



T.C.  
Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**KAUÇUK KAPI STOPERİNİN  
HİPERELASTİK VE VİSKOELASTİK  
MODELLENMESİ VE SONLU ELEMANLAR  
YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**Selim ERKEK**

**Yüksek Lisans Tezi**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAUÇUK KAPI STOPERİNİN HİPERELASTİK VE VİSKOELASTİK  
MODELLENMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**Selim ERKEK**

Prof. Dr. Nurettin YAVUZ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2016

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Selim ERKEK tarafından hazırlanan “KAUÇUK KAPI STOPERİNİN HİPERELASTİK VE VİSKOELASTİK MODELLENMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Nurettin YAVUZ

**Başkan** : Prof. Dr. Nurettin YAVUZ  
UÜ. Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Doç. Dr. Fatih KARPAT  
UÜ. Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Doç. Dr. Ali Rıza YILDIZ  
BTÜ Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali Osman DEMİR**  
**Enstitü Müdürü**  
/ /2016

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

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

**13 /01/2016**

**Selim ERKEK**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi  
KAUÇUK KAPI STOPERİNİN HİPERELASTİK VE VİSKOELASTİK  
MODELLENMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

**Selim ERKEK**  
Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nurettin YAVUZ

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 çalışmada araçlarda kullanılan kapı stoperinin hiperelastik ve viskoelastik modellenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılmıştır. Kapı stoperleri kapı ile gövde arasına konumlandırılarak, gövdeden kaynaklı titreşimleri sönmülemeye, sesi absorbe etmeye ve aynı zamanda kapının durma noktasının belirlenmesine yardımcı olan kauçuk parçalardır.

Sonlu elemanlar analizi programlarında kauçuk bir malzeme tanımlamak için hiperelastik malzeme modeli gereklidir. Bu çalışmada malzeme modelinin tanımı için testler yapılmış ve bu test sonuçları sonlu elemanlar analiz programı olan Abaqus programı kullanılarak test verilerine en iyi uyum gösteren hiperelastik malzeme modeli seçilmiştir. Kauçuğun viskoelastik karakterini tanımlamak için test sonuçlarından elde edilen gerilim-zaman değerleri Abaqus programına entegre edilerek viskoelastik analizlerden biri olan gerilim gevşemesi analizi yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında araç kapılarında kullanılan bir kauçuk kapı stoperinin hiperelastik ve viskoelastik modellemesi yapılarak sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kauçuk stoper, kauçuk malzeme, sonlu elemanlar analizi, Abaqus, viskoelastik, hiperelastik.

**ix-36 sayfa, 2016.**

## ABSTRACT

MSc Thesis  
MODELLING OF HYPER-ELASTIC AND VISCO-ELASTIC OF RUBBER DOOR  
STOPPER AND ANALYSING WITH FINITE ELEMENT METHOD

**Selim ERKEK**  
Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Nurettin YAVUZ

Recently, rubber has very wide range of applications. It can be used in a variety of area in the automotive industry especially due to its ability to absorb vibration. The rubber parts have been used in the areas including the main tires, bushings, engine mounts and connecting pipe, is designed by trial and error methods because of the lack of detailed knowledge of the structure of the rubber. In this study, the hyperelastic and viscoelastic modeling of the stopper of the door of the vehicle used was performed and was analysed by finite elements method. Positioned between the body and the door, stoppers of the doors, are the rubber parts which help to dampen vibrations originating from the body, absorb sound and also help determine the stopping point of the door.

Hyperelastic material modelling is required in order to define a rubber material in finite elements analysing programmes. In this study, tests were performed to determine the modelling of the material and the regarding results were introduced into the Abaqus programme which is a finite elements analysing programme and the hyperelastic material model which fits the best with the test datas was chosen. Stress relaxation analyse which is a viscoelastic analyse was performed by entegrating the stress-time values obtained from the test results to the Abaqus programme in order to determine the viscoelastic character of the rubber.

Finally, the aim of this study is to analyse the hyperelastic and viscoelastic modelling of the rubberdoor stoppers that are used in vechile doors by using finite element method

**Key words:** Rubber,hyperelastic,viscoelastic,finite element metot,abaqus, rubber stoper, rubber materials

**ix-36 pages, 2016.**

## TEŐEKKÖR

Yüksek lisans eğitimin boyunca desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın ‘Prof. Dr. Nurettin YAVUZ’ a teőekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerinden dolayı eőime ve aileme çok teşekkür ederim.

Selim ERKEK

../01/2016



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Kauçuğun Tarihçesi.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Vulkanizasyon.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Kauçuk Çeşitleri.....</b>	<b>10</b>
2.3.1 Tabii Kauçuk (NR).....	10
2.3.2 Sentetik Kauçuklar.....	11
2.3.3 Stiren Bütadien Kauçuğu (SBR):.....	11
2.3.4 Butil Kauçuğu (IIR):.....	12
2.3.5 Polibutadien (BR):.....	12
2.3.6 Etilen Propilen (EPDM):.....	13
2.3.7 Nitril Kauçuğu (NBR):.....	13
2.3.8 Poliüretan Kauçuk (AU):.....	13
2.3.9 Neopren Kauçuk (EU):.....	14
2.3.10 Silikon Kauçuklar (Si):.....	14
2.3.11 Poliakrilatlar (ACM):.....	15
2.3.12 Floroelastomerler (FPM):.....	15
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Hiperelastik Malzeme Modelleri.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Viskoelastiklik.....</b>	<b>20</b>
3.2.1 Cisimlerde Sünme (Creep).....	21
3.2.2 Gerilim Gevşemesi (Stress relaxation).....	22
<b>3.3 Malzeme Modelinin Belirlenmesi İçin Yapılan Testler.....</b>	<b>22</b>
3.3.1 Tek Eksenli Çekme Testi.....	22



3.3.2	Düzlem Çekme Testi .....	24
<b>4.</b>	<b>BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>25</b>
4.1	Kapı Stoperinin Üç Boyutlu Modelin Oluşturulması.....	25
4.2	Hiperelastik Malzeme Modelinin Belirlenmesi.....	26
4.3	Viskoelastik Malzemenin Tanımlanması.....	28
4.4	Sınır Şartlarının Tanımlanması .....	29
4.5	Sonlu Elemanlar Modeli Oluşturulması.....	29
4.6	Parçada Kontak Tanımlanması.....	30
4.7	Hiperelastik ve Viskoelastik Analiz Sonuçları .....	30
<b>5.</b>	<b>SONUÇ .....</b>	<b>32</b>
	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>3</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>36</b>

## SİMGELER ve KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
E	Elastisite Modülü
G	Kayma Modülü
$\epsilon$	Gerinme
$L_0$	İlk Boy
L	Son Boy
$\lambda$	Uzama Oranı
I	İnvaryant
J	Hacim Oranı
$\sigma$	Gerilme
W	Şekil değiştirme Enerjisi

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
NR	Doğal Kauçuk
SBR	Stiren Butadien Kauçuk
NBR	Nitril Kauçuk
EPDM	Etilen Propilen Kauçuk
CR	Kloropren Kauçuk
BR	Bütadien Kauçuk
ACM	Poliakrilik Kauçuk
MQ	Silikon Kauçuk
FKM	Florokarbon Kauçuk
HNBR	Hidrojen Nitril Kauçuk
CO, ECO	Epiklorohidrin Kauçuk
IR	Isopren Kauçuk
TPU	Termoplastik Polüretan

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Kauçuk hammaddesinin elde edilişi (Anonim, 2013) .....	6
Şekil 2.2 Elastomer yapı .....	7
Şekil 2.3Vulkanizasyonun kimyasal denklemi .....	9
Şekil 2.4 Vulkanizasyonun gerilme-gerinme değerlerine etkisi .....	10
Şekil 2.5 Doğal Kauçuk .....	11
Şekil 2.6 Stiren Bütadien Kauçuğu .....	12
Şekil 2.7 Poliüretan Kauçuk .....	14
Şekil 3.1 Otomobilde kauçuğun kullanım alanları (Anonim 2015).....	17
Şekil 3.2 Otomobil kapı stoperi (Anonim 2015) .....	18
Şekil 3.3 Maxvell modeli, Kelvin modeli, Birleşik Model.....	21
Şekil 3.4 Sünme (Creep) eğrisi .....	21
Şekil 3.5 Gerilim gevşemesi eğrisi .....	22
Şekil 3.6 Tek eksenli malzeme testi.....	23
Şekil 3.7 Tek eksenli çekme testi verilerinin Abaqus programına aktarılması.....	23
Şekil 3.8 Düzlem malzeme testi.....	24
Şekil 3.9 Düzlem çekme testi verilerinin Abaqus programına aktarılması .....	24
Şekil 4.1 Kauçuk kapı stoperinin üç boyutlu tasarımı .....	25
Şekil 4.2 Montaj görüntüsü.....	25
Şekil 4.3 Tüm hiperelastik malzeme modellerinin seçilmesi .....	26
Şekil 4.4 Hiperelastik malzemelerin davranışı için malzeme modelleri.....	27
Şekil 4.5 Hiperelastik malzeme modelleri ve ‘stable’ malzemeye örnek .....	27
Şekil 4.6 Tek eksenli ve düzlem çekme malzeme modeli .....	28
Şekil 4.7 Viskoelastik tanımlama yapılması .....	28
Şekil 4.8 Gerilim Gevşemesi değerleri .....	28
Şekil 4.9 Prony katsayılarının elde edilmesi.....	29
Şekil 4.10 Sınır Şartları.....	29
Şekil 4.11 Stoperin sonlu elemanlar modeli .....	29
Şekil 4.12 Kontak tanımlanması .....	30
Şekil 4.13 Modelin sıkışmamış hali ve z eksenindeki sıkıştırılmış hali .....	30
Şekil 4.14 Elde Edilen Rijitlik Eğrileri .....	31

Şekil 4.15 Elde Edilen Gerilim gevşeme grafiği .....	31
Şekil 4.16 Stoperin gerilim gevşemesi analiz sonucundaki iç gerilimin azalması .....	32



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Kauçukların temel özellikleri.....	9
Çizelge 3.2 Kauçuk çeşitlerinin karşılaştırılması.....	16



## 1 GİRİŞ

Kauçuk malzemelerin elde edilmesinde baş rolü oynayan elastomerler vulkanize olabilen polimerlerdir. Sıcaklık ve kuvvet etkisiyle boylarının en az iki katına kadar uzarlar ve kuvvet ortadan kalktığı anda orijinal boyutlarına geri dönebilmektedirler.

Bu çalışmada araç kapılarında kullanılan ve kapı ile araç gövdesi arasına konumlandırılmış kauçuk stoperin yük altındaki davranışları analiz edilmiştir. Parçanın istenilen mekanik özellikleri sunmasının yanında aynı zamanda daha uzun ömürlü olabilmesi için polimerlerin ve kauçukların genel yapısının iyi bilinmesi gereklidir.

Elastomerleri daha kapsamlı bir şekilde ‘Çok düşük sıcaklıklarda cam gibi sert olan, çok yüksek sıcaklıklarda dahi koyu sıvımsı akışkan özellikler göstermeyen, oda sıcaklığından, parçalanma sıcaklığına kadar geniş bir alan içerisinde elastik özellikler gösteren seyrek çapraz bağlanmış(vulkanize olmuş) polimerik malzemeler’ olarak tarif edebiliriz. (Erkek,2007)

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 tanımlanan elastomer kavramı ile eş anlamlıdır.

Çapraz bağlanabilme özelliği vulkanizasyonla 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. (Anonim, 2015)

Kullanım alanına göre istenilen özelliklere göre ayarlanmış, kauçuk ve diğer katkı malzemeleri ile oluşturulmuş, vulkanize olabilen kauçuk karışımında, dolgu maddeleri, yumuşatıcılar, proses kolaylaştırıcılar, aktivatörler hızlandırıcılar, pişiriciler, yaşlanmayı

önleyiciler, vulkanizasyon sistemi, geciktiriciler, diğler katkı maddeleri (boyalar, koku vericiler, şişiriciler) bulunur.

