

**MOTOR TERMOSTAT CONTASINDA MEYDANA  
GELEN KALICI ŞEKİL DEĞİŞİKLİKLERİNİN  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Rumeysa YILDIZ**



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MOTOR TERMOSTAT CONTASINDA MEYDANA GELEN KALICI ŞEKİL  
DEĞİŞİKLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Rumeysa YILDIZ**

Dr. Öğr. Üyesi Erol SOLMAZ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
OTOMOTİV MÜH. ANABİLİM DALI

BURSA-2019

## TEZ ONAYI

Rumeysa YILDIZ tarafından hazırlanan “MOTOR TERMOSTAT CONTASINDA MEYDANA GELEN KALICI ŞEKİL DEĞİŞİKLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü OTOMOTİV MÜH. ANABİLİM DALI’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : (Dr. Öğr. Üyesi Erol SOLMAZ)

**Başkan:** Prof.Dr.M.İhsan KARAMANGİL  
Bursa Uludağ Üniv.  
Mühendislik Fakültesi,  
Oto.Müh. Anabilim Dalı

İmza  


**Üye:** Dr.Öğr.Üyesi Erol SOLMAZ  
Bursa Uludağ Üniv.  
Mühendislik Fakültesi,  
Oto.Müh. Anabilim Dalı

İmza  


**Üye:** Dr.Öğr.Üyesi Celalettin YÜCE  
Bursa Teknik Üniv.  
Müh.ve Doğa Bil.Fak.  
Mekatronik Müh. Anabilim Dalı

İmza  


**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
Enstitü Müdürü

.././....

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

- 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.

11.07.2019

İmza

Rumeysa YILDIZ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MOTOR TERMOSTAT CONTASINDA MEYDANA GELEN KALICI ŞEKİL DEĞİŞİKLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

**Rumeysa YILDIZ**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Müh. Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Erol SOLMAZ

Bu çalışmada, araç motor termostatlarında kullanılan farklı malzeme özellikleri ile üretilen contaların kalıcı şekil değişimlerinin araştırılması ve incelenen malzemeler arasında en iyi olanın ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. İncelenen problem, üretilen contaların kalıcı deformasyon oranının yüksek olmasıdır. Bu durum kullanılan EPDM kauçuğun uygun üretim parametrelere göre üretilmediğini göstermiştir. Uygun parametreyi bulmak için ASTM D395 testi uygulanmasına karar verilmiştir. Numune olarak X,A,B,C grubu olarak tanımlanmış dört tane kauçuk grubu kullanılmıştır. Bu gruplardan X sülfür diğerleri peroksit vulkanizasyonu ile üretilmiştir. Hazırlanan numuneler teste tabi tutulduğunda peroksitle vulkanize edilmiş numunelerin, sülfürle vulkanize edilmiş numunelere göre daha dayanıklı olduğu görülmüştür. Test sonucuna göre kauçuğun üretiminde vulkanizasyon sistemi değiştirilerek peroksitli vulkanize kauçuk türü kullanılmaya başlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Elastomer, Kauçuk, Kalıcı Şekil Değişikliği, Yaşlandırma, Vulkanizasyon, EPDM

**2019,viii + 31 sayfa.i**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PERMANENT SHAPE DEFORMATIONS FORMED ON ENGINE THERMOSTAT SEAL**

**Rumeysa YILDIZ**

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Eng.

**Supervisor** Dr. Erol SOLMAZ

The aim of this research is to investigate permanent shape deformations of seals produced by different material properties using in the vehicle engine thermostats and to find out the best one among the investigated materials. Considering problem, the seals produced have high permanent shape deformation rate. This has been indicated that the EPDM rubber used was not produced due to necessary production conditions. Application of the ASTM D395 test has been decided to find out the best production conditions. Four different types of rubber, which were called as X, A, B, C, have been used as a sample. In these types, X was produced by the sulphur vulcanisation and others produced by the peroxide vulcanisation. When the samples prepared was tested, the samples, which were produced by the peroxide vulcanisation, were the long lasting as compared with the samples, which were produced by sulphur vulcanised. Due to result of these tests, the vulcanisation system has changed in the rubber production and then the rubber type with peroxide vulcanisation has begun to be used.

**Keywords:** Elastomer, Rubber, Residual Deformation, Aging, Relaxation, Peroxide Vulcanisation, Sulphur Vulcanization, EPDM

**2019, viii + 31 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada katkılarından dolayı Yük. Makine Mühendisi Savaş KAYACI'ya, Kırapart Otomotiv Parçaları San. ve Tic. A.Ş'ne ve Genel Müdür Yardımcısı Faruk ÜNLÜASLAN'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|   | Sayfa |
|---|-------|
| ÖZET .....  | i     |
| ABSTRACT .....  | ii    |
| TEŞEKKÜR .....  | iii   |
| SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                                 | vi    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....   | vii   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....   | viii  |
| 1. GİRİŞ .....  | 1     |
| 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....                  | 2     |
| 2.1 MONOMERLER ve POLİMERLER .....                                | 2     |
| 2.1.1 Polimerlerin Sentezi .....                                  | 2     |
| 2.1.2 Polimerlerin Sınıflandırılması .....                        | 2     |
| 2.2 Elastomerler .....  | 3     |
| 2.2.1 Tarihçesi .....   | 3     |
| 2.2.2 Elastomerler ile Plastik ve Elyaf Malzemelerin Ayrımı ..... | 3     |
| 2.3 Kauçuklar .....   | 4     |
| 2.3.1 Genel Amaçlı Kauçuklar .....                                | 6     |
| 2.3.2 Özel Kauçuklar .....  | 7     |
| 2.4 Dolgu Maddeleri .....   | 8     |
| 2.5 Karbon Siyahları .....  | 8     |
| 2.6 Yumuşatıcılar .....   | 8     |
| 2.7 Aktivatörler .....  | 9     |
| 2.8 Hızlandırıcılar .....   | 9     |
| 2.9 Vulkanizasyon .....   | 9     |
| 2.9.1 Vulkanizasyon Yöntemleri .....                              | 9     |
| 2.10 Vulkanizasyon Eğrisi .....                                   | 10    |
| 2.11 Vulkanizasyon Değişkenleri .....                             | 12    |
| 2.12 ASTM Uluslararası Test Standartları .....                    | 13    |
| 2.12.1 ASTM D395 Test Standardı .....                             | 14    |
| 2.12.2 Test Numune Kriterleri .....                               | 14    |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM .....                                       | 19    |



|                           |    |
|---------------------------|----|
| 4. BULGULAR.....          | 26 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ..... | 30 |
| KAYNAKLAR .....           | 32 |
| ÖZGEÇMİŞ .....            | 33 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

