimi için kullanılacak metal yarı mamul hazırlıklar; kumlama, Cheomesil boyama operasyonları, ürünün üretimi için Vulkanizasyon operasyonu, bunlara ek olarak işçilikten tasarruf sağlanabilir.



BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 RHEOMETRE TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ

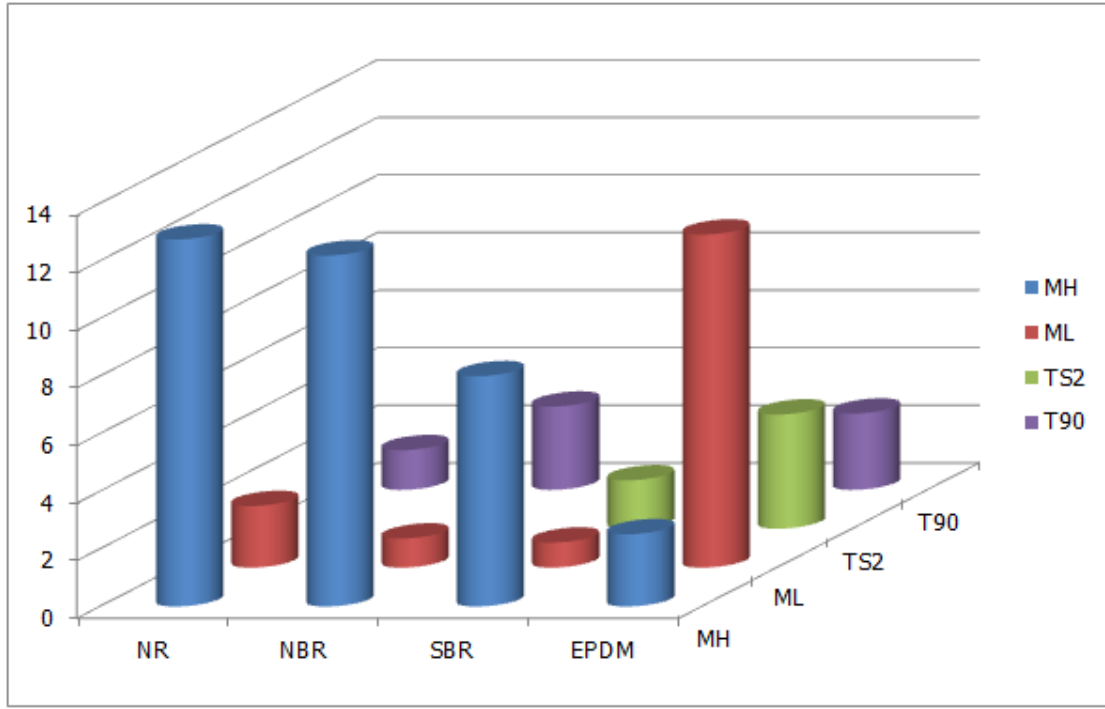
Bu tez çalışmasında analizi yapılan 4 kauçuk tipi için reolojik kontroller Çizelge 3.1’de gösterilen parametreler doğrultusunda yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Rheometre Test Parametreleri.

	NR	NBR	SBR	EPDM
Alt Tabla Sıcaklığı (°C)	180±10	180±10	180±10	180±10
Üst Tabla Sıcaklığı (°C)	180±10	180±10	180±10	180±10
Pişme Süresi (sn)	3±1	5±1	5±1	3±1

Çizelge 3.2 Rheometre Test Sonuçlarının Karılaştırmalı Tablosu.

Kontrol Kriteri	NR	NBR	SBR	EPDM
MH	12,75	12,19	8	11,57
ML	2,14	1,01	0,87	2,51
TS2	0,91	1,53	1,68	3,97
T90	1,38	2,89	2,65	2,65



Şekil 3.1 Rheometre Test Sonuçlarının Karşılaştırmalı Grafiği.

3.2 ÇEKME KOPMA TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Bu tez çalışmasında 2 mm'lik test plakalarından DIN 7863'e hazırlanan papyon numuneleri DIN 53504'e Zwick Roel Ünlversal Test Cihazı 2,5 kN'da testleri yapılmıştır. Her bir kauçuk tipi için 6 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelerden 3 adedi yaşlandırma öncesi 3 adedi de yaşlandırma sonrası testlerin yapılmasında kullanılmıştır.

3.2.1 NK Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Çizelge 3.3 NK Yaşlandırma Öncesi Çekme – Kopma Test Sonuçları.

	Numune – 1	Numune – 2	Numune – 3	Ortalama
Kopma Mukavemeti (MPa)	17,10	17,33	16,75	17,05
Kopma Uzaması (%)	421,70	430,66	418,98	423,78

Çizelge 3.4 NK Yaşlandırma Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçları.

	Numune – 1	Numune – 2	Numune – 3	Ortalama
Kopma Mukavemeti (MPa)	16,82	16,33	16,49	16,54
Kopma Uzaması (%)	414,00	417,22	406,60	412,60

Çizelge 3.5 NK Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.