Tabii kauçuk birçok uygulama için arzu edilmesine ve çok önemli materyal olmasına rağmen sadece bazı tropikal bölgelerde yetişen doğal bir üründür. Bu nedenle birçok uygulama alanında tabii kauçuk yerine sentetik kauçuklar geliştirilmiştir.

2014 yılında 12 milyonu doğal kauçuk olmak üzere 28 milyon 750 bin ton kauçuk üretilmiştir. Doğal kauçuğun toplam üretimdeki payının son yıllarda azalmakta olduğu görülmekte. Doğal kauçuk üretiminde başrol oyuncuları Asya ülkeleri ve toplam doğal kauçuk üretiminin yüzde 93'ü Tayland, Malezya, Endonezya, Hindistan ve Vietnam'da gerçekleşmektedir.

Özellikle otomotiv sanayisinde her geçen gün daha çok kullanılmaya başlanan kauçuk malzemelerin ülkemizdeki üretim miktarı yok denecek kadar azdır.

## 2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kauçuk malzemelerle ilgili yapılan literatür araştırmasında sıcaklığın, kauçuk içerisine ilave edilen maddelerin ve vulkanizasyon ile çaplama işlemlerinin yapılan parça testlerine etkilerinin incelendiği görülmüştür.

Vahapoğlu (2010). Kauçuk malzemelerin uygulamada test cihazlarında test edilen şekilden daha yüksek hızlarda deforme edildiğini ve bu sebeple konvansiyonel test cihazlarından elde edilen mekanik özelliklerin yüksek şekil değiştirme hızları için kullanılmadığını belirtmiştir. Dolayısıyla malzemenin deformasyonundaki şekil değiştirme hızı bilinmeli bu hızda malzemenin mekanik özellikleri belirlenmelidir. Özellikle bu durum malzemenin davranışını matematiksel olarak modelleyebilmek için önem arz etmektedir. Hazırlanan çalışmada, öncelikle, kauçuk türü malzemelerin çekme ve basma deformasyonu altındaki mekanik özelliklerini belirlemek için uygulanan deneysel teknik ve cihazlar sonrasında ise literatürde kauçuk türü malzemeler için yapılan deneysel çalışmalar incelenmiştir. Deneysel çalışmalar yarı-statik, düşük hızdaki dinamik, yüksek hızdaki dinamik ve yüksek hızdaki darbeli deneysel çalışmalar olarak ayrılmıştır.

Vahapoğlu (2013). Kauçuk mekaniğinde yapılan deneyler konulu çalışmasında kauçuk malzemeler için yapılan tüm deneyleri sınıflandırarak detaylı bir biçimde incelemiştir. Bu çalışmada testler yükleme ve numune şekillerine göre detaylı bir şekilde gruplandırılarak incelenmiştir. Yapılan testlerin geçmişten günümüze ulaşana kadar uğradığı değişikliklere de yer verilmiştir. Çalışmamızda bu testlerden en çok bilinen ve uygulananlarına yer verilmiştir.

Erkek, S. 2007. Karbon Siyahı/Yağ ve Karbon Siyahı/Dolgu Maddesi Oranının Farklı Vulkanizasyon Sistemlerinde EPDM, NBR ve SBR Elastomerlerinin Fiziko-Mekaniksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Adana.

Özgün, R.E. 2010. Kauçuk- Metal Burçlarda Kauçuk Sertliği ve Çaplama işlemlerinin Kopma Mukavemetine Etkisinin Araştırılmıştır. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa



Soyel (2008). sonlu elemanlar metodu ile NR/SBR tipi elastomer esaslı malzemelerin davranış modellerinin belirlenmesi konulu çalışmasında malzemenin matematiksel modellenmesi üzerinde durmuştur. Çalışma kapsamında iki tip kauçuk malzeme için mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Abaqus 6.7.1 sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak test verileri ile yazılım içerisinde yer alan malzeme modelleri için hiperelastik malzeme katsayıları hesaplanmıştır. Her bir hiperelastik malzeme modeli için eğriler elde edilmiştir. Bu eğriler test verisini temsil eden eğri ile kıyaslanarak en uygun hiperelastik malzeme modeli belirlenmeye çalışılmıştır.

S.Oman ve arkadaşları (2014). Ana değişkenin yük sıralaması olduğu sürünme ve gevşeme proseslerini içeren deneysel bir çalışma yapmıştır. Araştırmanın temel amacı sürünmeden yola çıkarak bir gerinim gevşemesi tahmini yapabilecek bir metod geliştirmektir. Fikir her iki prosesin de (sürünme ve gerilim gevşemesi) aynı viskoelastik mekanizmanın sonucu olduğunu kabul ediyor ve bu gerilim gevşemesi azalan gerilim altında sürünme gibi davrandığını varsayıyordu. Deneysel çalışmalar bu kabullerin doğru olduğunu gösterdi.

T.Rey ve arkadaşları (2014). Sıcaklığın kauçuk mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları testlerde silikon kauçuğunun entropik davranış sergilediğini ve ortaya çıkan sonuçların neo hooken modeli ile eşleştiğini tespit etmişlerdir.

Reif ve arkadaşları (1995). General Electric tarafından geliştirilen özel bir malzemenin sürünme özelliklerini araştırmak için stres gevşeme testlerini kullanarak verimli ve farklı formatlarda kullanılabilen gerilme uzama eğrilerini ortaya çıkarmışlardır. Ortaya çıkan sonuçlar geleneksel test yöntemleri ile uyum içerisindedirler.

Vahapoğlu (2012) Literatürde, kauçuk türü malzemelerin elastik davranışını modelleyebilmek için bir çok farklı formda şekil değiştirme enerji fonksiyonları önerilmiştir. Teorik olarak önerilen bu şekil değiştirme enerji fonksiyonlarının doğruluğu ise çekme, basma ve kayma deneyleri ile kontrol edilmektedir. Hazırlanan bu çalışmada kauçuk mekaniğinde yapılan deneyler tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Ayrıca, çalışmada literatürde kauçuk türü malzemeler için yapılan deneysel çalışmalar incelenmiştir.

Lake ve arkadaşlarına (1995) . Lastikteki yorulma çatlamlarının temel nedenleri mekanik, termal, çevresel (oksijen, ozon ve ultraviyole) ve kimyasal faktörlerdir. Oluşan tipik hatalara araba lastiği sırt ve kat ayrışmaları ile motor takozları ve burçlarda oluşan hatalar örnek verilebilir. Çevresel kaynaklı çatlaklar küçük yüzey çatlakları şeklindedir.

Samed ve Ali (2009). Makalelerinde motor bağlantı noktalarında kullanılan kauçuk otomotiv parçalarının yorulma ömrünü tayin etmeye çalışmıştır. Malezya'daki araçlarda kullanılan kauçuk burcun, tersine mühendislik yöntemini kullanarak üç boyutlu katı modelini elde etmişlerdir. Elde ettikleri cad modelinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda kaç çevrimde ne kadar yer değişimi ve uzama olduğunu tespit etmişlerdir. Maksimum gerilme değeri olan kısımda parçada çatlak oluşacaktır. Buldukları sonuçları yaptıkları gerçek deney ile karşılaştırmışlardır. Kauçuğun yorulma değerlerinin içerdiği karbon karası miktarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

D. Ellul (1992) yaptığı çalışmada lastik malzemelerdeki mekanik yorulmanın fiziksel özelliklerinin sürekli zayıflamasıyla beraber, dinamik yük ve deformasyonlar altında oluşan küçük çatlaklar ile başladığını ispatlamıştır. Bu esnada meydana gelen değişimlerin en önemlisi azalan rijitliktir. Yükleme, gerilim azalmasına ve elastomerlerde zamana bağlı olarak çatlama ile sonuçlanır. Belirli yük altında tabii kauçuk kristalleşir ve kristalitler çatlakların daha da artmasını engeller.

Khairi (1993). Çapraz bağlanabilme özelliği vulkanizasyonla açıklanabilir. Vulkanizasyon, kauçuğun kimyasal yapı değişikliğine uğrayarak (çapraz bağlanma reaksiyonu) ve geri dönüşümsüz olarak elastik özelliklere sahip bir duruma gelmesi ve getirilmesi işlemidir. Kauçuklar çapraz bağlanmamış, ama çapraz bağlanabilme özelliğine sahip yani vulkanize olabilen polimerlerdir. Yüksek sıcaklıkta ve deforme edici kuvvet etkisi altında koyu sıvımsı akış özelliği gösterirler. Böylece uygun şartlar altında şekillendirilebilirler. Vulkanizasyon öncesi yüksek plastik özellikler, vulkanizasyon sonrası, yerini yüksek elastik özelliklere bırakır.

## 2.1 Kauçuğun Tarihçesi

“Avrupalıların, Christopher Columbus'un Amerika'yı keşfiyle başlayan kauçuk maceraları, esasında yeni kıta Amerika'da yaşayan Aztek toplumunda çok önceden beri bilinmekteydi. Avrupalıların, 16. yüzyılın başlarında tanıştıkları kauçuk, ancak 19. yüzyılın ortalarına doğru Charles Macintosh, Thomas Hancock ve Charles Goodyear gibi araştırmacı ve girişimcilerin özel gayret ve keşifleriyle günlük yaşamın ayrılmaz bir mühendislik malzemesi olmuştur. 1888 yılındaki otomobil tekerleklerinin icadı ve 1895 yılında da tekerleklerin motorlu vasıtalarda kullanılmaya başlanması, kauçuğun önemini tamamen ortaya koymuştur. Bu nedenle dönemin güçlü Avrupa devletleri, sömürgeleri altındaki, doğal kauçuk yetiştirmeye elverişli, uzak doğu ülkelerinde 1876 yılından itibaren büyük doğal kauçuk plantasyon çiftlikleri kurmaya başladılar. Böylece doğal kauçuk ihtiyaçları 1900 yılından itibaren bu plantasyonlardan sağlanmaya başlanırken, 1913 yılından itibaren ise Brezilyadan, daha çok ve daha kaliteli doğal kauçuk elde edilmeye başlandı” (Vahapoğlu, 2005).

Fransız bilim adamları tarafından 1736'da Güney Amerika'da tanımlanan ve 1840'ların başında Charles Goodyear tarafından kükürtle sertleştirme işlemi gerçekleştirilen kauçuk, bu yıllardan itibaren endüstrideki yerini almış ve ticari önem kazanmıştır.

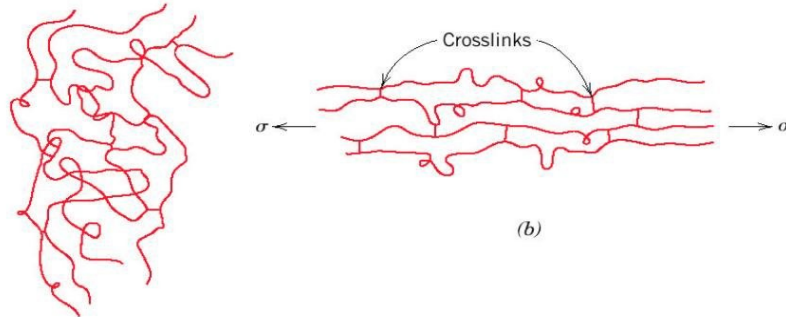


Şekil 2.1 Kauçuk hammaddesinin elde edilişi (Anonim, 2013)

Goodyear'ın bu yöntemi, kükürtleme işlemini hızlandırıcı ve kırılmaya karşı kauçuğun direncini artırıcı bazı kimyasal maddeler katılmasıyla zamanla geliştirilmiştir. İlk önce lastik, “kükürt + kauçuk” olarak elde edilmiş ve sonraları önem kazanması nedeni ile lastik içerisine yabancı maddeler katılarak iyileştirme yoluna gidilmiştir. Ayrıca boya maddesi de ilave edilerek değişik renklerde lastik ve plastiğin üretimine geçilmiştir. Havanın etkisine karşı uzun ömürlü olabilmesi için, lastik içerisine plastiklerden fenoller, aminler ve ayrıca bazı tuzlar eklenmiş ve dayanımını artırmak amacıyla lastik içerisine amorf karbon ve yumuşaklık vermek için yağlar eklenerek gelişen teknolojiye paralel olarak günümüzde farklı hammaddeler sayesinde çok amaçlı özel lastikler üretilmekte ve bunlardan da çeşitli parçalar yapılmaktadır.