Bar

D

°C

$t_0$

inç

$m^3$

mm

Nm

C

CS

IRHD

F

s

ShA

$t_n$

$t_i$

Tork

R

H

%

### Açıklama

Basınç

Çap

Derece Santigrat

İlk Yükseklik

İnç

Metreküp

Milimetre

Newtonmetre

Karbon

Kalıcı Deformasyon Oranı

Kauçuk Sertlik Derecesi

Kuvvet

Saniye

Shore A sertlik derecesi

Sınırlayıcı Yükseklik

Test Sonrası Yükseklik

Tork

Yarıçap

Yükseklik

Yüzde

### Kısaltma

NBR

BR

NR

EPM

EPDM

FKM

HNBR

OAT

phr

VMQ

SBR

ASTM

### Açıklama

Akrilonitril Bütadien Kauçuk

Bütadien Kauçuk

Doğal Kauçuk

Etilen Propilen Kauçuk

Etilen Propilen Dien Kauçuk

Floro Karbon (Viton) Kauçuk

Hidrojenli Bütadien Kauçuk

Organik Asit Teknolojisi

Parts per Hundred Rubber

Silikon Kauçuk

Stiren Bütadien Kauçuk

The American Society for Testing and  
Materials Standartları

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1 Polimer zincirlerinin (moleküllerinin) basit gösterimleri(Saçak 1998).....  | 2  |
| Şekil 2.2 Bazı polimerlerin uzama gerilme eğrileri (Savran 2001) .....  | 4  |
| Şekil 2.3 Vulkanizasyon eğrisi (Savran 2001).....   | 11 |
| Şekil 2.4 Vulkanizasyon değişkenleri (Savran 2001) .....  | 12 |
| Şekil 3.1 a:Sistem basıncı sıfırken contanın yüzeye yaptığı kuvvet b:Sistem basıncı ile birlikte contanın yüzeye yaptığı kuvvet ..... | 20 |
| Şekil 3.2 Kauçuk conta .....  | 21 |
| Şekil 3.3 ASTM D395 Test Metodu .....   | 21 |
| Şekil 3.4 Conta kesit görünümü .....  | 22 |
| Şekil 3.5 Conta detay görünümü.....   | 22 |
| Şekil 3.6 Monte edilmiş test aparatı.....   | 24 |
| Şekil 3.7 Test düzeneği .....   | 25 |
| Şekil 4.1 Peroksitle üretilen numunelerin hacim-sıcaklık grafiği.....   | 28 |
| Şekil 4.2 Peroksitle üretilen numunelerin sertlik-sıcaklık grafiği.....   | 28 |
| Şekil 4.3 Peroksitle üretilen numunelerin kalıcı deformasyon-sıcaklık grafiği.....  | 29 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 2.1 Polimerlerin fiziksel özelliklerine göre sıralanması (Savran 2001)..... | 3  |
| Çizelge 2.2 Kauçuk karşımında kullanılan malzeme oranları (Erkek 2007) .....        | 5  |
| Çizelge 2.3 Vulkanizasyon öncesi ve sonrası kauçuk özellikleri (Erkek 2007) .....   | 5  |
| Çizelge 2.4ASTM D395 test numune ölçüm aralıkları.....                              | 15 |
| Çizelge 3.1 Contanın ölçü aralıkları.....   | 22 |
| Çizelge 3.2 Test numune üretim parametreleri .....                                  | 23 |
| Çizelge 3.3 Test numune sertlik değerleri.....                                      | 23 |
| Çizelge 4.1 Test Ölçüm Değerleri.....   | 26 |
| Çizelge 4.2 Test öncesi ve sonrası sertlik değerleri ve farkı.....                  | 27 |
| Çizelge 4.3 Kalıcı deformasyon değerleri.....                                       | 27 |
| Çizelge 4.4 Hacim değişim değerleri .....   | 27 |

## 1. GİRİŞ

Polimerlerin elastomer sınıfından olan kauçuklar günümüzde özellikle otomotiv sektöründe önemli ölçüde kullanım alanına sahiptirler. Monte edildiği yerde üzerine gelen titreşimleri sönümleme, sızdırmazlık gibi fonksiyonları bulunan kauçuk malzemelerin kullanıldığı bölgede istenilen özellikleri karşılaması için üretim proseslerin doğru belirlenmesi gerekmektedir.

Polimerlerin elastomer sınıfından olan kauçuklar günümüzde özellikle otomotiv sektöründe önemli ölçüde kullanım alanına sahiptirler. Kauçuk malzemelerden beklenen başlıca özellikler; çalışma şartlarına uygun mekanik özelliklere sahip olmak, üretildiği proses ve makinelere uygun olması ayrıca uygun maliyette elde edilmeleridir.

Çalışma şartlarına uygun özellikte kauçuk ürün elde edilmesi için üretim proseslerinin doğru belirlenmesi önemlidir. Çünkü seçilen üretim prosesleri ile ürüne istenilen özellikler kazandırılmaktadır. Uygun üretim prosesi seçilmediği takdirde ürünün çalışma ortamında istenilen verimde ve ömürde çalışmama riski oluşur.

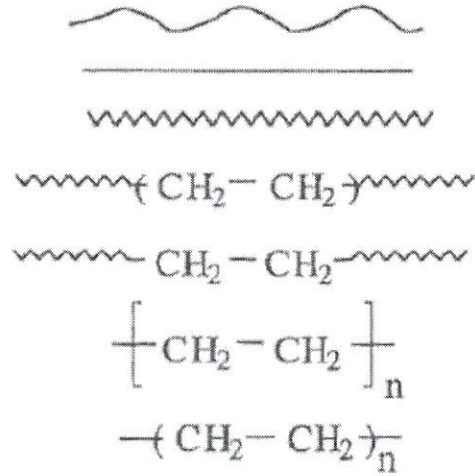
Bu tezin konusunu oluşturan problemde, müşterisinin Kırpart'a geri bildirimine göre, devreye alma testleri sırasında, contalar motor üzerindeki montaj yerlerinden sökülüp ölçüm yapıldığında, yüksek kalıcı deformasyona rastlanmıştır. Meydana gelen yüksek kalıcı deformasyon oranını gidermek için önce mevcuttaki proseste olan sülfür vulkanizasyonu ile peroksit vulkanizasyonu ile üretilen conta numuneleri üretilip ASTM standardına uygun bir şekilde kalıcı deformasyon testine tabi tutulacaktır. Test sonunda elde edilen bulgular karşılaştırılıp, kalıcı deformasyon oranı istenilen seviyenin altında olan numuneler ayrılacak ve ayrılan numuneler sızdırmazlığı kontrol etmek amacıyla ikinci bir teste tabi tutulacaktır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1 MONOMERLER ve POLİMERLER

Kovalent bağlarla aralarında bağ kurup büyük moleküller oluşturan küçük mol kütleli kimyasal yapılara monomer denir.

Polimer ise monomerlerin birbirlerine bağlanarak oluşturduğu büyük bir moleküldür. Latincece çok manasına gelen poli kelimesi ile parça manasına gelen meros kelimesi birleştirilerek polimer tanımı yapılmıştır. Polimer yapısında tek bir atom olabileceği gibi atom grupları da bulundurabilir. Şekil 2.1’de bazı polimer zincirleri ve zincirlerde bulunan atom grupları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Polimer zincirlerinin (moleküllerinin) basit gösterimleri(Saçak 1998)

#### 2.1.1 Polimerlerin Sentezi

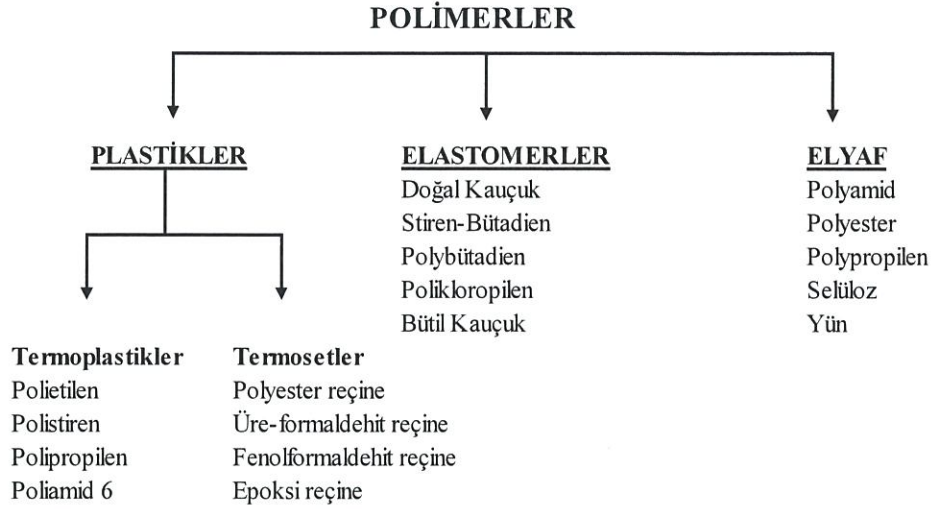
Polimerlerin sentezi basamaklı ve katılma polimerizasyonu adı altında iki temel metoda ayrılmaktadır.