	Kopma Mukavemetindeki Azalma (%)	Kopma Uzamasındaki Azalma (%)
Ortalama	2,99	2,63
Max. Kabul Edilebilir Sapma	25	50

Yaşlandırma öncesi ve sonrası çekme – kopma test sonuçları karşılaştırıldığında kopma mukavemeti için maksimum % 25 azalma ve kopma uzamasındaki maksimum %50 azalma kabul kriteridir. Çizelge 3.4’te gösterildiği gibi NK kauçuk yaşlandırma öncesi ve sonrası çekme – kopma test sonuçları karşılaştırıldığında belirtilen kriterlerin üzerinde sağladığı görülmektedir.

3.2.2 NBR Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Çizelge 3.6 NBR Yaşlandırma Öncesi Çekme – Kopma Test Sonuçları.

	Numune – 1	Numune – 2	Numune – 3	Ortalama
Kopma Mukavemeti (MPa)	12,43	13,76	12,95	13,04
Kopma Uzaması (%)	652,11	678,92	674,98	668,67

Çizelge 3.7 NBR Yaşlandırma Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçları.

	Numune – 1	Numune – 2	Numune – 3	Ortalama
Kopma Mukavemeti (MPa)	11,58	13,13	11,29	12
Kopma Uzaması (%)	643,95	641,23	631,29	638,82

Çizelge 3.8 NBR Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.

	Kopma Mukavemetindeki Azalma (%)	Kopma Uzamasındaki Azalma (%)
Ortalama	7,97	4,46
Max. Kabul Edilebilir Sapma	25	50

Yaşlandırma öncesi ve sonrası çekme – kopma test sonuçları karşılaştırıldığında kopma mukavemeti için maksimum % 25 azalma ve kopma uzamasındaki maksimum %50 azalma kabul kriteridir. Çizelge 3.8’de gösterildiği gibi NBR kauçuk yaşlandırma öncesi ve sonrası çekme – kopma test sonuçları karşılaştırıldığında belirtilen kriterlerin üzerinde sağladığı görülmektedir.

3.2.3 SBR Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Çizelge 3.9 SBR Yaşlandırma Öncesi Çekme – Kopma Test Sonuçları.

	Numune – 1	Numune – 2	Numune – 3	Ortalama
Kopma Mukavemeti (MPa)	8,41	8,59	8,87	8,62
Kopma Uzaması (%)	428,09	459,90	446,11	444,70

Çizelge 3.10 SBR Yaşlandırma Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçları.

	Numune – 1	Numune – 2	Numune – 3	Ortalama
Kopma Mukavemeti (MPa)	7,58	7,65	7,24	7,49
Kopma Uzaması (%)	400,71	381,99	381,03	387,91

Çizelge 3.11 SBR Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.

	Kopma Mukavemetindeki Azalma (%)	Kopma Uzamasındaki Azalma (%)
Ortalama	13,11	12,77
Max. Kabul Edilebilir Sapma	25	50

Yaşlandırma öncesi ve sonrası çekme – kopma test sonuçları karşılaştırıldığında kopma mukavemeti için maksimum % 25 azalma ve kopma uzamasındaki maksimum %50 azalma kabul kriteridir. Çizelge 3.11’de gösterildiği gibi SBR kauçuk yaşlandırma öncesi ve sonrası çekme – kopma test sonuçları karşılaştırıldığında belirtilen kriterlerin üzerinde sağladığı görülmektedir.

3.2.4 EPDM Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Çizelge 3.12 EPDM Yaşlandırma Öncesi Çekme – Kopma Test Sonuçları.

	Numune – 1	Numune – 2	Numune – 3	Ortalama
Kopma Mukavemeti (MPa)	15,07	16,61	16,27	15,98
Kopma Uzaması (%)	574,11	605,51	596,95	592,19

Çizelge 3.13 EPDM Yaşlandırma Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçları.

	Numune – 1	Numune – 2	Numune – 3	Ortalama
Kopma Mukavemeti (MPa)	14,99	15,22	15,17	15,12
Kopma Uzaması (%)	571,73	554,48	556,54	560,91

Çizelge 3.14 EPDM Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.

	Kopma Mukavemetindeki Azalma (%)	Kopma Uzamasındaki Azalma (%)
Ortalama	5,38	5,28
Max. Kabul Edilebilir Sapma	25	50

Yaşlandırma öncesi ve sonrası çekme – kopma test sonuçları karşılaştırıldığında kopma mukavemeti için maksimum % 25 azalma ve kopma uzamasındaki maksimum %50 azalma kabul kriteridir. Çizelge 3.14’te gösterildiği gibi EPDM kauçuk yaşlandırma öncesi ve sonrası çekme – kopma test sonuçları karşılaştırıldığında belirtilen kriterlerin üzerinde sağladığı görülmektedir.

3.2.5 Kauçuk Tiplerinin Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Çekme – Kopma Test Sonuçlarının İncelenmesi

Çizelge 3.15 Kauçuk Tiplerinin Yaşlandırma Öncesi Kopma Mukavemeti Değerlerinin Karşılaştırılması.