Özel amaçlı lastikler; yüksek basınç ve dayanım gösteren makine kayışları, hortumlar, otomobil lastikleri ve benzeri parça yapımında çok kullanılmaktadır. Ayrıca kesme ve sıvama kalıplarında da kullanılan takozlar dayanıklı elastiki malzeme olup imalatları son zamanlarda başarılı bir şekilde yapılabilmektedir. (Anonim, 2015)

Kauçuk malzemelerin temelini oluşturan elastomerler, çok fazla uzatılabilirler sonra, elastik olarak yay gibi gerilerek orijinal uzunluklarına geri dönerler. Bu davranış lastikte çok bariz bir şekilde vardır. Bir polymer'in elastomer yapı olması için bazı kriterlerin olması gerekir. Bu yapı kristalleşmeye karşı direnir (elastomerler amorf yapıdadırlar). Nisbeten serbest zincir dönmeleri gözlenir (Üzerlerinde gerilme olmayan elastomerler sarılı,kıvrılı vaziyette iken,üzerlerine gerilme uygulanmış elastomerler deformasyon esnasında uzamış vaziyettedirler).



Şekil 2.2 Elastomer yapı

Elastomerlerde ; bir miktar çapraz bağlanma, plastik deformasyona karşı direnci artırır (Vulkanizasyon oluşumunda olduğu gibi).

Sıcaklık, camcı dönüşüm sıcaklığı (T<sub>g</sub>) nın üzerindedir. (T<sub>g</sub> ) camcı dönüşüm sıcaklığının altındaki elastomerler gevrekleşir.

Karbon siyahı kauçuklarda en yaygın ve en fazla kullanılan dolgu maddesidir. Aktif dolgu maddesi görevi yaparak kauçuğun mekanik özelliklerini iletir. Karbon siyahı ayrıca, renklendirme (siyah), UV-ışınlarından koruma ve iletkenliği artırmak amacıyla kauçuklar dışında diğer polimerlerde de katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. En fazla tüketildiği alan ise %85'lik payla araç lastikleridir.

Karbon siyahı, yüksek sıcaklıklarda bozunma ile elde edilen hidrokarbon buharındaki elementel karbonun bir yüzey üzerinde toplanması ile üretilir. Üretim tekniğine bağlı olarak dört farklı karbon siyahı tanımlanır;

1) Fırın siyahı; petrol rafinerilerindeki aromatik atıkların 1200°C-1700°C arası sıcaklıklarda aşırı hava ile yakılmasıyla üretilirler, beslemenin bir kısmı yanarken çoğu karbon ve hidrojene parçalanır. Fırın siyahı asidiktir ve kauçukların vulkanizasyonunu yavaşlatır.

2) Kanal siyahı; doğal gazın kısmi yanması ile üretilir, kauçuklarda en fazla kullanılan karbon siyahıdır ve pahalıdır.

3) Isı siyahı; doğal gazın havasız ortamda 1300°C dolayında ısıl parçalanması ile üretilir. gri taneciklidir ve kauçukları takviye açısından zayıftır.

4) Asetilen siyahı; asetilenden elde edilir ve iletken polimerler hazırlamada kullanılır.

Karbon siyahları biçim ve büyüklüklerine göre ayrıca üç gruba ayrılırlar. Tanecikli yapıdaki karbon siyahlarının boyutları 10-500 nm arasında değişirken, taneciklerin bir araya gelerek oluşturduğu kümeli yapıdaki karbon siyahlarının boyutları 40-600nm arasında değişir. Ayrıca kümeler küçük yığınlar halinde toplanarak boyutları farklı karbon siyahı toprakları verirler. Yüzey alanı büyük olduğu için tanecikli karbon siyahları takviye açısından en uygundur, ancak kauçuk içerisine homojen karıştırılmaları zordur. (Soyel, 2008)

Başlıca kauçuk çeşitleri; doğal kauçuk (NR), nitril kauçuk (NBR), stiren butadien kauçuk (SBR), butadien kauçuk (BR), etilen propilen kauçuk (EPM, EPDM), poliakrilik kauçuk (ACM), kloropren kauçuk (CR), silikon kauçuk (MQ, VMQ, PVMQ), florokarbon kauçuk (FKM), politetrafloroetilen (PTFE), hidrojene nitril kauçuk (HNBR), epiklorohidrin kauçuk (CO, ECO), isopren kauçuk (IR), termoplastik poliüretan (TPU), poliamid (PA) şeklinde sıralanabilir.

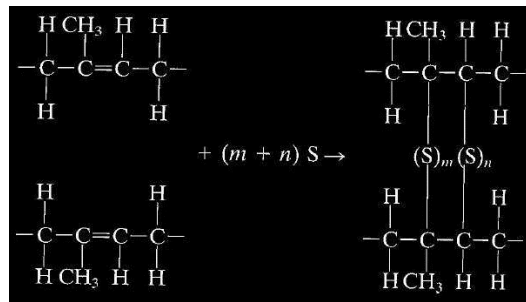
En çok kullanılan kauçukların temel özellikleri 3.1 nolu çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kauçukların temel özellikleri (Özgün, 2010)

	NR	EPDM	NBR	SBR	CR	BR
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,93	0,86	1	0,94	1,23	0,94
Sertlik (Shore A)	30-100	40-95	20-100	40-100	40-95	45-80
Kopma Mukavemeti (MPa)	>30	>21	>24	>24	>28	>21
Max. Çalışma Sıcaklığı ( °C )	100	145	105	100	100	100
Min. Çalışma Sıcaklığı ( °C )	-60	-40	-30	-50	-45	-40

## 2.2 Vulkanizasyon

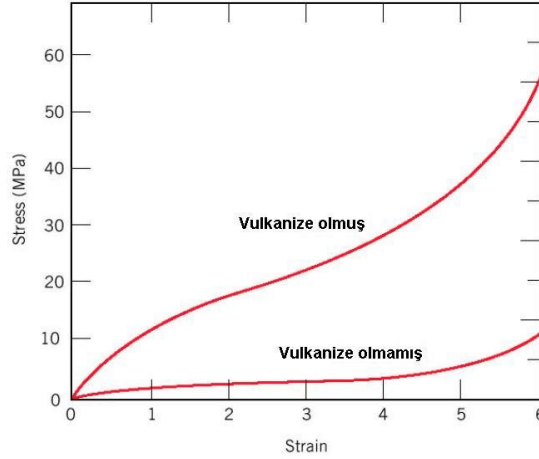
“Çapraz bağlanma, elastomerik davranışın gerekli şartlarından birisidir. Bu çapraz bağlantı, yüksek sıcaklıklarda genellikle de “S” bileşiklerin katkısıyla kimyasal yolla elde edilen ve de tekrarlanabilen bir işlemdir. “S” atomları çift bağlı “C” atomları ile köprü şeklinde çapraz bağlantı yaparlar” (Şekil 1.3) (Ay 1992).



Şekil 2.3 Vulkanizasyonun kimyasal denklemi

“Vulkanize olmamış lastik yüksek çevre sıcaklıklarında yumuşamadan, düşük çevre sıcaklıklarında sertleşmeden zarar görür. Bu problemin üstesinden gelmek için çok çeşitli kimyasal işlemler denenmiştir. 1839 yılında Charles Goodyear kazara “S” kaplı lastiği ısıtma ile vulkanizasyon olayını keşfetti. Isıtma ve soğutma durumunda lastiğin

özelliğinin sabit kaldığını gördü. Çünkü lastik vulkanizasyon ile çapraz bağlantı yapmaktaydı. Elastomer malzemeler termoset polimerdir.  $\epsilon$ ,  $\sigma$  ve oksitlenmeye karşı direnç vulkanizasyonla artar.  $\epsilon$ , özellikle çapraz bağlanmanın büyüklüğü ile orantılıdır. Aşırı çapraz bağlantı uzamayı azaltır” (Şekil 2.4) (Ay 1992).



Şekil 2.4 Vulkanizasyonun gerilme-gerinme değerlerine etkisi

## 2.3 Kauçuk Çeşitleri

### 2.3.1 Tabii Kauçuk (NR)

Doğal kauçuk, kauçuk ağacı deneni *Hevea brasiliensis*' ten oluşan sütümsü bir akışkan sıvıdan üretilir. Doğal kauçuk,  
% 30-40 lastik (cis-1,4 polyisoprene),  
%2 reçine,  
% 60-65 su,  
% 2-5 lipid ve proteinden oluşmaktadır.

Yüksek esneklik, yüksek dayanım, düşük deformasyon ve yayılma, iyi dinamik özellikler, kolay işleme, iyi yırtılma ve aşınma dayanımları, polar sıvılara dayanım tabii kauçukların üstün yanları olarak sıralanabilir.

Düşük hidrokarbon dayanıklılığı, hava geçirgenlik, ozona dayanım, tabii ürün olması sebebiyle dalgalanan fiyatı ise tabii kauçukların zayıf taraflarıdır.



Şekil 2.5 Doğal Kauçuk

Doğal kauçuk; konveyör kayışları, lastik silindir ve tekerlekler vb. gibi endüstriyel ürünlerin; fan kayışları, radyatör hortumları vb. gibi otomotiv ürünlerin; lastik eldivenler, oyuncaklar, sıhhi ürünler vb. lâteks ürünleri ve yapışkanların temel hammaddesidir. Bunlardan çok daha fazla tüketildiği alanlar ise araç lastikleri ve ayakkabı sektörleridir.

### 2.3.2 Sentetik Kauçuklar

Sentetik kauçuklar, lastik hamurunda en yüksek oranda kullanılan kimyasal bileşiklerdir. Sentetik Kauçuk ilk önce Almanya’da, 20. yüzyılın ortalarında ortaya çıktı ve şimdi sentetik kauçuk türleri ve tipleri kauçuk talebinin çoğunluğunu karşılamaktadır. Sentetik Kauçuk tipik olarak, Stiren Bütadiyen Kauçuk (SBR) ve aynı zamanda Poli Bütadiyen Kauçuk (BR) üretmek için polimerize edilmiş Stiren ve Bütadiyen olan monomer’lerin polimerizasyonu ile üretilmektedir. Peşpeşe oluşan gelişmeler etilen ve propilen gibi EPDM üretiminde kullanılan diğer monomer’leri ortaya çıkarmıştır.

Sentetik Kauçuk şimdi tüm dünya genelinde üretilmekte olup başlıca üretici ülkeler Çin, ABD, Japonya, Kore Cumhuriyeti ve Almanya’dır.(Anonim, 2015)

### 2.3.3 Stiren Bütadien Kauçuğu (SBR):

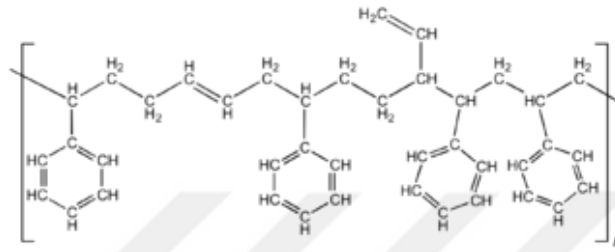
Stiren ve bütadien’in soğuk tip reçete ile sürekli sistemle üretilen, Emülsiyon Polimerizasyonu ile elde edilen ve %22,5 - %24,5 bağlı stiren içeren bir kopolimer olup genel maksat kauçuğudur. Yüksek sıcaklık, yağ ve çözücülere karşı çok dirençlidir. Fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi için karbon siyahı ve diğer dolgu maddelerinin ilavesi gerekir.