#### 2.1.2 Polimerlerin Sınıflandırılması

Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi polimerler fiziksel özelliklerine bağlı olarak plastikler, elastomerler ve elyaflar olmak üzere üç kısma ayrılır. Plastikler termoset ve

termoplastik olarak ikiye ayrılır. Termoplastikler ısı ile işleme tabi tutulduğunda yumuşayarak akışkanlıkları artar ve form verilebilirler. Camı geçiş ve/veya erime noktaları vardır. Isı etkisi ile akışkan hale getirilip kalıplanabilir ve uygun çözücülerde çözülebilirler. Termosetler ise ısı ile işleme sabit tutulduğunda sabit bir form alarak şekillerini korurlar. Tekrar ısı ile işlem uygulanırsa yanma durumu söz konusudur.

**Çizelge 2.1** Polimerlerin fiziksel özelliklerine göre sıralanması (Savran 2001)



## 2.2 Elastomerler

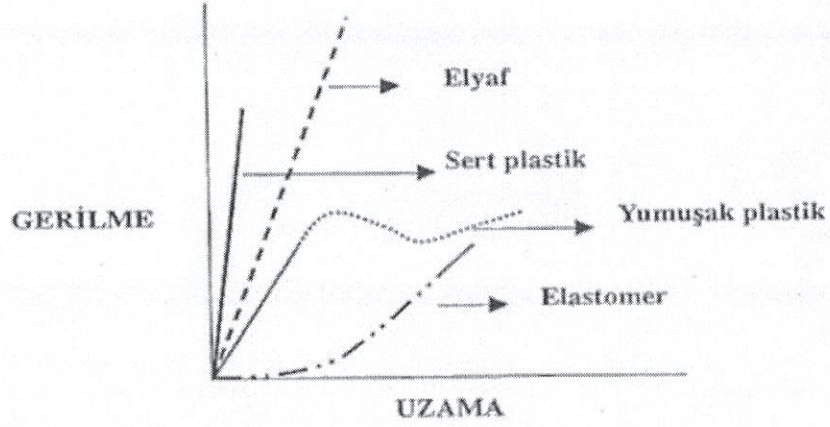
### 2.2.1 Tarihçesi

Kauçuğun kullanımı Charles Goodyear'ın 1843 yılında vulkanizasyonu keşfetmesi ile artmıştır. Goodyear 1843 'te ve sonra Hancock 1844'te kauçuğun sıcakta yumuşama ve soğukta gevrekleşme problemlerini gidermek için, kauçuğa kükürt ilave etmiş ve şekil verildikten sonra 130-140C sıcaklıklarına kadar ısıtmışlardır. Bu işleme literatürde vulkanizasyon adı verilmiştir. Düşük kükürt miktarında (%0.5-5) yumuşak, yüksek kükürt miktarında(%30) ise sert, çapraz bağ sayısı fazla kauçuk elde edilmektedir. Çapraz bağlar kauçuğa direnç ve elastik davranış kazandırır.

### 2.2.2 Elastomerler ile Plastik ve Elyaf Malzemelerin Ayrımı

Polimerlerin mekanik özellikleri bu maddelerin malzeme olarak kullanılmasını sağlar. Polimerlerin gerilme uzama eğrileri incelenirken, gerilen polimer numunesinin kopma

noktasına kadar olan eğrisel davranışı gözlenir. Polimer numunesine birim alanda uygulanan kuvvete gerilme; numunenin bu gerilme ile uzamasına gevşeme adı verilir. Şekil 2.2’de çeşitli polimerlerin uzama gerilme grafiği verilmiştir.



Şekil 2.2 Bazı polimerlerin uzama gerilme eğrileri (Savran 2001)

Şekilde belirtilen eğrilerin son noktalarından kopma kuvveti ve kopma uzamaları bulunabilmektedir.

### 2.3 Kauçuklar

Kauçuk terimi normalde hevea brasiliensis ağacından elde edilen malzemeye karşılık gelmekte birlikte günümüzde bu terim uygulanan kuvvetin serbest bırakılmasıyla tekrar eski konumuna geri dönebilen malzemeler için kullanılmaktadır (Anonim 1989). Kauçuk karışımları, içerisinde istenilen özelliği sağlaması için ilave edilen kauçuk ve diğer katkı malzemelerinden oluşup vulkanize edilen karışımlardır. Bir kauçuk karışımından beklenen özellikleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Bitmiş ürünün çalışacağı ortama uygun özellikte üretimi
- Karışımın uygulanacağı proses metot ve makinelere uygunluğu
- Maliyet

Üretilecek nihai parçanın talep edilen özelliklere göre uygun kauçuk ve diğer maddelerle (dolgu maddeleri, karbon siyahı, hızlandırıcılar vb.) belirli miktarlarda



karıştırılmasından kauçuk karışımı elde edilmektedir. Amacına hizmet için oluşturulan bu karışımlara formül veya reçete ismi de verilmektedir.

Kauçuk teknolojisinde kabul gören oran veya oranlar, ana hammadde kauçuk olan polimerin ağırlık olarak 100 phr kabul edildiği bir esasa üzerine dayanmaktadır. Phr birimi (Parts Per Hundred Rubber) kauçuk reçete hazırlama birimidir. Çizelge 2.2'ye göre bu reçete şunlardan oluşur:

**Çizelge 2.2** Kauçuk karışımında kullanılan malzeme oranları (Erkek 2007)

| <b>Kauçuk Karışımı</b>   |                  |
|--------------------------|------------------|
| <b>Malzeme</b>           | <b>Oran(phr)</b> |
| Kauçuk                   | 100              |
| Dolgu maddeleri          | 50               |
| Yumuşatıcılar            | 10               |
| Proses kolaylaştırıcılar | (1 - 5)          |
| Yaşlanmayı önleyiciler   |                  |
| Aktivatörler             | 5                |
| Hızlandırıcılar          | 1,20             |
| Pişiriciler              | 0,2              |
| Geciktiriciler           | 0,5              |

Her kauçuk karışımında, yukarıdaki maddelerin tamamı kullanılmayabilir fakat vulkanizasyonda sistem için kullanılacak malzemeler ile kauçuğun mutlaka olması gerekmektedir Vulkanize olan ve olmayan bir kauçuğun özelliklerini çizelge 2.3'te verilmiştir.

**Çizelge 2.3** Vulkanizasyon öncesi ve sonrası kauçuk özellikleri (Erkek 2007)

| <b>Vulkanize olmamış</b>  | <b>Vulkanize olmuş</b>    |
|---------------------------|---------------------------|
| Yumuşak                   | Sert                      |
| Yapışkan                  | Yapışkan olmayan          |
| Düşük mukavemet           | Yüksek mukavemet          |
| Yüksek kalıcı deformasyon | Düşük kalıcı deformasyon  |
| Çözünme                   | Çözünmez ya da az çözünür |
| Isıdan etkilenme          | Isıdan az etkilenme       |
| Termoplastik özellikler   | Elastik özellikler        |

### 2.3.1 Genel Amaçlı Kauçuklar

Genel amaçlı kauçuklar hidrokarbon polimerleridir. Bunlara stiren-butadien kauçuk (SBR), butadien kauçuğu (BR) ve polizopren kauçuk da dahildir ayrıca doğal (NR) ve sentetik (IR) kauçukların tamamı bu sınıfa aittir. Bu "dien" kauçuklar, zincirlerinde önemli ölçüde kimyasal bir doymamışlık içerirler ve oksijenle ve özellikle ozonla etkileşimde oldukça duyarlı olmalarına neden olurlar. Ayrıca hidrokarbon akışkanları tarafından kolayca şişirilirler. Bu kauçuk tiplerinin birincil uygulamaları otomobil ve kamyon lastikleridir. (Gent 2001) SBR, stiren ve butadien kopolimerlerinden oluşur. Yaklaşık % 23 stiren içerir. En çok kullanılan sentetik elastomerdur ve en yüksek üretim hacmine sahiptir. Serbest radikal polimerizasyonu vasıtasıyla sentezlenir.