	NK	NBR	SBR	EPDM
Beklenen Minimum Kopma Mukavemeti (MPa)	7,5	7,5	7,5	7,5
Test Sonucundan Elde Edilen Ortalama Kopma Mukavemeti (MPa)	17,05	13,04	8,62	15,12

Yaşlandırma öncesi kopma mukavemeti değerleri, beklenen minimum kopma mukavemeti değeri referans alınarak karşılaştırılır. Kopma mukavemeti değerleri Çizelge 3.15'teki gibi karşılaştırıldığında NK kauçuk tipinin en yüksek SBR kauçuk tipinin en düşük kopma mukavemeti değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kopma mukavemeti değerlerinin en yüksekten en düşüğe sıralaması şu şekildedir: NK > EPDM > NBR > SBR

Çizelge 3.16 Kauçuk Tiplerinin Yaşlandırma Öncesi Kopma Uzaması Değerlerinin Karşılaştırılması.

	NK	NBR	SBR	EPDM
Beklenen Minimum Kopma Uzaması (%)	200	200	200	200
Test Sonucundan Elde Edilen Ortalama Kopma Uzaması (%)	423,78	668,67	447,70	560,91

Yaşlandırma öncesi kopma uzaması değerleri, beklenen minimum kopma uzaması değeri referans alınarak karşılaştırılır. Kopma uzaması değerleri Çizelge 3.16'daki gibi karşılaştırıldığında NBR kauçuk tipinin en yüksek NK kauçuk tipinin en düşük kopma mukavemeti değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kopma uzaması değerlerinin en yüksekten en düşüğe sıralaması şu şekildedir: NBR > EPDM > SBR > NK

Çizelge 3.17 Kauçuk Tiplerinin Yaşlandırma Sonrası Kopma Mukavemeti Değişiminin Karşılaştırılması.

	NK	NBR	SBR	EPDM
Beklenen Maksimum Kopma Mukavemeti Değişimi (%)	25	25	25	25
Test Sonucundan Elde Edilen Ortalama Kopma Mukavemeti Değişimi (%)	2,99	7,97	13,11	5,38

Yaşlandırma sonrası kopma mukavemeti değişimi, beklenen maksimum kopma mukavemeti değişim yüzdesi referans alınarak karşılaştırılır. Kopma mukavemeti değişimi Çizelge 3.17'deki gibi karşılaştırıldığında NK kauçuk tipinin en düşük SBR kauçuk tipinin en yüksek kopma mukavemeti değişimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Burada kauçuk tiplerinden beklenen yaşlandırma sonra kopma mukavemetindeki değişim yüzdesinin düşük olmasıdır. Kopma mukavemetindeki değişim yüzdesi kabul edilen maksimum kopma mukavemeti değişimine göre en uygun olandan başlayarak sıralaması şu şekildedir: NK > EPDM > NBR > SBR.

Çizelge 3.18 Kauçuk Tiplerinin Yaşlandırma Sonrası Kopma Uzaması Değişiminin Karşılaştırılması.

	NK	NBR	SBR	EPDM
Beklenen Maksimum Kopma Uzaması Değişimi (%)	50	50	50	50
Test Sonucundan Elde Edilen Ortalama Kopma Mukavemeti Değişimi (%)	2,63	4,46	12,77	5,28

Yaşlandırma sonrası kopma uzaması değişimi, beklenen maksimum kopma uzaması değişim yüzdesi referans alınarak karşılaştırılır. Kopma uzaması değişimi Çizelge 3.18'deki gibi karşılaştırıldığında NK kauçuk tipinin en düşük SBR kauçuk tipinin en yüksek kopma mukavemeti değişimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Burada kauçuk tiplerinden beklenen yaşlandırma sonra kopma uzamasındaki değişim yüzdesinin düşük olmasıdır. Kopma uzamasındaki değişim yüzdesi kabul edilen maksimum kopma uzaması değişimine göre en uygun olandan başlayarak sıralaması şu şekildedir: NK > EPDM > NBR > SBR

Bu bilgiler doğrultusunda, kauçuk verileri karşılaştırıldığında kauçuk – metal yapışma mukavemetinde NK kauçuk tipinin en iyi yapışmayı göstereceği SBR kauçuk tipinin en kötü yapışmayı göstereceği öngörülmüştür. Yine yukarıdaki tablolardan elde edilen veriler incelendiğinde, kauçuk – metal kompozit silindirlerine uygulanacak radyal ve eksenel statik test verilerinde nominal değere en yakın sonucu verecek kauçuk tipinin NK nominal değerden en uzak sonucu verecek kauçuk tipinin SBR olacağı öngörülmüştür.

3.3 EKSENEL VE RADYAL STATİK TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Kauçuk – metal silindirik kompozitler, mekanik sistemlerde genellikle bağlantı noktalarındaki titreşimi sönmölemek ve sistemdeki kararsız davranışları önlemeye bağlantı elemanları olarak kullanılırlar.