Stiren Bütadien Kauçuğu; otomobil lastiği, taşıyıcı bant, hortum, ayakkabı taban ve ökçesi, mekanik eşyalar, oto paspası gibi malzemelerin yapımında kullanılır.



Bu kauçuk türü; takviye edildiğinde iyi fiziki özellikler verir. Yırtılma, kopma, aşınma dayanımları iyidir, düşük sıcaklıkta fiziksel özelliklerini kaybetmezler, fiyatları ucuz ve temini kolaydır.

Takviye malzeme gerektirmeleri, aşınma hariç mekanik özelliklerinin tabii kauçuktan düşük olması, hidrokarbonlara dayanımlarının zayıflığı, sıcak yaşlanma, oksijene ve ozona dayanımlarının düşük olması dezavantajlarıdır fakat yine de bu yönlerden tabii kauçuktan iyidir.



Şekil 2.6 Stiren Bütadien Kauçuğu

#### 2.3.4 Butil Kauçuğu (IIR):

Sıkı bir yapısı vardır. Esnekliği azdır. Deformasyonu yavaş, geçirgenliği azdır. Yapısı, gerilmeye kristalleşmeyi ve kendini takviyeyi sağlar. Çapraz bağlanma için isopren gruplarına ihtiyacı vardır, fakat yapısı inerttir.

Düşük geçirgenlik, ısı ve ozon dayanımı, elektriksel izolasyon, yırtılma dayanımı, esnemenen doğan çatlama dayanımı, kimyasal dayanım önemli avantajlar sağlar.

Zayıf yönleri sıralandığında ise, resiliensi düşüktür, yağ ve yakıt dayanımı zayıftır, ayrı bir imalat hattı gerektirir, vulkanizasyon süresi uzundur.

İç lastik ve çatı kaplaması gibi az hava geçirgenliği ve dış şartlara dayanım gerektiren uygulamalarda kullanılır.

#### 2.3.5 Polibütadien (BR):

Çifte bağ etrafında dönme serbestisi, kısa kendini toplama zamanı, açıktaki gruplar kristalizasyona mani olduğundan takviyeye gerek vardır. Çifte bağlar reaktivitesini sağlar.

Yüksek resiliens, mükemmel aşınma dayanımı, ve elektrik yalıtımı polibütadienlerin avantajlarıdır.

Düşük yırtılma dayanımı, hidrokarbonlara direnç, ısı ve ozon dayanımının düşüklüğü dezavantajları olarak sayılabilir.

Otomobil sırt kauçuğunda çok iyidir. Fakat en iyi neticeyi almak için diğer kauçuklara karıştırılarak kullanılır. Genellikle otomotiv sanayinde kullanılmaktadır.

### **2.3.6 Etilen Propilen (EPDM):**

Doymuş yapıdadır, hareketliliği düşük ve kendisini toplama müddeti uzundur. Çapraz bağlantı için doymamış termonomeri olabilir.

Yüksek dolgu ve yağ limiti, yaşlanma ve ozon dayanımı, işleme özelliği, dielektrik özelliği en büyük avantajlarıdır.

Etilen propilenlerin dezavantajlarından bahsedilecek olursa; EPM özel pişirici sistemi gerektirir, EPDM'nin başka kauçuklarla iyi karışmama ihtimali yüksektir. Hidrokarbonlara dayanıklılık, düşük resiliens, takviye gerektirir, doymamış polimerlerle karışmaz.

İyi yaşlanma, elektrik, dış şartlara dayanım gerektiren kablo, radyatör hortumu, profil gibi imalatta kullanılır.

### **2.3.7 Nitril Kauçuğu (NBR):**

Genellikle % 25–40 akrilonitril içerir. Hareketliliği hidrojen bağları ile sınırlandırılmıştır. Açığıtaki gruplar gergide kristalizasyonu önler. Artan C=N (akrilo nitril) grupları yağa dayanımı artırır, resiliensi azaltır.

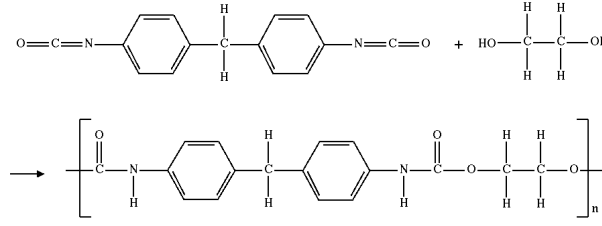
Yağ ve yakıt dayanımı, ısı dayanımı, geçirgenlik, aşınma dayanımı üstün özellikleri olarak sayılabilir

Takviye malzeme gerektirmeleri, düşük ısı özellikleri, düşük resiliens, zayıf elektrik izolasyonu ise zayıf özellikleridir.

Genellikle yağ ve yakıt dayanımı gerektiren hortum, conta, keçe, esnek yakıt ve benzin depoları üretiminde kullanılır.

### **2.3.8 Poliüretan Kauçuk (AU):**

Yapısının sonsuz değişkenliği vardır. Su ile CO<sub>2</sub> çıkararak süngerleşir. Yapısı, yağ ve yakıt dayanımı verir. Fakat hidrolize olur. Hareketliliği orta derecededir. Kendi kendine takviye ettirilebilir.



Şekil 2.7 Poliüretan Kauçuk

Aşınma, yırtılma ve kopma dayanımı, yağ ve yakıtlara karşı direnç, oksijen ve ozon dayanımı, sıvı halde temin edilebilmesi güçlü yönleridir.

Hidrolize olması, resiliensinin düşük olması ve pahalı olması ise zayıf yönleridir.

Yağ ve aşınma dayanımı gerektiren dolgu tekerleklerde, dökme conta ve keçelerde vb. işlerde kullanılır.

### 2.3.9 Neopren Kauçuk (EU):

Genellikle 1,4 trans klorun sabitleştirici etkisi dolayısıyla çifte bağlar reaktif değildir. Vulkanizasyon 1,4 eklenmesi ile olur. Klor yağı, yakıtta ve alevlenmeye olumlu etki eder. Hareketliliği yönünden yapısı tabii kauçuğa benzer, fakat kristalize olması düşük ısı özelliklerine aksi etki yapar.

Oto lastiği hariç tabii kauçuğa benzer sahalarda, ozon, hava, yakıt, yağ ve yanma dayanımı istenen yerlerde kullanılır. Tatbik sahası, yüksek fiyatı ve düşük ısı dayanımı özelliğinin iyi olmaması dolayısı ile sınırlıdır.

Geniş servis ısı aralığı, sıcaklığa, oksijene ve ozona dayanım, iyi esneme özellikleri, iyi elektrik yalıtımı, yandıktan sonra külünün bile elektrik yalıtım özelliğini devam ettirmesi güçlü taraflarıdır.

Pahalı olması, mekanik özelliklerinin zayıflığı, aşınma direncinin çok zayıf olması, yakıt ve yağ dayanımının az olması, hidrolize olabilir olması, ve işleme maliyetinin yüksekliği zayıf yönleri olarak sayılabilir.

### 2.3.10 Silikon Kauçuklar (Si):

O-Si-O iskeleti dolayısıyla hareketliliği yüksektir. Zincirler arası güçler çok zayıftır. Gerildiğinde kristalleşmez. Çok kararludur.

Geniş servis ısı aralığı, sıcaklığa, oksijene ve ozona dayanım, iyi esneme özellikleri, iyi elektrik yalıtımı, yandıktan sonra külünün bile elektrik yalıtım özelliğini devam ettirmesi güçlü yönleridir.

Zayıf özellikleri ise; pahalı olması, mekanik özellikleri zayıftır, aşınma direnci çok zayıftır, yakıt ve yağ dayanımı azdır, hidrolize olabilir, işlenmesi maliyetlidir

Başlıca kablo ve sızdırmazlık işlerinde kullanılır. İnert özelliği dolayısı ile tıbbi uygulamada yer bulmaktadır.

### **2.3.11 Poliakrilatlar (ACM):**

Çapraz bağlı olduğundan yaklaşık %5 kloroetil vinileter, sterik yapı ve polar kuvvetler dolayısıyla hareketliliği düşüktür. Kristalleşmez. Genel olarak inerttir.

Sıcaklığa, oksijene ve ozona dayanım, yağ ve yakıtı karşı direnç, iyi esnek özellikler, düşük geçirgenlik güçlü özellikleridir.

Dezavantajları ise zayıf mekanik özellikler, çalışma sıcaklıklarının sınırlı olması, su ve alkali dayanımının azlığı, işleme maliyetlerinin yüksekliği.

Yüksek ısıya dirençli conta ve keçeler gibi sınırlı kullanım alanı mevcuttur.

### **2.3.12 Floroelastomerler (FPM):**

C-F grubu iyi yakıt ve yağ dayanımı, iyi ısı dayanımı ve düşük alevlenme özelliği verir. Gerildiğinde kristalleşir ve düşük ısı esnekliği iyi değildir.

Yüksek sıcaklıklara mükemmel dayanımı, Yağa, akaryakıtı, kimyevi maddelere ve çözücülere dayanıklı olması, oksijene ve ozona dayanıklı olması, düşük geçirgenlik ve yüksek yanmazlık seviyesi güçlü taraflarıdır.

Düşük sıcaklıklardaki mekanik özellikleri kötüdür, işlenmesi ve temini yüksek maliyetlidir.

Pahalı maliyetini kabul ettirebilecek yüksek performans gerektiren yerlerde (Özel conta, keçe, hortum, askerî ve uzay uygulamaları gibi) kullanılabilir.

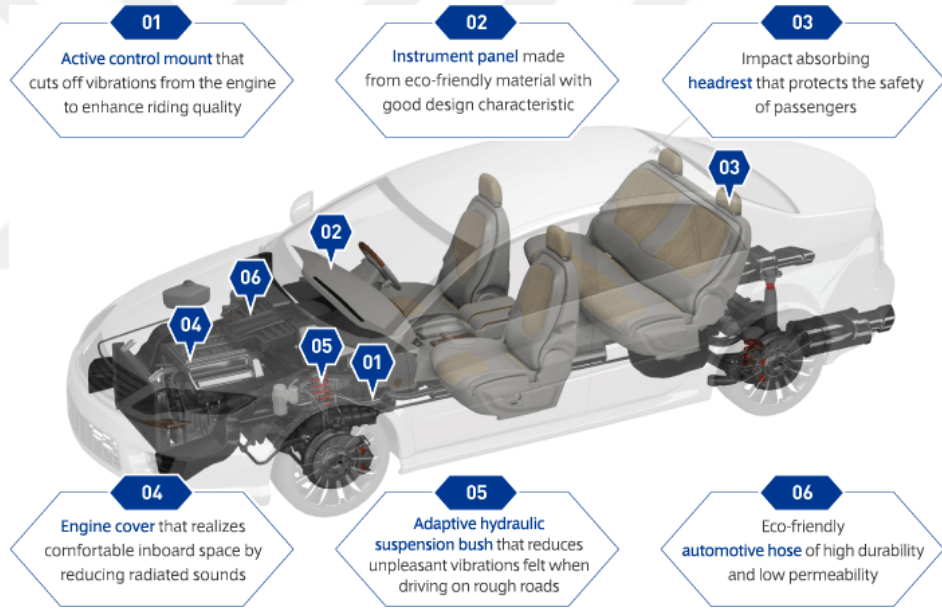
Çizelge 2.2 Kauçuk çeşitlerinin karşılaştırılması(Anonim, 2015 )

MALZEME ADI	ÇALIŞTIĞI SICAKLIKLAR	FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ
[NBR] NİTRİL KAUÇUK	-40 C +110 C	Benzin, mazot, çeşitli sanayi ve gres yağlarına karşı dayanıklıdır. Keçe imalatında en çok tercih edilen malzeme çeşididir.
[Si] SİLİKON KAUÇUK	-60 C +200 C	Yırtılmaya karşı direnci zayıf olan bu malzemenin, oksijen ve ozonun etkilerine karşı direnci oldukça yüksektir.
[FPM] FLOROELASTOMERLER VİTON KAUÇUK	-30 C +250 C	Yırtılmaya karşı direnci zayıf olan bu malzemenin, oksijen ve ozonun etkilerine karşı direnci oldukça yüksektir.
[AU] POLİÜRETAN KAUÇUK	-30 C +90 C	Hava, ozon, su, yağ ve karışımlarına dirençli olup yüksek basınç, kopma, yırtılma ve aşınmaya karşı dayanıklılığı mükemmeldir.
[EU] CR NEOPRENE KAUÇUK	-20 C +120 C	Sıvı ve gaz hâlindeki petrol ürünlerine, atmosfer şartlarına, ozona, suya ve tuzlu suya dayanıklıdır. Yanması güçtür.
[EPDM] EPDM KAUÇUK	-45 C +150 C	Dış etkenlere, ozona, tuzlu suya, sıcak ve soğuk suya dayanıklılığı oldukça iyidir.
[NR] TABİİ KAUÇUK	-60 C +90 C	Çeşitli asit ve bazlara, alkole, soğuk ve sıcak suya dirençlidir. Yüksek esneklik ve mekanik özellik gerektiren yerlerde kullanılır.