SBR kauçuklar genel amaç kauçuğu olarak birçok alanda uygulama bulunabilmektedir. En önemli kullanım alanı araç lastiği üretimidir. Bu alanda kullanım oranı %75 civarındadır. Bunun dışında teknik parçaların üretiminde, hortum, konveyör kayışı, spor malzemeleri, ayakkabı tabanı ve yapıştırıcı imalatlarında kullanılmaktadır(Gent 2001).

Doğal kauçuk Hevea brasiliensis ağacının lateksinden üretilir. NR'den üretilen vulkanize edilmiş ürünler, yüksek mekanik mukavemete sahiptir ve mükemmel elastikiyet (orijinal şekline geri döndürme kabiliyeti) elde etmek üzere birleştirilebilir. NR çok düşük aşınma direncine sahip olduğundan nispeten düşük maliyetle, bulamaç pompa gömlekleri ve çarkları ile tank astarları için önemli bir seçimdir. Çok iyi dinamik mekanik özelliklere sahiptir ve bu nedenle lastikler, lastik yaylar ve titreşim aparatlarında kullanılır. Bir NR lastik zamkı vulkanize mamulü, çok yüksek bir elastikiteye sahiptir; bu nedenle, bir çarpma parçacıklarının kinetik enerjisinin büyük kısmı, vulkanize mamulün deformasyonuna dönüştürülür ve daha sonra enerjisini orijinal, deforme olmayan haline geri döndürerek serbest bırakır.

İzopren gibi BR de anyonik olarak veya Ziegler-Natta katalizi vasıtasıyla sentezlenebilir. Soğuk emülsiyon BR da mevcuttur. Hidrokarbon solvent içinde hazırlanan anyonik BR, vinil içerir. Vinil içeriği, polimerizasyon sırasında birlikte çözücü olarak bir amin veya eter ilavesiyle artırılabilir. Karışık izomerlerden oluştuğu için, anyonik olarak hazırlanmış BR, kristalleşmez. Emülsiyon BR çoğunlukla trans mikro yapısına sahiptir. Öte yandan, Ziegler-Natta ürünü kristalleşebilir. Düşük vinilli

BR'lar oldukça dirençlidir ve genellikle aşınma direncine sahip lastik izlerini yapmak için SBR, NR ve IR ile harmanlanır. NR, aksine, BR, mastikasyon sırasında zincir kopmalarına karşı dirençlidir. Önemli bir elastomer olmasına rağmen, diğer kauçuklarla bir karışım olarak (özellikle lastiklerde) yaygın olarak kullanılır.

### 2.3.2 Özel Kauçuklar

Nitril kauçuğu olarak da adlandırılan NBR, akrilonitril ve bütadien'in emülsiyon kopolimeridir. Akrilonitril içeriği %18 ila %50 arasında değişir. CR'nin tersine, NBR'deki polarite, mükemmel yakıt ve yağ direnci kazandıran polar monomer, akrilonitril ile kopolimerizasyon yoluyla ortaya çıkmaktadır. Akrilonitril içeriği arttıkça, kalıp şişmesi ve gaz geçirgenliği azalır, kauçuğun ısıl direnci ve dayanım kuvveti artmış olur. Ancak oksijen ve ozona karşı hassas bir yapıya sahiptir. Nitril kauçuk contalar ve yakıt ve yağ hortumları için yaygın olarak kullanılır.

NBR'nin tüm özelliklerine ve seçilen dereceye bağlı olarak çok daha yüksek bir ısı direncine sahiptir. Aynı zamanda çok iyi hava ve aşınma direncine, ayrıca iyi mekanik mukavemete sahiptir. Amin korozyon inhibitörlerine ve NBR'den daha iyi hidrojen sülfür direncine sahip olduğu için petrol sahalarında kullanılır. Yüksek sıcaklığa dayanıklı elastomerlerin gerekli olduğu zamanlama kayışları, contalar ve O-ringler için otomotiv uygulamalarında yer almaktadır. Kükürt ile pişirilen/vulkanize edilen HNBR 1000 saatlik yaşlandırma testinde maksimum 135 derece sıcaklığa kadar dayanabiliyorken, peroksit ile vulkanize edilen HNBR malzeme aynı testte 150 dereceye kadar dayanabilmektedir.

EPM, ana polimer zincirinin bir parçası olarak etilen ve propilen birimlerinden oluşan bir kopolimerdir. Peroksitler veya radyasyonla çapraz bağlanabilir, ancak sülfür içermez. EPM, etilen esaslı plastik darbe tadil edici ve yağlayıcı yağlar için bir viskozite indeksi geliştirici olarak kullanılır. Birleşik olmayan dien ana polimer zincirine aşılandığı zaman, terpolimer, etilen propilen dien (EPDM) ve zincir-içi kükürt çapraz bağlama imkânı doğar.

Etilen miktarı %70-80 arası değerlere ulaşıldığı zaman polimerde uzun etilen zincirleri oluşur ve kristalleşme artar. Bu durum kimyasal bağlanma olmaksızın yüksek mekanik

özelliklerin oluşmasını sağlar. EPDM’de doymamışlık yan grupta bulunduğu için, polimer zinciri tamamen doymuştur. Bu polimere, oksijen ozon ve kimyasal maddeler ile bozulmaya karşı çok iyi mukavemet kazandırır ve bu sebeple EPDM’den yapılan ürünler çok dayanıklıdır(Gent 2001).

## **2.4 Dolgu Maddeleri**

Dolgu maddeleri kauçuk karışımlarına kuru toz halinde eklenen maddelerdir. Bu maddeler kauçuk kuvvetini artırma, kauçuğu işlenebilir hale getirme, ekonomik karışımların meydana gelmesine katkı sağlama amacı ile karışımlarda kullanılmaktadır. Dolgu maddeleri siyah ve beyaz olmak üzere iki türe ayrılır. Yapmış oldukları etkilere göre de aktif, yarı aktif, inaktif olmak üzere üçe ayrılırlar.

## **2.5 Karbon Siyahları**

Karbon siyahları 1904’te İngiltere’de Mathews, Mote ve diğer bilim adamları tarafından keşfedilmiştir. Bu keşiften sonra 1910 yılından itibaren otomobil lastiği üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Dünyada imal edilen karbon siyahlarının yaklaşık %95’lik kısmı kauçuk sektöründe kullanılmaktadır. Bu sektörün dışında yine boya maddesi, plastik, matbaa mürekkebi olarak kullanılır. Metan gazı,aromatik hidrokarbonların kısmi yanması veya petrol yağlarından elde edilir.

## **2.6 Yumuşatıcılar**

Yumuşatıcılar dolgu maddeleri ile beraber kauçuk karışımı iskelet yapısını meydana getirir. Karışımlarda dolgu maddelerinden sonra en çok kullanılan maddedir. İşlem kolaylaştırıcı özelliği ön plandadır. Bu özelliği proste aşağıdaki durumlarda ortaya çıkar:

- Mekanik aşınmaların azalmasını sağlar.
- Karıştırılma sırasında, viskoziteyi düşürür ve böylelikle karıştırma enerjisi azalır.
- Karışıma katılan diğer maddelerin karışım içerisinde kolay dağılmasını sağlayarak homojen bir karışım oluşumu sağlar.

- Karışımın sertlik, uzama, elastikiyet ve düşük sıcaklık gibi fiziksel özelliklerinde değişimler meydana getirir.

## **2.7 Aktivatörler**

Vulkanizasyon işlemi için hızlandırıcılara gereksinim duyulur. İşlemi hızlandırıcılar ve fiziksel özelliklere de büyük oranda etki ederler. Hızlandırıcılar görevlerini tam olarak yapabilmek için, ek katkılara ihtiyaç duyarlar. Hızlandırmayı sağlayan bu maddelere, aktivatör denir. Aktivatör olarak en çok kullanılan malzemeler metal oksitlerdir. Bunların içinde en yaygın kullanılanı çinko oksittir. Magnezyum oksit de bir diğer alternatif olarak örnek verilebilir. Ancak otomotiv sektöründe çinko oksit artık yasaklı malzeme olarak kabul edilmektedir. Yerine gelecek muadil aktivatör araştırmaları devam etmektedir.