Kauçuk malzeme içeren parçaların hasar görme durumları incelenecek olursa çeki yüklemeleri altında çalışan parçalarda, uygulanan çeki kuvveti zamanla kauçuk yapısındaki bağların kopmasına sebep olmaktadır. Öte yandan kauçuk-metal malzemelerin bir arada kullanıldığı parçalarda, malzeme çiftinin yapıştırılmasında çeşitli yapıştırma teknikleri kullanılmaktadır. Parçalar üzerine gelecek çeki kuvvetleri bu yapıştırımların hasar görmesine sebep olmakta sonuç olarak parça kullanılmaz hale gelmektedir. Bir diğer hasar türü de

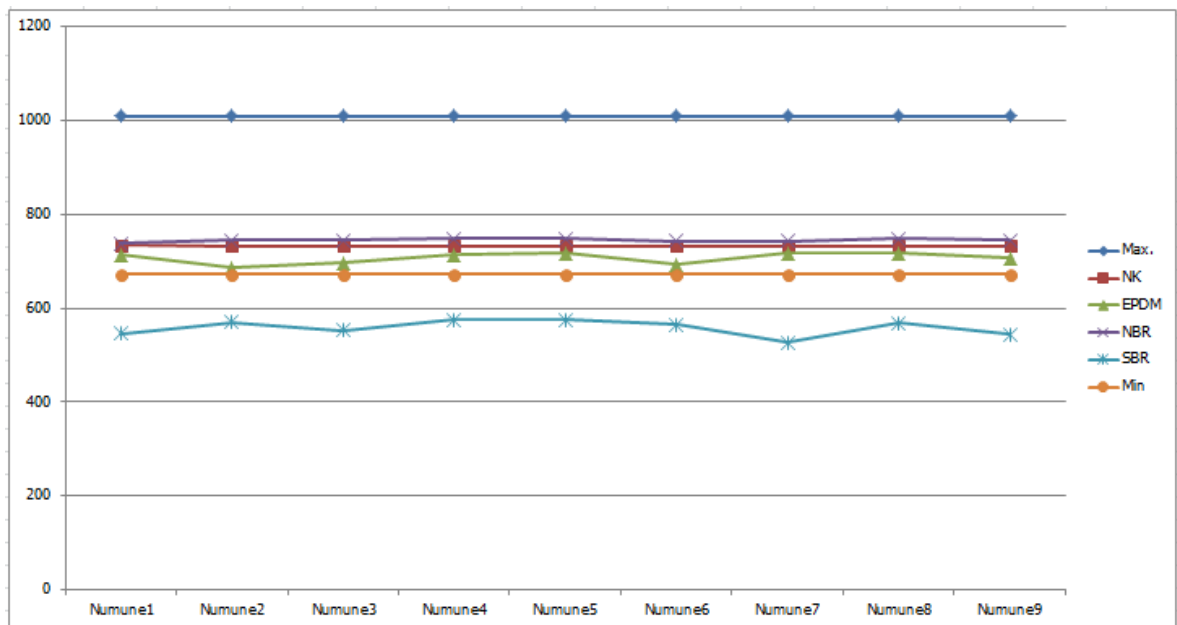
tekrarlı yüklemelerde görülen malzeme yorulmasıdır. Tekrarlı olarak bası-çeki yüklemelerine maruz kalan kauçuk parça sürekli olarak rahatlama noktasından geçtiği için zamanla ısınır ve kimyasal bağlar zayıflayarak kopmaya başlar. Parça tasarımında pratik olarak kauçuk parçalar için kesme yüklemeleri altında en fazla %75-100 birim şekil değişikliği, bası ve çeki yükleri altında en fazla %30 birim şekil değişikliği öngörülebilir.

Kauçuk – metal silindirik kompozitlerin üretiminde kullanılan transfer kalıbı 9 gözlüdür. NK, SBR, NBR ve EPDM kauçuk tiplerinden bir baskı 9’ar numune üretilmiştir. Her bir kauçuk tipinden üretilen her ürün eksenel ve radyal statik test edilmiştir. Test sonuçları Çizelge 3.19 ve Çizelge 3.20’de gösterilmiştir.

Eksenel test sonucundan beklenen yaylanma katsayısı Max. 1008 N/mm, Min. 672 N/mm; radyal test sonucundan beklenen yaylanma katsayısı Max. 6000 N/mm değerlerini karşılamasıdır.

Çizelge 3.19 Kauçuk Tiplerine Göre Eksenel Test Sonuçları.

Kauçuk Tipi	Numune1	Numune2	Numune3	Numune4	Numune5	Numune6	Numune7	Numune8	Numune9
NK	733,37	731,42	741,82	732,38	741,65	734,95	734,29	733,31	736,24
EPDM	713,31	684,93	696,68	712,33	716,88	692,23	715,87	716,06	706,03
NBR	736,99	743,60	743,52	747,02	747,53	741,95	742,13	747,49	744,74
SBR	<545,91	<570,42	<551,82	<574,55	<574,85	<564,50	<526,59	<568,52	<543,54



Şekil 3.2 Kauçuk Tiplerine Göre Eksenel Test Sonuçlarının Karşılaştırmalı Grafiği.