### 3 MATERYAL VE YÖNTEM

Günümüzde kauçuğun çok geniş kullanım alanları vardır. Titreşim, gürültü ve şok engelleyici olarak otomotiv sektöründe sileceklerde, amortisörlerde, bağlantı noktalarında, burçlarda, fitillerde ve hortumlarda yaygın şekilde kullanılan kauçuğun en çok kullanıldığı alan ise araç lastikleridir. Yıllık toplam kauçuk üretiminin yüzde 56'sından fazlası araç lastiği üretiminde kullanılır.

“Kauçuğun yoğun biçimde kullanıldığı diğer ürünlerden bazıları şöyledir: konveyör bant, kayışlar, hortum, conta, ayakkabı tabanı ve körük. Tıbbi ve endüstriyel eldivenler de kauçuk ürünleridir. Ayrıca kauçuktan çeşitli yapıştırıcı türleri de üretilmektedir.” (Güven 2014)



Şekil 3.1 Otomobilde kauçuğun kullanım alanları (Anonim 2015)

Kauçuk stoperler otomotiv endüstrisinde titreşim, gürültü kontrolü amaçlı kullanılırlar. Hareketli parçalar arasına yerleştirilen özel geometrili kauçuk parçalar iki yapının birbirine üzerine çarpmasını engellerken aynı zamanda ortaya çıkacak titreşim ve gürültüyü de absorbe etmiş olurlar.



Şekil 3.2 Otomobil kapı stoperi (Anonim 2015)

### 3.1 Hiperelastik Malzeme Modelleri

Hiperelastik bir malzemenin mekanik özelliklerinin tanımlanması metalik malzemelerden oldukça farklıdır.

Tek eksenli çekme testinde uzamadan sonraki uzunluğun, ilk uzunluğa oranı “uzama oranı” ( $\lambda$ ) olarak tanımlanır:

$$\lambda = \frac{L}{L_0} = \varepsilon + 1$$

Hiperelastik bir malzemenin bünye denklemi için gerinme enerjisi potansiyeli kullanılır. Bu tanım için invaryant ve uzama oranı değerleri tanımlanır. İnvaryantlar, koordinat sisteminden bağımsız gerinmeleri ölçmek için kullanılır. Gerinme enerjisi potansiyelinin tanımlanması için üç yönde uzama ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ) oranı tanımlanır. Burada  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  düzlemdeki uzamaları temsil ederken  $\lambda_3$  ise düzlem dışı uzamayı temsil etmektedir. Üç yöndeki gerinme invaryantları şu şekilde yazılır:

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2$$

$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2$$

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2$$

İzotropik ve mükemmel sıkıştırılmaz bir malzeme için  $I_3=1$ 'dir. Gerinme enerjisi potansiyeli (W), uzama oranları ve gerinme invariantlarının fonksiyonudur.

Literatürde birçok hiperelastik malzeme modeli tanımlanmıştır. Bunlardan bazıları; Mooney-Rivlin, Polynomial Form, Neo-Hookean, Ogden, Arruda-Boyce, Gent, Yeoh ve Marlow modelleridir. (Karen 2008)

Lastik modellerinde kauçuk için genel olarak Mooney-Rivlin hiperelastik malzeme modeli kullanılmasına rağmen doğrusal elastik malzeme modelleri de yakın sonuçlar vermektedir.

Mooney-Rivlin:

$$W(I_1, I_2) = \sum_{ij=0}^{n \rightarrow \infty} C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j$$

Burada  $c_{i,j}$  katsayıları belirtmektedir. Mooney-Rivlin modeli %100 gerinmelere kadar çekme testleri için uygun olsa da bası şeklindeki deformasyonlarda kötü sonuçlar vermektedir.

Neo-Hookean:

$$W(I_1) = C_{10} (I_1 - 3)$$



Ogden:

$$W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{r=0}^{n \rightarrow \infty} \frac{\mu_r}{\alpha_r} \left( \lambda_1^{\alpha_r} + \lambda_2^{\alpha_r} + \lambda_3^{\alpha_r} - 3 \right)$$

Buradaki  $\mu_r$  ve  $\alpha_r$  malzeme testlerinden bulunacak olan katsayılarıdır. Ogden modeli %700'e kadar olan gerilmelerde iyi sonuçlar vermektedir.

Yeoh:

$$W(I_1) = \sum_{n=1}^i C_n (I_1 - 3)^n$$

Ogden parametreleri  $\alpha_n$  ve  $\mu_n$  pozitif olmaları gerekmez ama stabilite durumları yüzünden  $\alpha_n \mu_n > 0$  olması bütün n değerleri için tavsiye edilir. Ogden gerilme enerji fonksiyonu N=3 değeri daha çok kullanılan halidir. N=2 olduğu zaman  $\mu_1=2C_{10}$ ,  $\mu_2=2C_{01}$  ve  $\alpha_1=2$ ,  $\alpha_2=-2$  olur ve Ogden formu Moonley – Rivlin halini alır. (Balaban, 2006)

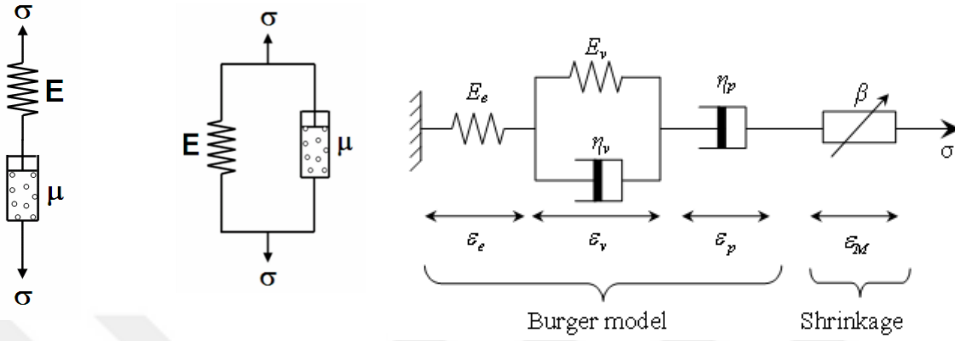
Malzeme testleri ile elde edilen veriler kullanılarak yukarıda verilen modellerden en uygun malzeme modeli belirlenir. Testlerden elde edilen değerlere göre eğri uydurma yöntemi ile sonlu elemanlar malzeme modeli tanımındaki katsayılar belirlenir ve doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizleri ile farklı yönlerdeki yüklemeler altında kauçuk ürünlerin davranışı hesaplanır.

### 3.2 Viskoelastiklik

Plastiklerin en belirgin özelliği aynı anda hem elastik hem de viskoz (sıvı) anlamına gelen viskoelastik davranış göstermeleridir. Yani yük altındaki plastikte zamanla uzama meydana gelir. Uzamayı sabit kabul edersek zaman içerisinde gerilmede azalma oluşur. Bu yüzden plastikler metallere farklı davranış sergilerler. Bu da sürünme ve gevşeme şeklinde kendini göstermektedir.

Sürünmenin tarifinden sabit bir gerilme altında malzeme sürekli şekil değiştirir. Gevşeme ise; sabit şekil değiştirme miktarında iken gerilmenin sürekli azalmasıdır.

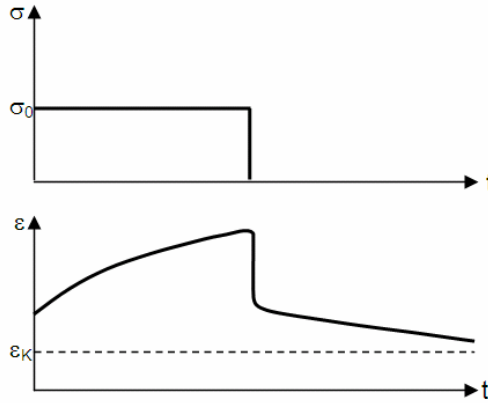
Plastik malzemelerin bu davranışı matematik model ile açıklanabilir. Bu konu ile ilgili esas itibariyle iki model mevcuttur. Bunlar Maxwell Modeli ve Voight - Kelvin modelidir. Fakat bir üçüncüsü de bu iki modelin karışımı olan karma model vardır (Ay 1992).



Şekil 3.3 Maxwell modeli, Kelvin modeli, Maxwell ve Voight- Kelvin Birleşik Modeli

### 3.2.1 Cisimlerde Sünme (Creep)

Sünme olayında sabit gerilmeye maruz kalmış cisimdeki şekil değişimi incelenir. Gerilmenin kaldırılması halinde cisimde ani bir elastik şekil değişimi azalması görülür. Ancak geciken elastik şekil değişimi sonucunda cisimde cisimde kalıcı bir (plastik) şekil değişimi oluşur.

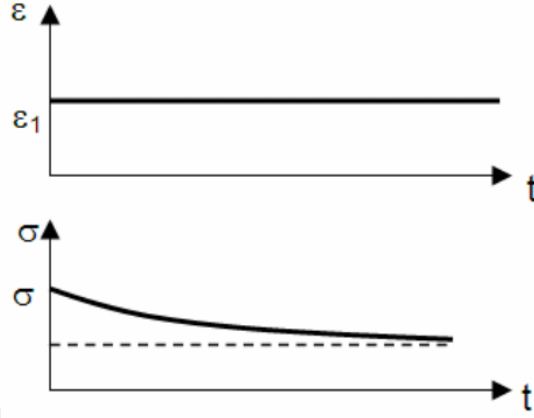


Şekil 3.4 Sünme (Creep) eğrisi

Sünme olayının meydana getirdiği şekil değişimleri belirli bir büyüklüğü aşınca kullanım, görünüş, statik ve emniyet açısından bazı önemli sakıncalar doğabilir. Sünme olayı önemli çatlaklar meydana getirebilir. Bu çatlaklar stabiliteyi etkilemese bile yapının estetiğini bozabilir.