## **2.8 Hızlandırıcılar**

Hızlandırıcılar vulkanizasyon hızını artırarak ortaya çıkan ürünün özelliklerini olumlu şekilde etkileyen maddelerdir. Bu maddelerin kimyasal yapıları farklı olduğu için, vulkanizasyon esnasında farklı etkiler meydana getirebilirler.

## **2.9 Vulkanizasyon**

Kauçuk malzemenin geriye dönüşümü olmayacak şekilde çapraz bağ reaksiyonlarıyla elastik özellik kazandırılma işlemine vulkanizasyon denir. Vulkanizasyondan evvel kauçuk malzeme plastik özellik gösterirken, vulkanizasyon sonrası malzeme elastik özellik gösterir.

### **2.9.1 Vulkanizasyon Yöntemleri**

Vulkanizasyon basınç, sıcaklık ve zaman parametreleri kullanılarak çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan yöntemler; pres vulkanizasyon ve açık vulkanizasyondur.

Pres vulkanizasyonunda kalıp önemli bir ayrıntıdır. Kısaca tarif edilecek olursa, alt ve üst kalıp denilen iki plakadan oluşur. Malzemesi genelde çeliktir. Vulkanizasyon öncesi

kauçuk karışımı kalıp boşluğuna gelmeden önce kalıplar ısıtılır. Daha sonra ısıtılan kalıplarda kauçuk belli bir zaman, sıcaklık ve basınçta vulkanizasyon işlemine girer. Pres vulkanizasyonu kompres kalıp yöntemi, transfer kalıp yöntemi ve enjeksiyon yöntemi olarak üç sınıfa ayrılır.

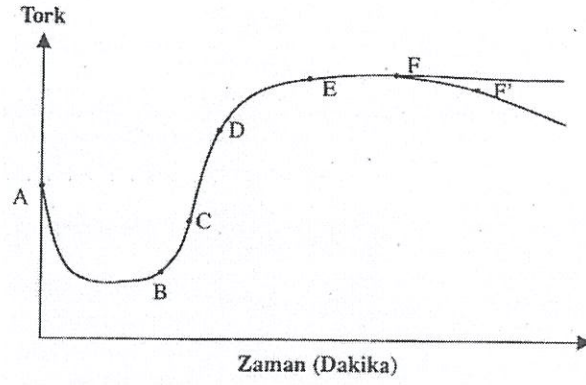
Kompres kalıp yöntemi pres vulkanizasyonları içerisinde en az maliyetli ve en yaygın kullanılan metottur. Kalıp boşluğuna vulkanize edilecek kauçuk parçalar konulur. Sonra kalıp kapatılır ve presteki yerine yerleştirilir. Belli bir zamanda uygulanan sıcaklık ve basınç ile kauçuk akışkan hale gelerek kalıbın şeklini alır. Vulkanizasyon sonra kalıp hemen açılmaz özel kalıp sıcaklığı ve basıncında belli bir süre kauçuk içinde tutulur. En sonunda kalıp açılır ve parça içinden çıkartılır.

Transfer kalıplama genel olarak piston, silindir ve kalıp boşluğu olmak üzere üç bölümden oluşur. Bu yöntemin kompres kalıplama yönteminden farkı, kauçuk hamuru kalıp boşluğuna bir delikten transfer edilmesidir. Kauçuk hamuru silindir içine yerleştirilerek pistonla kalıp boşluğuna doğru itilir. Kalıp boşluğuna itilirken maruz kaldığı kuvvetten dolayı akışkan hale geçer ve böylelikle pişme süresinde kısalma olur. Vulkanize edildikten sonra silindirdeki ve transfer kalıptaki artık pişmiş hamur parçaları ayrılır. Bu işlem pişme süresi avantajının yitirilmesine sebep olur.

Enjeksiyon yöntemi kauçuk hamuruna yine transfer kalıplama yöntemindeki gibi kuvvet uygulanır ve kalıp boşluğuna itilir. Ancak burada hamurun bulunduğu silindirde bulunan vida tarafından karıştırılarak kalıp boşluğuna doğru hareket ettirilir. Karıştırma esnasında oluşan sürtünme kuvvetlerinden dolayı hamur akışkan hale gelir ve vulkanizasyon süresi kısalmış olur. Bu yöntemin diğer bir avantajı parça hazırlama maliyeti azaltılması ve daha düşük hamur atığıdır.

## **2.10 Vulkanizasyon Eğrisi**

Şekil 2.3'te belirtilen vulkanizasyon eğrisi grafiğinde eğrinin CD bölümü en önemli kısımdır. CD eğrisi eğimi bize vulkanizasyon hızını vermektedir. Vulkanizasyonun hızı ile eğimin dikliği doğru orantılıdır. AB eğri parça çalışma emniyetini temsil eder. Genelde istenilen uzun akma zamanı ve eğimi dik olan CD eğrisidir.



Şekil 2.3 Vulkanizasyon eğrisi (Savran 2001)

AB : Akma zamanında hamur plastiktir, yumuşar ve kalıba akar.

BC : Yanma zamanında kükürt halkaları polimeri etkilemeye başlar.

CD : Yetersiz vulkanizasyon evresidir. Çapraz kimyasal bağlanmalar bu evrede başlar.

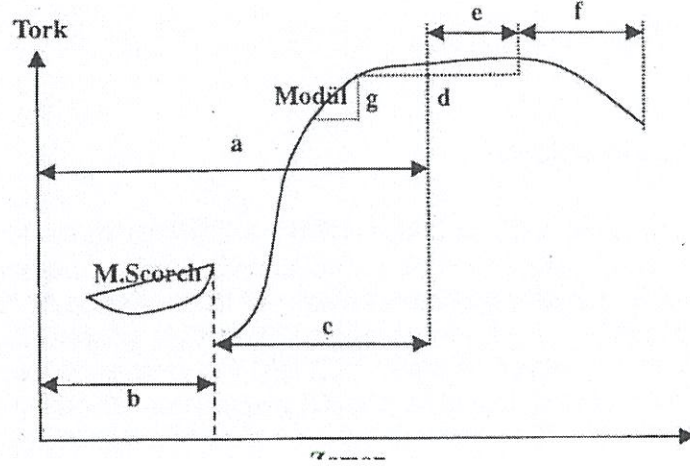
DE : Optimum vulkanizasyon evresi.

EF : NBR kauçukta sertlik artışı, kükürt bağlarının kısalması ve esnekliğin azalması bu evrede görülür.

EF ' : Doğal kauçuk (NR) 'ta karbon karbon bağlarının açıldığı durum ve fiziksel özelliklerde düşme görülür.

## 2.11 Vulkanizasyon Değişkenleri

Vulkanizasyon değişkenleri Şekil 2.4'te verilen tork zaman grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Vulkanizasyon değişkenleri (Savran 2001)

**a** : Pişme zamanı, optimum pişmeye ulaşmak için geçen zamandır.

**b** : Scorch pişmeye başlama zamanı, ısıtma zamanı başlangıcı ile pişme başlangıcı arasındaki zamandır.

**c** : Vulkanizasyon zamanı, pişme başlangıcı ile optimum pişme arasındaki zamandır.

**d** : Optimum pişme, genellikle maksimum kopma mukavemetinin %90'ına ulaşmak için geçen zamandır.

**e** : Plato etkisi, pek çok gerilme-esneme eğri seviyesinin maksimuma yaklaşması ve gerilmenin veya esnemenin bir zaman aralığında sabit kalmasıdır.

**f** : Geri dönüş, özellikle kükürtle pişirilen yüksek doymamış elastomerlerde ısıtma ve vulkanizasyonun , optimum pişmeye ulaşmak için gerekenden daha fazla yapılmasıdır. Gerilim değerinin düşmesine sebep olur.

**g** : Pişme hızı, vulkanizasyon eğrileri genellikle, yavaş bir reaksiyon periyodunu takip eden hızlı bir reaksiyon sürecini ve derece derece yavaşlayan bir reaksiyon periyodu



gösterirler. Pişme hızı, hızlı bir reaksiyon periyodu anındaki vulkanizasyon eğrisinin eğimi olarak kabul edilmektedir.