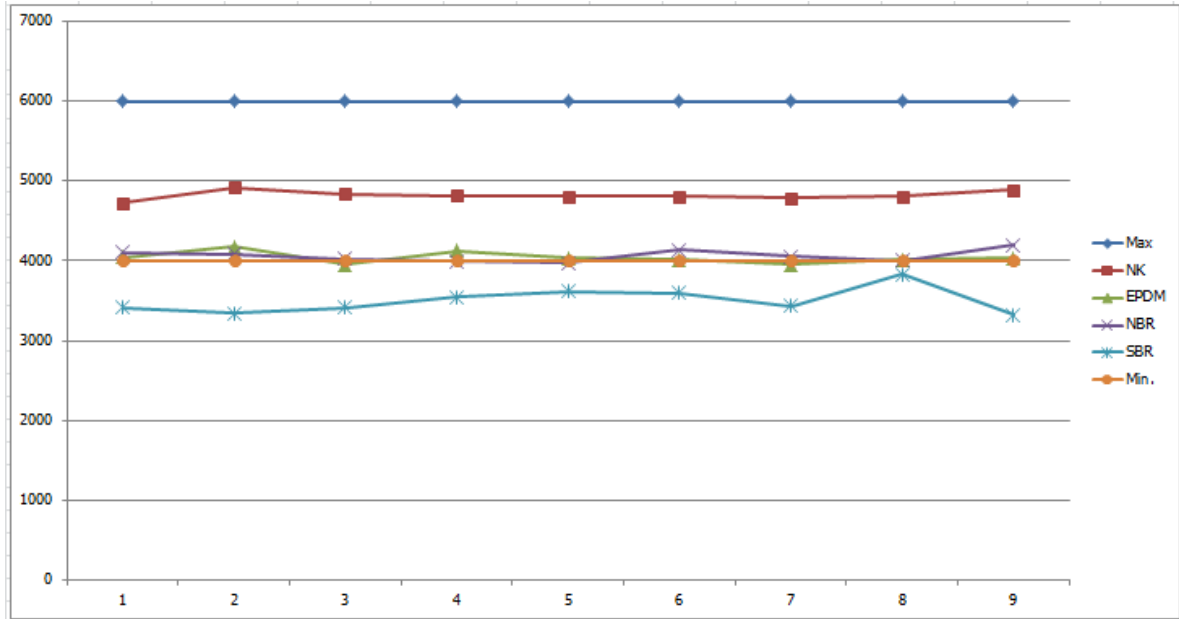
Çizelge 3.20 Kauçuk Tiplerine Göre Eksenel Test Sonuçları Nominal Değer ile Karşılaştırılması.

	NK	EPDM	NBR	SBR
Eksenel Test Sonucu – Ortalama (MPa)	735,49	706,03	743,88	557,85
Nominal Değerden Sapma (%)	12,44	15,94	11,44	33,58
Kabul Edilebilir Sapma (%)	±20	±20	±20	±20

Çizelge 3.20'deki veriler ve Şekil 3.2'deki karşılaştırmalı grafik incelendiğinde SBR kauçuk tipinin istenilen veri değerlerinin altında kaldığı görülmektedir. Çizelge 3.20'de gösterilen ortalama değerler incelendiğinde NBR ve NK kauçuk tipinin istenilen yaylanma katsayısının nominal değerine daha yakın sonuç verdiğini görülmektedir.

Çizelge 3.21 Kauçuk Tiplerine Göre Radyal Test Sonuçları.

Kauçuk Tipi	Numune1	Numune2	Numune3	Numune4	Numune5	Numune6	Numune7	Numune8	Numune9
NK	4724,45	4919,34	4834,02	4819,35	4807,13	4806,19	4784,47	4806,65	4883,97
EPDM	4042,32	4173,51	3952,46	4128,54	4034,16	4011,00	3948,73	4016,19	4038,36
NBR	4104,60	4081,67	4018,89	3994,40	3972,64	4139,97	4054,34	3999,25	4196,17
SBR	3414,23	3338,13	3416,05	3549,59	3618,10	3592,84	3436,90	3828,68	3318,88



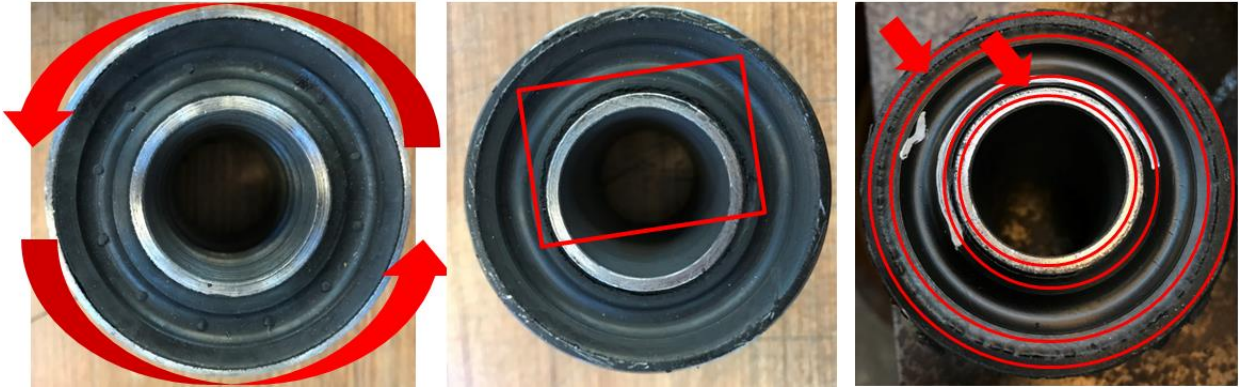
Şekil 3.3 Kauçuk Tiplerine Göre Radyal Test Sonuçlarının Karşılaştırmalı Grafiği.