### 3.2.2 Gerilim Gevşemesi (Stress relaxation)

“Gerilim gevşemesinde şekil değişiminin sabit tutulması halinde uygulanan gerilimin nasıl değiştiği incelenir. Cisme kuvvet uygulanır ve şekil değişimi incelenir. Uygulanan kuvvet sonucunda şekil değişimi sabit tutulursa, gerilmelerin zamanla azaldığı tespit edilir.” (Ün 1992)



Şekil 3.5 Gerilim gevşemesi eğrisi

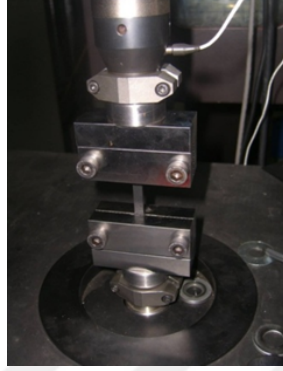
### 3.3 Malzeme Modelinin Belirlenmesi İçin Yapılan Testler

Hiperelastik malzemelerin test yöntemleri ulusal ve uluslararası standartlarda henüz kesin hatları ile tanımlanmamıştır. Elastomer test numunelerinin çeşitli test yöntemleri ile elde edilen gerilme-gerinme verileri eğri uydurma yöntemi ile araştırmacılar tarafından geliştirilen malzeme modellerinin tanımlanmasında kullanılır. Bu testlerden en temel test tek eksenli çekme testidir. Kauçuk ürünün gerçek çalışma şartlarında deformasyon davranışına uygun malzeme testleri yapılmalıdır. Sadece bir test yeterli olabileceği gibi mümkünse birden fazla test ile malzemenin davranışı daha doğru modellenebilir. Basit çekme, kayma ve bası testleri malzemenin farklı davranışlarını modellemek için gereklidir.

#### 3.3.1 Tek Eksenli Çekme Testi

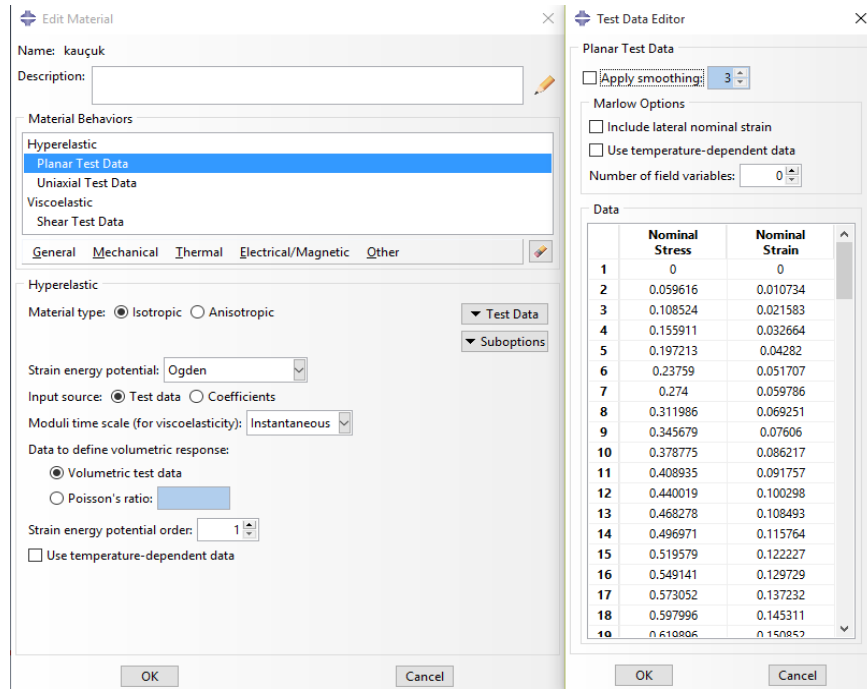
En yaygın test metodudur ve bu konuda birçok standart vardır. Ancak analiz için kullanılacak verilerin elde edilmesi için test yöntemi farklılıklar arz eder. Örneğin saf çekme etkisini görmek için numunenin uzatılan boyu, genişlik ve kalınlığa göre oldukça

fazla olmalıdır. Numunenin boyu genişliğe oranla en az 10 kat fazla olmalıdır. Bu deneydeki amaç numunenin kopma mukavemetini ölçmek olmadığından numune standart boyutlardan farklı olabilir. Bu çalışmada yapılan tek eksenli malzeme testi Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 Tek eksenli malzeme testi

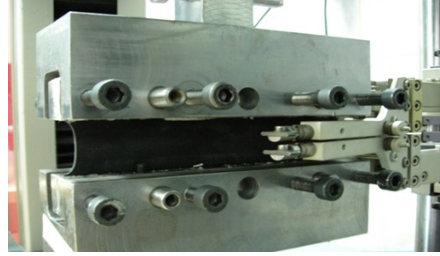
Numune parçasının boyu, iki uçtan sıkılan bağlantı elemanlarının arasındaki boy olarak tanımlanır. Sıkılan kısımdaki uzunluklar dikkate alınmaz. Ölçme işlemi bağlantı elemanlarının uzağında, saf uzama olan bölgeden alınmalıdır. Çekme testinde ilk çevrimlerde malzeme özellikleri önemli ölçüde değişir. Bu durum "Mullin etkisi" olarak adlandırılır. Belli bir çevrim sayısından sonra (3 ile 20 arası) malzeme davranışı stabil hale gelir.



Şekil 3.7 Tek eksenli çekme testi verilerinin Abaqus programına aktarılması

### 3.3.2 Düzlem Çekme Testi

Tek eksenli çekme testine benzer ancak numune uzunluğu genişliğine oranla oldukça kısadır. Kauçuk malzeme sıkıştırılmaz olduğundan dolayı çekme yönüne göre 45° açıda saf kayma meydana gelir.



Şekil 3.8 Düzlem malzeme testi

Test sırasında numunenin incilmesi kalınlık yönünde olur. Numune genişliği uzunluğundan en az 10 kat fazla olmalıdır. Deney sonuçları bu oranla çok yakından ilişkilidir. Bu çalışmada gerçekleştirilen düzlem çekme testi şekil 3.8’de verilmiştir.

	Nominal Stress	Nominal Strain
1	0	0
2	0.067493	0.013173
3	0.122799	0.022706
4	0.170091	0.031698
5	0.215172	0.042221
6	0.256204	0.050924
7	0.294346	0.061872
8	0.331216	0.07209
9	0.365922	0.082178
10	0.398546	0.09223
11	0.429188	0.103614
12	0.460153	0.113874
13	0.488826	0.1232
14	0.516538	0.135243
15	0.543559	0.147037
16	0.570611	0.158219
17	0.596299	0.169079
18	0.620352	0.179255
19	0.643838	0.190456

Şekil 3.9 Düzlem çekme testi verilerinin Abaqus programına aktarılması

## 4 BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Kapı Stoperinin Üç Boyutlu Modelin Oluşturulması

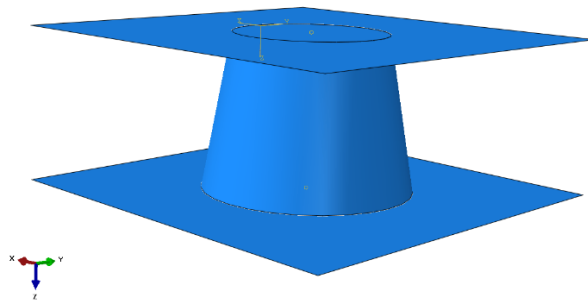
Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak katı modeli temin etmenin farklı yöntemleri mevcuttur. Birincisi analiz programında modelleme yapılabilir. İkincisi ise Catia, Solidworks, Ugnx gibi üç boyutlu katı modelleme programları ile modelleme yapıp Step, igs, parasolid vb. formatlarda kaydedilerek analiz programına aktarmaktır.

Bu çalışmada sonlu elemanlar analizi ve kapı stoperinin üç boyutlu olarak modellenmesi ABAQUS/CAE 6.14 programında yapılmıştır.



Şekil 4.1 Kauçuk kapı stoperinin üç boyutlu tasarımı

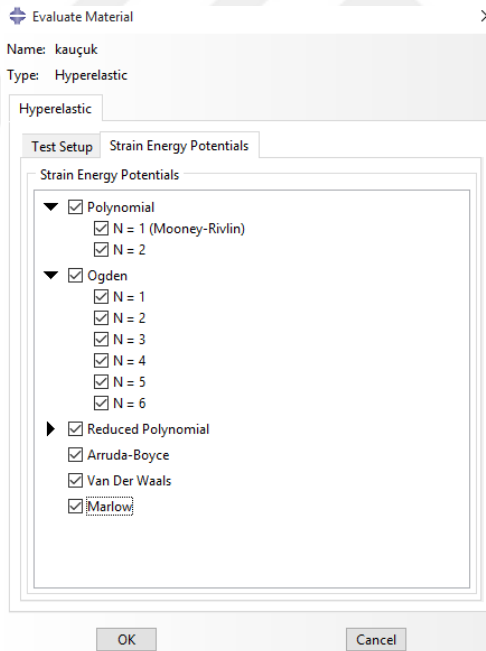
Analiz çalışması için kapı stoperi, alt ve üst plakalar üç boyutlu olarak katı modellenmiştir.(Şekil 4.1) Kauçuk kapı stoperi döndürerek katı oluşturma komutu olan revolve seçeneği ile tasarlanmıştır. Kapı stoperi deformable seçeneği kullanılırken, plakalarda analytical rigid komutu kullanılmış ve böylece plakaların sıkışma esnasında şekil değiştirmemesi sağlanmıştır. Alt-üst plakalar ve kauçuk stoperin modellenmesi sonrasında montajı yapılmıştır.(Şekil 4.2)



Şekil 4.2 Montaj görüntüsü

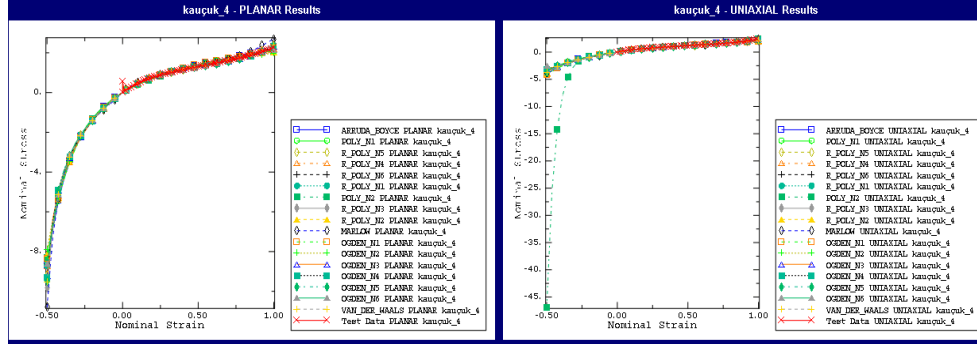
## 4.2 Hiperelastik Malzeme Modelinin Belirlenmesi

Hiperelastik malzemelerin yük altındaki uzama davranışları doğrusal olmadığı gibi hemen hemen sıkıştırılmaz yapıdadırlar. İstenilen statik rijitlik eğrisini veren bir kauçuk ürün tasarlamak için genellikle sonlu elemanlar yöntemi kullanılır. Kauçuk malzemeden üretilen ürünlerin sonlu elemanlar modellerinde hiperelastik malzeme modelleri tanımlanır. Sonlu elemanlar analizleri paket programlarında hiperelastik malzemenin tanımlanabilmesi için yapılan malzeme test sonuçları sonlu elemanlar paket programlarına girilir. Test verilerine en iyi uyum gösteren hiperelastik bir malzeme modeli seçilerek katsayılar hesaplanır veya paket program içerisindeki hazır malzeme modellerinden birisi seçilir. Kauçuk bir malzemenin mekanik davranışı, malzemeye uygun bir şekil değiştirme enerjisi modelinin seçimi ile tanımlanmaktadır. (Şekil 4.3)



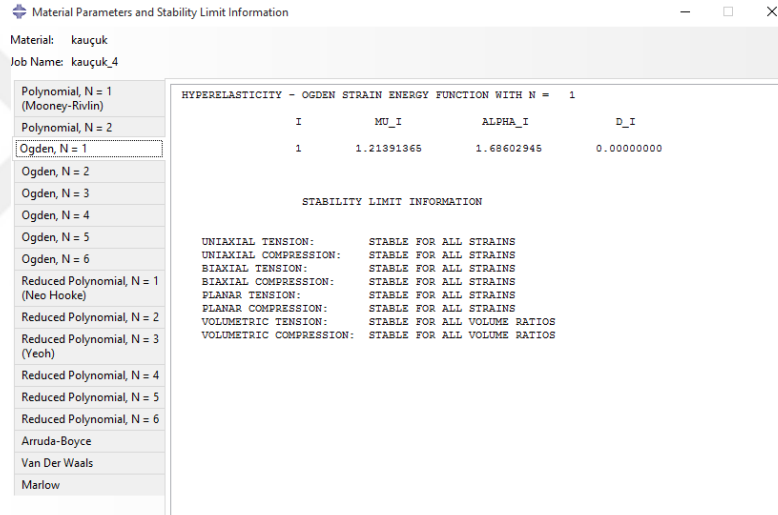
Şekil 4.3 Tüm hiperelastik malzeme modellerinin seçilmesi

Bu çalışmada yapılmış olan tek eksenli çekme testi ve basit düzlem çekme testi sonucundaki test değerleri programa girilerek ideal malzeme modeli belirlenmiştir.(Şekil 4.4)



Şekil 4.4 Hiperelastik malzemelerin davranışı için malzeme modelleri

Bu çalışmada test verileri ile hedef rijitlik eğrisinin en uyumlu olduğu malzeme modeli seçilecektir. Bunun için analiz programı uygun olmayan modellere “unstable” mesajı vermektedir. İlk olarak şekil 4.5’de gösterilen modeller içerisinde stable olanlar seçilecektir.