## 2.12 ASTM Uluslararası Test Standartları

ASTM International (The American Society for Testing and Materials), Pennsylvania Railroad'lu bir kimyager olan Charles B. Dudley tarafından 1898'de kurulmuştur. 1902'de "Amerikan Materyalleri Derneği" olarak adlandırılan grup önce kendine 1961'de "Test ve Materyaller Topluluğu" adını aldı ve "Standards Worldwide" etiketini ekledi. Grup son olarak 2001'de "ASTM International" adını almıştır. 100'den fazla farklı ülkeden 30,000'den fazla üyeye sahip olan bu kuruluş materyaller, ürünler, sistemler ve hizmetler için standartlar geliştirir ve yayınlar.

ASTM'nin 100'ün üzerinde ülkeden üreticileri, kullanıcıları, tüketicileri, hükümeti ve akademiye temsil eden 30000'den fazla üyesi üretim, yönetim, tedarik, kodlar ve düzenlemelere temel oluşturacak teknik dokümanlar geliştirir. Ana çalışma alanı; üretim teknolojileri alanlarında test ve materyallerde ar-ge ve standardizasyonu geliştirme faaliyetleridir. Yaklaşık 66.000 ve üstü standardı olan ASTM'nin başlıca çalışma konuları ise şu şekilde sıralanmıştır:

- Karbon Standartları
- Bakır Standartları
- Metalik Olmayan Malzeme Standartları
- Elektrik Yalıtım Malzemesi Standartları
- Elektriksel Standartları ve Manyetik İletken Standartları
- Elektronik Standartları
- Laboratuvar Test Standartları
- Metaller Standartları
- Analitik Kimya Standartları
- Demir Standartları
- Korozyon Standartları
- Yorgunluk Standartları ve Kırılma Standartları
- Metalik Kaplama Standartları

- Demir dışı Metal Standartları ve Demir dışı Alaşım Standartları
- Çelik Standartları
- Nanoteknoloji Standartlar
- Tahribatsız Test Standartları
- Fiziksel Ölçüm Standartları
- Fiziksel Test Standartları ve Mekanik Test Standartları
- Plastik Standartları
- Rolling Eleman Standartları Rulman
- Kauçuk Standartları
- Sürdürülebilirlik Standartları
- Sıcaklık Ölçüm Standartları
- Termal Analiz Standartları
- Isı Yalıtım Standartları

### **2.12.1 ASTM D395 Test Standardı**

ASTM D395 hava veya sıvı ortamda bası kuvvetine maruz kalan kauçuklar için uygulanan bir test standardıdır. Bu kauçukların kullanım alanları makine takozları, titreşim damperleri ve sızdırmazlık amaçlı yapılan contaların üretiminde kullanılırlar.

Bu standartta üç çeşit test metodu vardır. Bunlar standartta Test A Metodu, Test B Metodu ve Test C Metodu olarak adlandırılmıştır. Numune yapısı ve boyutu, numunenin maruz kaldığı ortam şartları ve kuvvetler bu test metotlarını seçiminde önemli rol oynar. Örnek verilecek olursa 90 IRHD sertliğinden daha yüksek sertliğe sahip kauçuk ürünlerine Test B Metodu uygulanamaz.

### **2.12.2 Test Numune Kriterleri**

Numuneler ikili veya üçlü olarak test edilebilirler. İkili numune kullanıldığı takdirde test bası seti numune ortalamasının yüzde çarpımı, üçlü kullanıldığı takdirde test bası seti üçlü numunenin medyanının yüzde çarpımı olması gerekmektedir. Test numuneleri

silindirik disk şeklinde olmalıdır. Numunelerin standart ölçüleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

**Çizelge 2.4**ASTM D395 test numune ölçüm aralıkları

| <b>Tip</b>                     | <b>1</b>                | <b>2</b>                |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Kalınlık [mm]<br/>(in.)</b> | 12,5±0,5<br>(0,49±0,02) | 6,0±0,2<br>(0,24±0,01)  |
| <b>Çap [mm]<br/>(in.)</b>      | 29,0±0,5<br>(1,14±0,02) | 13,0±0,2<br>(0,51±0,01) |

Tip 1 ölçüleri Test A,B ve C metotları için kullanılırken, tip 2 ölçüleri Test B, ve C metotları için kullanılır.

Standart numuneyi keserken, tablo 1.5'te belirtilen gerekli iç boyutlara sahip olan dairesel kalıp, bir matkap presinde veya benzeri bir cihazda döndürülmeli ve bir sabun çözültisi ile yağlanmalıdır. Kalıbın kesme kenarı ve levhanın kenarı arasında minimum 13 mm'lik (0,51 inç) bir mesafe bulunmalıdır. Kesme basıncı, kesilen kenarların çukurlaşmasını en aza indirmek için mümkün olduğunca hafif olmalıdır.

Test edilecek numuneler testten önce en az 24 saat en fazla 60 gün öncesinden bekletilmelidir. Örnekler kesilmeden önce en az 30 dakika bekletilmesi gerekmektedir.

ASTM D395 standardında Test Metot A,B,C olarak üç adet test uygulaması bulunmaktadır. Bu çalışmada uygulanmasına karar verilen Test B Metodu'ndan Materyal ve Metot bölümünde bahsedilecektir.

Wilson (2000), çalışmasında silikon, EPDM, HNBR, ve FKM kauçuk numunelerini konvensiyonel soğutucu,organik asit teknolojisi (OAT) ve çeşitli formülasyon içeren soğutucular (Benzoik asit, Etilheksagonik, Mono asit ve Hibrit soğutucu) ile test ortamında karşılaştırarak incelemiştir. Test düzeneğinde ASTM D471 standardı esas kabul edilmiştir. Testte yüksek sıcaklık 150°C, şartname sıcaklığı 125°C ve normal çalışma sıcaklığı 110°C olarak üç parametre belirlenmiştir. Bu test sıcaklıklarında kauçuk numunelerinin hacim değişikliği, sertlik değişimi, gerilme dirençleri ve uzama değişimi gözlemlenmiştir.

Deney sonuçları değerlendirilmesine göre EPDM kauçuğun fiziksel özellikleri yüksek ve düşük sıcaklıklardan ve kullanılan soğutuculardan diğer elastomerlere göre fazla etkilenmediği görülmüştür. Silikon kauçukta kullanılan tüm soğutucular sıvılar içerisinde büzülme görülmüştür. Sıcaklık arttıkça büzülme de artmıştır. En yüksek büzülme OAT ve Hibrit soğutucularında yüksek sıcaklıkta iken gerçekleşmiştir. Ayrıca kullanılan bütün soğutucularda sıcaklık artışı silikon kauçuğun fiziksel özelliklerini büyük oranda etkilediği de görülmüştür. HNBR kauçuğu ise yüksek sıcaklıkta ve bütün soğutucu sıvılarında anormal hacim değişikliği ve sertlik kaybına uğramıştır. Ancak düşük sıcaklıkta iken tutulduğu monoasit ve etilheksagonik asit soğutucularında, hibrit ve diğer soğutuculara göre daha az hacim kaybı yaşamıştır. FKM kauçuğunda ise kullanılan bütün soğutucuların yaşlandırma etkisi, sıcaklık artışı ile doğru orantılı olacak şekilde artmıştır.

Wilson ve Co (2001), çalışmasında FKM, EPDM, Silikon (VMQ), HNBR kauçuk numunelerini konvansiyonel, içine %5 oranında yağ eklenmiş hibrit ve OAT soğutucu sıvıları içerisinde belli bir süre içerisinde incelemiştir. Numunelerin farklı soğutucu sıvı ortamı ve yüksek (150°C) ve düşük (125°C) sıcaklıklarda değişen veya değişmeyen fiziksel özellikleri karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre EPDM kauçuk konvansiyonel ve hibrit soğutucu sıvılarında, düşük ve yüksek sıcaklıklarında test edilen diğer kauçuk türlerine göre en iyi sonuçları vermiştir. Yüksek sıcaklık aralığında basma mukavemet testinde HNBR kauçuğu yüksek mukavemeti göstermiştir. Ancak silikon (VMQ) yüksek sıcaklıkta hem fiziksel özelliklerinin bozunduğu, hem basma mukavemeti düştüğü görülmüştür. FKM kauçuk yüksek sıcaklıkta basma mukavemet testinde sertliği artış göstermiş ve fiziksel özelliklerinde çeşitli bozulmalar kaydedilmiştir.