Çizelge 3.22 Kauçuk Tiplerine Göre Radyal Test Sonuçları Ortalaması.

	NK	EPDM	NBR	SBR
Radyal Test Sonucu – Ortalama (MPa)	4820,61	4038,36	4062,43	3501,48
Nominal Değerden Sapma (%)	3,58	19,23	18,75	29,97
Kabul Edilebilir Sapma (%)	±20	±20	±20	±20

Çizelge 3.21'deki veriler ve Şekil 3.3'deki karşılaştırmalı grafik incelendiğinde istenilen maksimum değer dikkate alınarak incelendiğinde test sonuçlarında en düşük değerler SBR kauçuk tipinin ait olduğu görülmektedir. Çizelge 3.21'de gösterilen ortalama değerler incelendiğinde NK kauçuk tipinin istenilen maksimum yaylanma katsayısına en yakın sonucu verdiğini görülmektedir.

Yapılan testler sonucunda elde edilen sayısal veriler haricinde, numuneler görsel olarak da kontrol edilmiştir. Test sonrası ve üretim sonrası kauçuk tiplerinde aşağıda gösterilen Şekil 3.4'te gösterildiği gibi açma hatasının olduğu görülmüştür. Benzer hata türü, NK kauçuk tipi ile üretilen kauçuk – metal silindirik kompozitlerde gözlenmemiştir.



Şekil 3.4 Kauçuk – Metal Silindirik Kompozitlerde Açma Hatası Görselleri.

3.4 SONLU ELEMANLAR YÖNETİMİ İLE YAPILAN EKSENEL VE RADYAL TEST SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Çizelge 3.23 Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminde Kauçuk Tiplerine Göre Eksenel Test Sonuçları ve Sapma Değerleri.

	NK	EPDM	NBR	SBR
Analiz Sonucu (N/mm)	839,22	958,56	646,21	461,82
Sapma (%)	0,09	14,11	23,07	45,02

Çizelge 3.23'deki veriler incelendiğinde, nominal değerden en yakın ve en az sapma değeri olan kauçuk tipinin NK kauçuk tipi olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.24 Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminde Kauçuk Tiplerine Göre Radyal Test Sonuçları ve Sapma Değerleri.

	NK	EPDM	NBR	SBR
Analiz Sonucu (N/mm)	3856,37	4405,54	2968,26	1980,86
Sapma (%)	22,87	11,88	40,63	60,38

Çizelge 3.24'deki veriler incelendiğinde, nominal değerden en yakın ve en az sapma değeri olan kauçuk tipinin EPDM kauçuk tipi olduğu tespit edilmiştir.

3.5 MEKANİK TEST SONUÇLARI İLE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNDE YAPILAN RADYAL VE EKSENEL TEST SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Çizelge 3.25 Eksenel Statik Test Sonuçları ile Sonlu Elemanlar Yöntemi Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.

	NK	EPDM	NBR	SBR
Analiz Sonucu (N/mm)	839,22	958,56	646,21	461,82
Eksenel Statik Test Sonucu (N/mm)	735,49	706,03	743,88	557,85
Sapma (%)	12,36	26,34	13,12	17,21

Çizelge 3.25'teki veriler incelendiğinde, mekanik test değerine en yakın ve mekanik test değerinden en az sapma değeri olan kauçuk tipinin NK kauçuk tipi olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.26 Radyal Statik Test Sonuçları ile Sonlu Elemanlar Yöntemi Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.

	NK	EPDM	NBR	SBR
Analiz Sonucu (N/mm)	3856,37	4405,54	2968,26	1980,86
Radyal Statik Test Sonucu (N/mm)	4820,61	4038,36	4062,43	3501,48
Sapma (%)	20,00	9,09	26,93	43,42

Çizelge 3.26'daki veriler incelendiğinde, mekanik test değerine en yakın ve mekanik test değerinden en az sapma değeri olan kauçuk tipinin EPDM kauçuk tipi olduğu tespit edilmiştir.



BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında dört farklı kauçuk tipi kullanılarak kauçuk – metal silindirik kompozitleri elde edilmiştir ve sonlu elemanlar analiz yöntemi ile modellenmiştir. Elde edilen kauçuk – metal silindirik kompozitlerinde kullanılan kauçuk tipleri için malzeme karakteristikleri incelenmiştir ve kauçuk – metal silindirik kompozitlerin statik radyal ve eksenel testleri yapılmıştır. Tespit edilen malzeme karakteristikleri sonlu elemanlar analiz yönetiminde tanımlanarak statik radyal ve eksenel testleri analiz edilmiştir. Yapılan bu çalışmalar neticesinde kauçuk – metal bağlanma mukavemetine kauçuk tiplerinin etkisinin belirlenmesi ve yapılan sonlu elemanlar analiz yöntemi ile sonraki çalışmalarda elde edilecek sonuçlarda olası hata sapmalarının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda NK, NBR, SBR ve EPDM kauçuk tipleri kullanılarak her bir kauçuk tipi için 9’ar numune hazırlanmıştır. Her bir kauçuk tipi için Vulkanizasyon öncesi rolojik kontrol, çekme kopma ve sertlik testleri yapılmıştır. Papyon numuneleri ile yapılan yaşlandırma öncesi ve sonrası çekme kopma testlerinden elde edilen veriler incelenmiştir. Bu veriler doğrultusunda kauçuk – metal yapışma mukavemeti en iyi olabilecek kauçuk tipi NK, en kötü olabilecek kauçuk tipi SBR olarak öngörülmüştür. Yine aynı veriler doğrultusunda statik eksenel ve radyal test sonuçları nominal değere en yakın NK, en uzak SBR kauçuk tipi olabileceği öngörülmüştür. Hazırlanan kauçuk – metal silindirik kompozitler, belirlenen eksenel ve radyal test spektleri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen nitel ve nicel test sonuçları karşılaştırılmıştır. Statik eksenel test sonuçlarından elde edilen sapma değerleri incelendiğinde NK kauçuk tipinde %12,44, NBR kauçuk tipinde %11,44 sapma bulunmuştur ve en düşük sapma değeri bu iki kauçuk tipine ait olduğu tespit edilmiştir. Statik radyal test sonuçlarından elde edilen sapma değerleri incelendiğinde NK kauçuk tipinde %3,58 sapma bulunmuştur ve en düşük sapma değeri bu kauçuk tipindedir. Statik radyal test sonuçlarından elde edilen sapma değerleri NK kauçuk tipi haricindeki diğer kauçuk tiplerinde kabul edilebilir sapma değerine çok yakın ya da üzerinde olduğu

belirlenmiştir. Kauçuk – metal bağlanma mukavemetinin nitel verisi de hazırlanan numunelerin görsel muayenesidir. NK kauçuk tipi haricinde diğer kauçuk tiplerinde hazırlanan tüm numunelerde açma olduğu tespit edilmiştir. Kauçuk testlerinden de öngörüldüğü gibi test sonuçlarından ve görsel muayeneden elde edilen bilgiler doğrultusunda kauçuk – metal bağlanma mukavemetine NK kauçuk tipinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Papyon testlerinden elde edilen kopma mukavemeti verileri sonlu elemanlar yönteminde kauçuk malzemenin oluşturulmasında kullanılarak sonlu elemanlar analiz yönetimi ile statik radyal ve eksenel testler yapılmıştır. Burada kopma mukavemeti değerlerinin fiiliyatta yapılan test sonuçlarının kullanılmasındaki amaç gerçeğe yakın sonuçların elde edilmesidir. Test sonuçları ve analiz sonuçları arasındaki fark karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar analiz yönetiminde ile elde edilen statik eksenel test verilerinde NK kauçuk tipinde %12,13; NBR kauçuk tipinde %13,12; SBR kauçuk tipinde %17,07 ve EPDM kauçuk tipinde %26,34 oranında bir sapma tespit edilmiştir. Yine yapılan sonlu elemanlar analiz yönetiminde ile elde edilen statik radyal test verilerinde EPDM kauçuk tipinde %9,09; NK kauçuk tipinde %20; NBR kauçuk tipinde %26,93 ve SBR kauçuk tipinde %43,42 oranında bir sapma tespit edilmiştir.