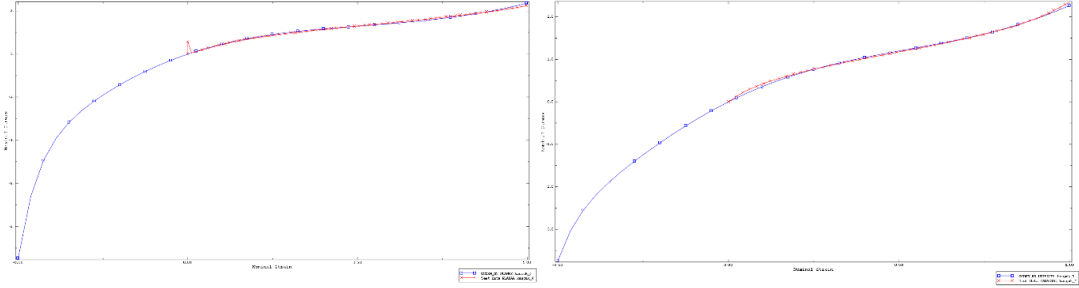
Şekil 4.5 Hiperelastik malzeme modelleri ve “stable” malzemeye örnek

Hiperelastik malzemelerin test yöntemleri ulusal ve uluslararası standartlarda henüz kesin hatları ile tanımlanmamıştır. Elastomer test numunelerinin çeşitli test yöntemleri ile elde edilen gerilme-gerinme (stress-strain) verileri eğri uydurma yöntemi ile araştırmacılar tarafından geliştirilen malzeme modellerinin tanımlanmasında kullanılırlar.

Hiperelastik malzeme modeli katsayılarının belirlenmesi için malzeme testlerinin yapılması gerekir. . Bu çalışmada bu testlerde tek eksenli çekme ve düzlem çekme test verileri kullanılarak malzeme modeli belirlenmiştir. Malzeme testlerinden elde edilen veriler ile eğri uydurma yöntemi uygulanmıştır. Hiperelastik malzeme modellerinden test

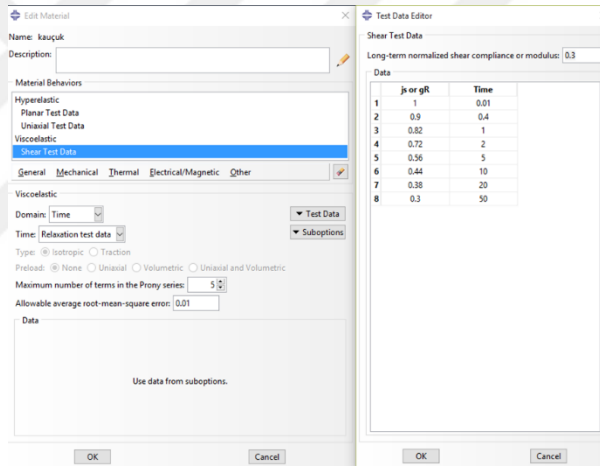


verilerine en uygun olan Ogden N=5 malzeme modeli seçilmiştir. Test sonuçları ve malzeme modelleri Şekil 4.6 'da verilmiştir.



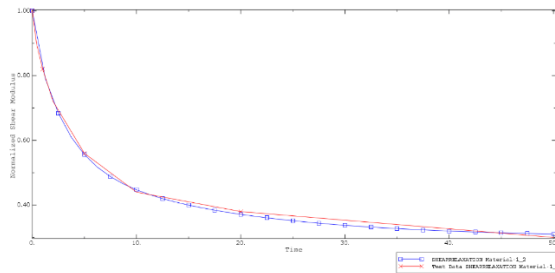
Şekil 4.6 Tek eksenli ve düzlem çekme malzeme modeli

### 4.3 Viskoelastik Malzemenin Tanımlanması



Şekil 4.7 Viskoelastik tanımlama yapılması

Viskoelastik malzeme tanımlarken zaman yönünden gerilim gevşemesi analizi yapılacağı belirlenmiştir. Ardından gerilme-zaman değerleri analiz programına tanımlanmıştır.(Şekil 4.7)



Şekil 4.8 Gerilim Gevşemesi değerleri

Gerilim gevşemesi değerleri programa girildikten ve viskoelastik malzeme tanımlandıktan sonra prony katsayıları Abaqus programında elde edilmiştir.(Şekil 4.9)

Material Parameters and Stability Limit Information

Material: kauçuk  
Job Name: kauçuk\_8

Ogden, N = 5  
Viscoelastic

VISCOELASTIC - DEFINED IN THE TIME DOMAIN

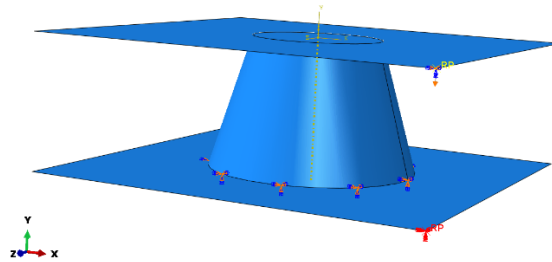
LINEAR, ISOTROPIC, PRONY SERIES DEFINITION

I	G(I)	K(I)	TAU(I)
1	5.29336E-02	0.0000	0.24333
2	0.39316	0.0000	2.9302
3	0.25390	0.0000	15.692

Şekil 4.9 Prony katsayılarının elde edilmesi

#### 4.4 Sınır Şartlarının Tanımlanması

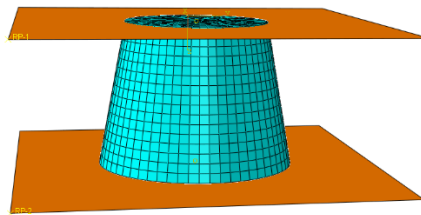
Alt plaka ankastre olarak mesnetlenmiştir. Kauçuk stoperin alt yüzeyi de aynı şekilde sabitlenmiştir. Üst plakaya ise dikey yönde ( z ekseninde) 4 mm deplasman verilmiştir.(Şekil 4.10)



Şekil 4.10 Sınır Şartları

#### 4.5 Sonlu Elemanlar Modeli Oluşturulması

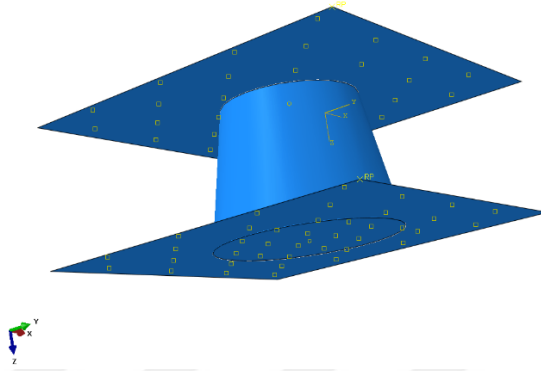
Eleman tipi olarak Hex ve Hybrid formulation seçilmiştir. Toplamda 2255 adet düğüm noktası ve 1840 lineer hexahedral C3D8RH tipi eleman kullanılmıştır.(Şekil 4.11)



Şekil 4.11 Stoperin sonlu elemanlar modeli

#### 4.6 Parçada Kontak Tanımlanması

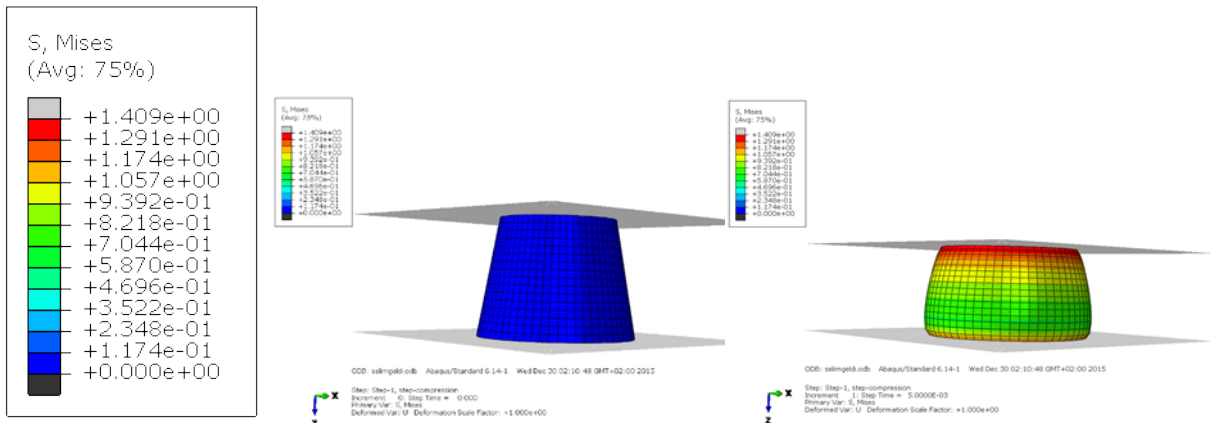
Kauçuk stoper ve plakaların birbirini görmesi ve analiz için doğru sonuç vermesi için sürtünme kuvveti girilmiş ve yumuşak ve sert yüzeyler belirlenerek stoper-üst plaka ve stoper-alt plaka arasında kontaklar tanımlanmıştır.(Şekil 4.12)



Şekil 4.12 Kontak tanımlanması

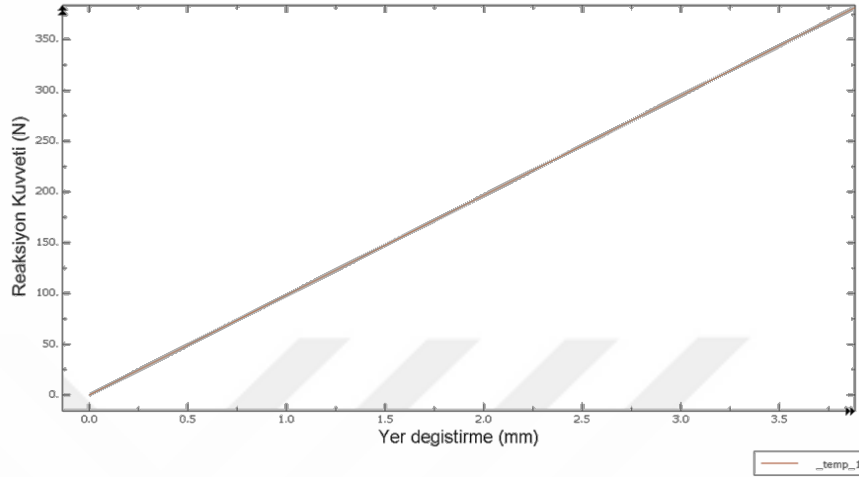
#### 4.7 Hiperelastik ve Viskoelastik Analiz Sonuçları