Ancak düşük ve yüksek sıcaklık aralıklarında ortama yağ eklendiği zaman HBR kauçuğunun EPDM'e göre nispeten daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Silikon(VMQ) kauçuğu da yağ bulunan ortamda iyi sonuç vermesine karşın yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı zayıf olduğu için HNBR'in gerisinde kalmıştır.

Erkek (2007), çalışmasında EPDM kükürt vulkanizatları için kalıcı deformasyon değerleri incelendiğinde; düşük kalıcı deformasyon değeri için belli bir C-siyahı/yağ ve

C-siyahı/dolgu maddesi oranının olması gerektiği tespit edilmiştir. Hem düşük hem de yüksek Csiyahı/ yağ ve C-siyahı/dolgu maddesi oranı değerlerinde kalıcı deformasyon değeri yükseldiğini görülmüştür. EPDM peroksit ve NBR kükürt vulkanizatları için kalıcı deformasyon değerlerinin C-siyahı miktarının artmasıyla azaldığı ve daha sonra sabitlendiği gözlemlenmiştir. SBR kükürt vulkanizatlarında ise artan C-siyahı miktarı kalıcı deformasyon değerini de yükselttiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, üç kauçuk tipinde de kükürt vulkanizatlarının kalıcı deformasyon değerlerinin peroksit vulkanizatlarının kalıcı deformasyon değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Yavuz Erkek,Kaya,Güven (2015), kauçuk burcun hiperelastik modellenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi çalışmasını yapmışlardır. ABAQUS programında burcun üç boyutlu modellenmesi ve sonlu elemanlar analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. 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. Bu çalışmada ise en yaygın olan tek eksenli çekme testi ile düzlem çekme testi kullanılmıştır.

Sınır şartları için ise çalışmada, burç merkezinden radyal ve eksenel yönde yer değişimlerinin tanımlanması için parçanın tam ortasına bir referans noktası eklenmiştir. Bu referans noktası tüm silindirik iç yüzeye rijit elemanlar ile bağlanmıştır. Kauçuk burcun iç ve dış metal bilezik parçaları rijit olarak kabul edildiğinden bu çalışmada modellenmemiştir. Burcun radyal yönler (x ve y) , eksenel ve açısal (burulma) olmak üzere 4 farklı yönü için rijitlik eğrileri çıkarılmıştır.

Analizler sonucu statik rijitlik eğrileri elde edilmiştir. Böylece tasarlanan burcun imal edilmeden rijitlik eğrisinin önceden belirlenerek uygun tasarım olup olmadığı belirlenebilir. Rijitlik eğrilerinin doğrusal olmadığı ve yer değiştirme arttıkça sıkıştırılmaz özelliğinden dolayı rijitliği gittikçe arttığı gözlenmiştir.

Eken,Kokangül (2018), çalışması, kauçuk sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin, hamur üretme süreci için gerçekleştirilmiştir. Yürütülen bu çalışmada kauçuğun vulkanizasyon süreci için faktöriyel deney tasarımı ve optimizasyon modelleme

yaklaşımı geliştirilmiştir. İşletmedeki hamur üretme sürecinde seçilen bir hamur reçetesi için vulkanizasyon sürecinde en önemli üç faktör belirlenmiştir. Bu faktörlerin etkilediği performans parametreleri belirlendikten sonra yapılan deneme üretimleri sonucunda elde edilen veriler analiz edilmiştir. Yapılan regresyon analizleriyle her bir performans parametresinin optimizasyonuna yönelik non-linear matematiksel modeller oluşturulmuştur. Matematiksel modellerin optimum çözümleri, yapılan doğrulama üretimleriyle test edilmiştir.

Bafna (2013), sanayide en yaygın kullanılan conta türünden olan o-ringler üzerinde çalışmıştır. Çalışmada sertlik performansının, kalıcı deformasyon oranı ölçümleri ile ilişkisi incelenmiştir. Ayrıca kauçuk türü, kauçuk reçetesi, test numune seçimi ve ölçüm değişkenliğinin kalıcı deformasyon oranı ile sertlik performansı arasındaki ilişkiye etkisi tartışılmıştır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Müşteri tarafından Kırpart'a bildirilen probleme göre contanın 2 yıl olan garanti ömrü boyunca kalıcı deformasyon istenmemekteydi. Ancak müşteride devreye alma testleri sırasında motor üzerinden contalar sökülüp ölçüldüğünde kalıcı deformasyona uğradığı tespit edilmiştir. Belirli bir zaman aralığında, belli bir sıcaklık ve ortamda, üzerine belli bir yük uygulanarak sıkıştırılan malzemenin, sıkıştırma işlemi sonlandırıldıktan sonra uğradığı yüzde cinsinden deformasyona kalıcı deformasyon oranı denir.

Kalıcı deformasyon oranı ölçüm metotları ASTM D395 standardında bulunmaktadır. ASTM D395 03 'e göre kısa bir silindirik test parçası, bir sıkıştırma cihazında sabit bir kuvvet ve sürede belirli bir sıcaklıkta sabit bir süre için tutulur. Sıkıştırma kuvveti kaldırıldıktan 30 dakika sonra kalıcı deformasyon ölçümü yapılır(Gent, 2001).

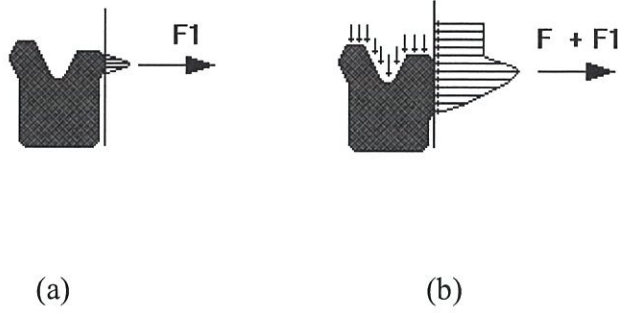
Test uygulama işlemleri sırasıyla numunelerin hazırlanması, test uygulaması, ölçümlerin yapılması ve ölçümlerin karşılaştırılmasıdır. Numuneler 4 gruba ayrılmıştır. Her grupta 3 adet parça bulunmaktadır. Test uygulandıktan ve ölçümleri yapıldıktan sonra en az kalıcı deformasyona sahip olan numune grubu belirlenecek ve üretildiği vulkanizasyon parametrelerine göre üretim prosesi ve teknik dokümanlar düzenlenecektir.

#### 3.1 Kauçuk Conta ve Sızdırmazlık Kuvvetleri

Kauçuk, esnekliği ve esnek davranışı nedeniyle çok iyi sızdırmazlık özelliklerine sahiptir. Kimya ve diğer mühendislik endüstrilerindeki en zorlu ortamlarda (yağ, su ve gaz) kullanılan conta malzemesi için kauçuk en iyi seçimdir. Çalışmada kullanılan EPDM kauçuk, yıpranmaya karşı mükemmel direnci nedeniyle kimyasal ve madencilik sektörü çevrelerinde kırılmaz kauçuk olarak adlandırılır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda kalıcı deformasyon düşüklüğü özelliği düzgün bir şekilde montaj edildiğinde iyidir. EPDM kauçuğun 200°C'ye kadar ısı direnci vardır(Chandrasekaran 2010).

Contalarda profil ve malzeme seçimi sızdırmazlık özelliği başlıca etkileyen faktörlerdir. Sızdırmazlık fonksiyonu, bu amaç için kullanılan elemanın yüzeye yeterli kuvvet uygulaması halinde gerçekleşebilir. Sızdırmazlık kuvvetleri iki bölümde incelenir.