Bu çalışmada incelenen kauçuk test verileri neticesinde elde edilen veriler karşılaştırıldığında SBR kauçuk tipinin, diğer üç kauçuk tipine göre düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür. SBR kauçuk tipinde elde edilen numunelerin statik eksenel ve radyal test değerlerinin de diğer üç kauçuk tipine göre düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda SBR kauçuk tipinden elde edilen numunelerin görsel muayeneleri sonucunda en fazla açma hatasının tespit edildiği kauçuk tipi olduğu görülmüştür. Sonraki çalışmalarda SBR kauçuk tipinin kauçuk – metal bağlanma mukavemetine etkisi incelenebilir. Yapılacak reçete çalışmaları ile elde edilen kauçuk çekme kopma test sonuçları sonlu elemanlar analiz metodunda malzeme tanımı için kullanılarak statik radyal ve eksenel testler analiz edilerek SBR kauçuk tipinin kauçuk – metal bağlanma mukavemetinin artırılması incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Erkek S** (2016) Kauçuk Kapı Stoperinin Hiperelastik ve Viskoelastik Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa, 49 s.
- [2] **Serbest A K ve Kayacı S** (2013) Tek Katmanlı Kauçuk Metal Burçlarda Ön-Sıkıştırmanın Statik Katılık ve Parça Ömrüne Etkilerinin Araştırılması. *MSC Kullanıcılar Konferansı*, 26-27 Mayıs 2013, İstanbul Türkiye, s. 1-14.
- [3] **MEGEB** (2009) Lastik Hamuru Hammaddeleri – 2. *Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 3-10.
- [4] **İdin Ş** (2020) Yaşamımızın Bir Parçası Kauçuk. *Bilim ve Teknik Tübitak*, 78-80.
- [5] **URL-1** <<http://www.nkfu.com/kaucuk-nedir-hakkinda-bilgi/>>, Ziyaret tarihi: 05.11.2020.
- [6] **URL-2** <<http://www.kaucukdernegi.org.tr/kaucuk.asp?id=6>>, Ziyaret tarihi: 25.11.2020.
- [7] **URL-3** <<http://www.kaucukofisi.com/kaucuk-nedir/>>, Ziyaret tarihi: 25.11.2020.
- [8] **URL-4** <<http://www.bfsotomotiv.com/teknik-bilgiler/>>, Ziyaret Tarihi: 25.11.2020.
- [9] **MEGEB** (2011) Sentetik Kauçuk Özellikleri ve Testleri. *Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 3-11.
- [10] **Aydın P** (2015) Lastik Atığının Kompozit Yapımında Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya, 63 s.
- [11] **Babapour A** (2013) Doğal Kauçuk/Bütadien Kauçuk Esaslı Silecek Lastiği Malzemelerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Ankara, 131 s.
- [12] **Akyüz S** (2020) Tabii Kauçuk (NR) / Stiren Bütadien Kauçuk (SBR) Esaslı Burçların Üretimi ve Test Yöntemleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Bursa Teknik Üniversitesi, Biyokompozit Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa, 74 s.
- [13] **Yalım N** (2010) Polipropilen (PP) / Etilen-Propilen-Dien-Monomer (EPDM) Termoplastik Vulkanizatlarının Hazırlanması ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 102 s.
- [14] **Kişioğlu O İ** (2003) Tank Paletlerinde Kullanılan Kauçukların İmalatı ve Uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 123 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [15] **Sevinç Ü** (2019) Akrilonitril Bütadien (NBR) Kauçuğunun ve Yapıştırıcısının Sentezi, Karakterizasyonu ve Demir Metaline Yapıştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fizikokimya Ana Bilim Dalı, Bursa, 112 s.
- [16] **Boşnak B** (2010) Kauçuktan Yarı Mamul Üretim Teknolojileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 117 s .



BİBLİYOGRAFYA

- [B1] **Slack C** (2002) Noble Obsession: Charles Goodyear, Thomas Hancock and the Race to Unlock the Greatest Industrial Secret of the Nineteenth Century. Hyperion, Michigan Üniversitesi, 274 s.
- [B2] **Savran H** (2001) Elastomer Teknolojisi–I, *Acar Matbaacılık*, İstanbul.
- [B3] **Mark J E, Erman B and Eirich F R** (2005), *Science and Technology of Rubber*, Elsevier Academic Press.
- [B4] **Jaunich M, Stark W and Hoster B** (2008) Monitoring the Vulcanization of Elastomers: Comparison of Curemeter and Ultrasonic Online Control. *Polymer Testing*, 28: 84-88.
- [B5] **Xinhua L, Qingting, Zhaohui C and Dizhen W** (2006) Study on Kinetics of Natural Rubber Vulcanization by S/La(DiPDP)3. *Journal of Rare Earths*, 25: 396-400.
- [B6] **Tonpheng B and Andersson O** (2008) Crosslinking, Thermal Properties and Relaxation Behaviour of Polyisoprene Under High-Pressure. *European Polymer Journal*, 44: 2865-2873.
- [B7] **Kısacık F** (2006) İki Komponentli Kauçuk Hortum. *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kocaeli, 88.
- [B8] **Tepebağ B** (2007) Akselatörlerin Vulkanizasyon Üzerine Etkisi. *Lisans Bitirme Tezi*, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [B9] **Öztürk E** (2008) Farklı Kauçuk Karışımlarının Vulkanizasyonuna Hızlandırıcıların Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Kimya Ana Bilim Dalı, Sakarya, 93 s.
- [B10] **Durmuş A** (2001) Şekillendirilmiş Poliolefinlerin DSC ile İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 129 s.
- [B11] **Kayı Y** (2006) Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Makine Ana Bilim Dalı, Sakarya, 124 s.
- [B12] **Pehlivanlı Z** (2004) Plastik Enjeksiyon Makinalarındaki Faz Dönüşümünün İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Kırıkkale Üniversitesi, Ana Bilim Dalı, Kırıkkale, 64 s.
- [B13] **Soyubol B** (2006) Elastomerlerin Statik ve Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa, 96 s.