16 mm yüksekliği olan kauçuk stoper z ekseninde 4 mm sıkıştırılmıştır. Bu sıkışma sonucunda ilk anda maksimum 1.291 MPa olan gerilim 10 s sonunda azalarak 0.587 MPa olarak tespit edilmiştir. Böylece kauçuk stoper üzerinde gerilim gevşemesi gerçekleştiği anlaşılmaktadır.(Şekil 4.13)



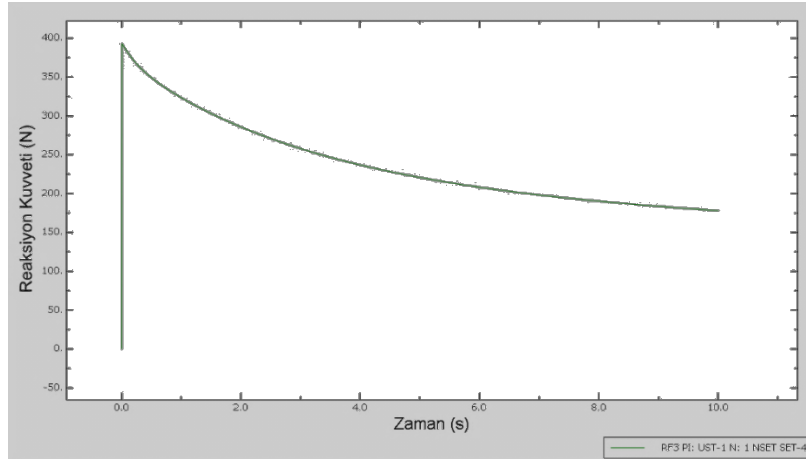
Şekil 4.13 Modelin sıkışmamış hali ve z eksenindeki sıkıştırılmış hali

Kauçuk stoperin 4 mm z ekseni yönünde sıkıştırılması sonucu oluşan gerilmeler ve yer değişimleri incelenerek statik rijitlik eğrileri çıkarılmıştır. Rijitlik eğrilerinin yer değiştirme arttıkça sıkıştırılmaz özelliğinden dolayı rijitliği gittikçe arttığı gözlenmiştir.(Şekil 4.14-15)



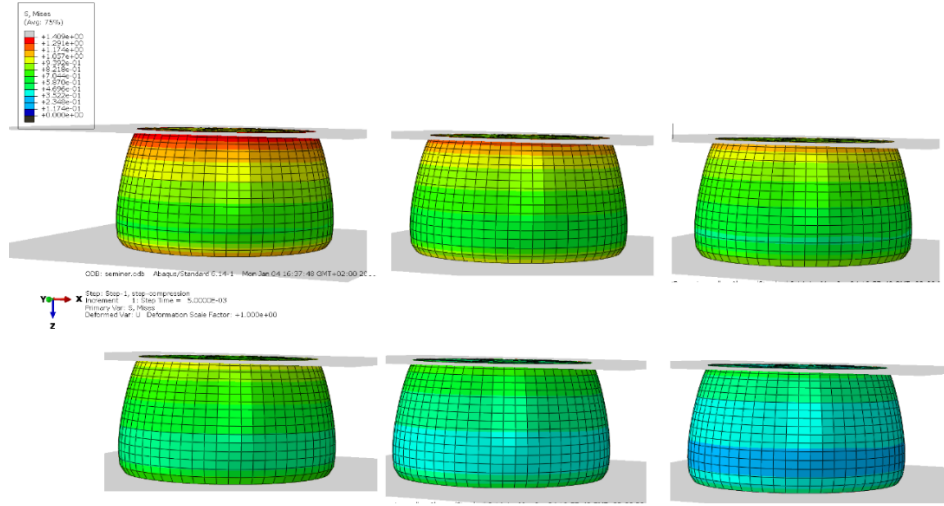
Şekil 4.14 Elde Edilen Rijitlik Eğrileri

Kauçuk stoperin zaman alanında viskoelastik analizi yapılarak gerilim gevşeme grafiği elde edilmiştir. Gerilim gevşemesi sonucunda sıkıştırılan kapı stoperinin içindeki gerilimin zamanla azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.15 Elde Edilen Gerilim gevşeme grafiği

İlk sıkışma anında stoperin üst ve alt uç noktalarındaki gerilimin maksimum değerlere ulaştığını görüyoruz. Hareket bittikten sonraki 10 s içerisinde parça alt kısma yakın bir bölgeden başlamak üzere gevşemeye başlıyor. (Şekil 4.16)



Şekil 4.16 Stoperin gerilim gevşemesi analiz sonucundaki iç gerilimin azalması

## 5 SONUÇ

Bu çalışmada kauçuk stoperin sonlu elemanlar yöntemi ile hiperelastik modellenmesi yapılmış ve yine sonlu elemanlar yöntemi ile statik ve dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Kauçuk malzemelerin hiperelastik malzeme modelleri malzeme testleri sonucu belirlenmiştir. Kauçuk stoperin belli oranda “z” eksenini yönünde sıkıştırılması sonucu oluşan gerilmeler ve yer değişimleri incelenerek statik rijitlik eğrisi çıkarılmıştır. Kauçuğun sıkıştırılmaz özelliğinden dolayı, yer değiştirme arttıkça rijitliğin gittikçe arttığı gözlenmiştir. Kauçuk stoperin zaman alanında viskoelastik analizi yapılarak gerilim gevşeme grafiği elde edilmiştir. Gerilim gevşemesi sonucunda sıkıştırılan kapı stoperinin içindeki gerilimin zamanla azaldığı tespit edilmiştir.

Ortaya konan bir diğer sonuçta sıkıştırılan parça üzerindeki hangi bölgelerde yüksek kuvvetlerin oluştuğu tespit edilmiştir. Bu tespitten yararlanılarak yeni bir parça tasarımında optimizasyon yapmak mümkün olacaktır.

## KAYNAKLAR

**Abaqus Tutorial 21, 2014.** Dassault System

**Aidy, S., Ali, A., 2009.** Simulation work of fatigue life prediction of rubber automotive components Automotive Engineering Unit, Institute of Advanced Technology, University Putra, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Malaysia

**Anonim, 2015.** Teknik Kauçuk Bilgileri (<http://www.kaucukdernegi.org.tr/kaucuk.asp?id=6>) (Erişim tarihi: 04.01.2016)

**Anonim, 2015.** <http://www.resinex.com.tr/polimer-turleri/natural-rubber.html>

**Anonim, 2015.** Kauçuk bilgileri (<http://www.arsankaucuk.com.tr/content/kaucuk-bilgileri>) (Erişim tarihi: 04.01.2016)

**Ay, İ., 1992.** Plastik Malzemeler, *Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Balıkesir, 47-56.

**Ayoub, G., Zaïri, F., Naït-Abdelaziz, M., Gloaguen, J.M., Kridli, G. 2014.** A visco-hyperelastic damage model for cyclic stress-softening, hysteresis and permanent set in rubber using the network alteration theory. <sup>a</sup> Mechanical Engineering Program, Texas A&M University at Qatar, Doha, Qatar <sup>b</sup> Université Lille 1 Sciences et Technologies, Laboratoire de Mécanique de Lille (LML), UMR CNRS 8107, F-59650 Villeneuve d'Ascq, France <sup>c</sup> Université Lille 1 Sciences et Technologies, Unité Matériaux Et Transformations (UMET), UMR CNRS 8207, F-59650 Villeneuve d'Ascq, France <sup>d</sup> Industrial and Manufacturing Systems Engineering, University of Michigan Dearborn, 48128 MI, USA

**Balaban, H. , 2006,** ‘‘Beyaz eşya sektöründe uygulanan düşürme testlerinin bilgisayarda simülasyonu’’, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Tasarım Ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

**DassaultSystems, 2015.** Abaqus / CAE 6.14 User’s Manual

**Ellul, M.D. 1992,** ‘‘Engineering with Rubber, How to Design Rubber Components’’, A. Gent, Ed., Carl Hanser Verlag, Munichch. 6.

**Erkek, S. 2007.** Karbon Siyahı/Yağ ve Karbon Siyahı/Dolgu Maddesi Oranının Farklı Vulkanizasyon Sistemlerinde EPDM, NBR ve SBR Elastomerlerinin Fiziko-Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Adana.

**Güven, C. 2014.** Kauçuk Burçların Hiperelastik Modellenmesi ve Şekil Optimizasyonu.Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Burs

**Kaya, N., Erkek, M., Güven, C. 2014** Taşıt Kauçuk Burçlarının Hiperelastik ve Viskoelastik Modellenmesi, Otekon 2014 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi Bursa

**Karen, İ, Kaya, N., Öztürk, F.ve Korkmaz, İ., 2008**, “Motor titreşim takozlarının istenen özelliklerde tasarımı ve doğrulaması”, 4. Otomotiv Teknolojileri Kongresi – OTEKON’ 08, 1-4 Haziran 2008, Bursa.

**Khairi, N., 1993**, “Rubber as Engineering Material”, Hanser Publisers, Munich, Vienna, New York, Barcelona, pp. 1516.

**Lake, GJ. 1995**, Fatigue and fracture of elastomers. Rubber Chemistry and Technology, 68, pp.435-460

**Morlacchi, S., 2015**. Tutorial Number 21: Compression and Stress Relaxation of a viscoelastic rubber seal

**Oman, S, Nagode, M. 2014**. Observation of the relation between uniaxial creep and stress relaxation of filled rubber. University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering,

**Özgün, R.E. 2010**. Kauçuk- Metal Burçlarda Kauçuk Sertliği ve Çaplama işlemlerinin Kopma Mukavemetine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa

**Reif, S.K., Amberge, K.J., Woodford, D.A. 1995**. Creep design analysis for a thermoplastic from stress relaxation measurements, Materials Performance analysis, Inc., 1737 Union Street, Suite 543, Schenectady, NY 12309, USA

**Rey, T., Chagnon, G., Le Cam, J.B., Favier, D. 2014**. Material behaviour Influence of the temperature on the mechanical behaviour of filled and unfilled silicone rubbers. a Université de Grenoble, Laboratoire 3SR, Domaine Universitaire, France

**Soyel, D. 2008**. Sonlu Elemanlar Metodu ile NR/SBR Tipi Elastomer Esaslı Malzemelerin Davranış Modellerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya.

**Tönük E., Ünlüsoy Y. S., 2001**. “Prediction of automobile tire cornering force characteristics by finite element modeling and analysis” Computers and Structures, 79, 1219-1232.

**Ün, H. 2007** PAÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilgisi Dersi Ders Notları

**Vahapoğlu, V. 2010**; Kauçuk Türü Malzemeler: Şekil Değiştirme Hızı Etkileri, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 16, Sayı 3, 2010, Sayfa 265

**Vahapoğlu, V. 2013**. Kauçuk Mekaniğinde Yapılan Deneyler. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(1): 33-60.

**Yavuz Erkek, M., Kaya, N., Güven, C. 2015** Kauçuk Burçların Hiperelastik Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi Uludag University Journal of the Faculty of Engineering in Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering





## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selim ERKEK

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul 1985

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Gaziosmanpaşa Anadolu lisesi 2003

Lisans : Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği 2012

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

**Doğan Gazetecilik** Nisan 2006-Ocak 2007

**Arabam.com** Şubat 2009-Aralık 2012

**Tofaş Ar-Ge** Ocak2014 -Aralık 2014

**Uludağ Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi** Aralık 2014-Halen

İletişim (e-posta) :selimerkek@gmail.com