Şekil 3.1’de (Arevyan 1999) F1 sistem basıncının sıfır olması halinde sızdırmazlık elemanının yüzeye uyguladığı ön sızdırmazlık baskı kuvvetidir. Bu kuvvetin yeterli olmaması halinde sızdırmazlık sağlanamaz. Kalıcı deformasyon, malzeme sertliği ve eleman geometrisi bu kuvvetleri etkiler. F ise sistem çalışma basıncına geçtikten sonra sızdırmazlık elemanının yüzeye uyguladığı sistem sızdırmazlık baskı kuvvetidir. Bu kuvvetin sızdırmazlık için yetersiz olması söz konusu değildir çünkü sistem basıncı mevcut F1 kuvvetine ilave kuvvet oluşturur. Sızdırmazlık elemanının geometrisi oluşacak bu kuvvetin büyüklüğü üstünde rol oynar . Bu kuvvetin artması halinde dinamik yüzeylerle temas eden noktalarda aşınmalar başlar.



**Şekil 3.1** a:Sistem basıncı sıfırken contanın yüzeye yaptığı kuvvet b:Sistem basıncı ile birlikte contanın yüzeye yaptığı kuvvet

F1 ön baskı kuvvetinin yeterli düzeyde olması için, özellikle soğuk ortamlarda kalıcı deformasyonu ve sertlik değişimi az olan malzeme seçimine gitmeli, kalıcı deformasyonu yüksek olan malzeme kullanımı zorunlu olması halinde yardımcı malzemelerden faydalanarak kalıcı deformasyon etkisi mümkün oranda azaltılmalıdır. Ürün dudak yapısı ve profil yardımıyla yeterli ön baskı kuvveti elde edilmeli, basınca duyarlı profil seçilmelidir (Arevyan 1999).





Şekil 3.2 Kauçuk conta

### 3.2 Kalıcı Deformasyon Hesabı

ASTM D395-03 standart test metodu Şekil 3.3'te gösterilmiştir. kalıcı deformasyon hesabı ise aşağıdaki şekildedir:

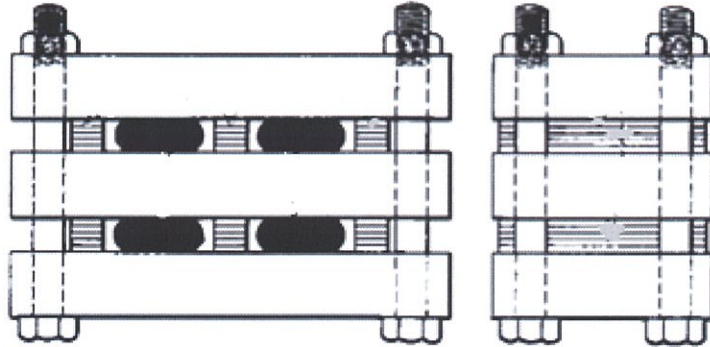
$$CS = (t_0 - t_i) \div (t_0 - t_n) \times 100 \quad [1]$$

CS : Kalıcı Deformasyon Oranı

$t_0$ : İlk yükseklik (mm)

$t_i$ : Test sonrası yükseklik (mm)

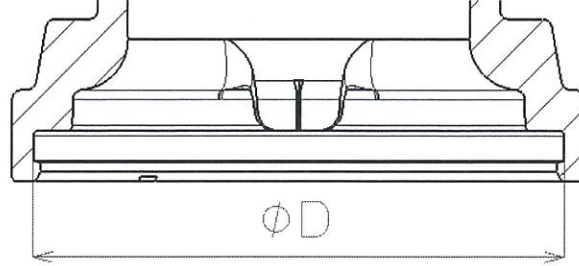
$t_n$ : Sınırlayıcı kalınlık (Spacer yüksekliği) (mm)



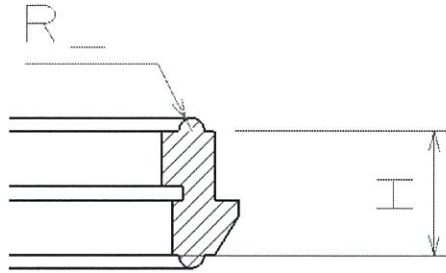
Şekil 3.3 ASTM D395 Test Metodu

### 3.3 Numunelerin Hazırlanması

Termostat contasının kesit ve detayındaki ölçülen boyutlar Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te verilmiştir. Boyutların ölçü aralıkları Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.



Şekil 3.4 Conta kesit görünümü



Şekil 3.5 Conta detay görünümü

Çizelge 3.1 Contanın ölçü aralıkları

| ÖLÇÜ | MAKSİMUM(mm) | MİNİMUM(mm) |
|------|--------------|-------------|
| R    | 0,6          | 0,4         |
| H    | 5,92         | 5,68        |
| D    | 53,3         | 53,1        |

İlk olarak test edilecek kauçuk numuneleri hazırlanmıştır. Kauçuk numune üretim parametreleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Mevcutta üretilen conta malzemesi sülfür vulkanizasyonu ile üretilmiş EPDM kauçuktur. Bu malzemedен üç adet numune alınmıştır. Ayrıca peroksit vulkanizasyonu ile üç farklı sıcaklıkta, üçer adet numune EPDM kauçuk üretilmiştir. Üretilen numunelerin conta tasarımı aynıdır. Grup X ile

grup A,B,C arasında vulkanizasyon türü farkı vardır. Diğer grup A,B,C ise tabloda görüldüğü gibi aynı vulkanizasyon türü ile, ancak farklı sıcaklık ve zaman parametreleri kullanılarak üretilmiştir.

**Çizelge 3.2** Test numune üretim parametreleri

| GRUP | MALZEME | NUMUNE ADEDİ | VUL.TÜRÜ | SICAKLIK (°C) | BASINÇ (Bar) | ZAMAN (s) |
|------|---------|--------------|----------|---------------|--------------|-----------|
| X    | EPDM    | 3            | Sülfür   | 200           | 250          | 180       |
| A    | EPDM    | 3            | Peroksit | 190           | 250          | 200       |
| B    | EPDM    | 3            | Peroksit | 210           | 250          | 180       |
| C    | EPDM    | 3            | Peroksit | 200           | 250          | 190       |

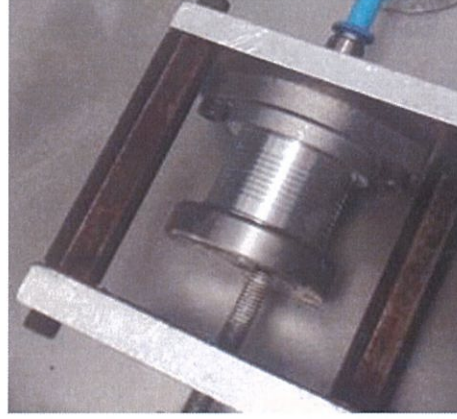
Test uygulamasından önce üretilmiş numunelerin her birinin yükseklik, sertlik ve hacim değerleri ölçülmüştür. 3D data üzerinde ölçülen hacim  $1,2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ 'tür. Test uygulamasından önce kauçuk sertlikleri ve ölçülen hacimler çizelge 3.3'teki gibidir.

**Çizelge 3.3** Test numune sertlik değerleri

| Grup Adı | Sertlik (IRHD) | Hacim ( $10^{-6} \text{ m}^3$ ) |
|----------|----------------|---------------------------------|
| X        | 60             | 1,209                           |
| A        | 65             | 1,205                           |
| B        | 65             | 1,207                           |
| C        | 65             | 1,203                           |

### 3.4 Test Uygulaması

Test şartları müşteri şartnamesinde belirtilen sıcaklık, zaman ve ortam parametrelerine göre ayarlanmıştır. Şartnameye göre contaların montajlı olarak 150°C’de G40 antifiriz içerisinde 168 saat boyunca teste tabi tutulması gerekmektedir.

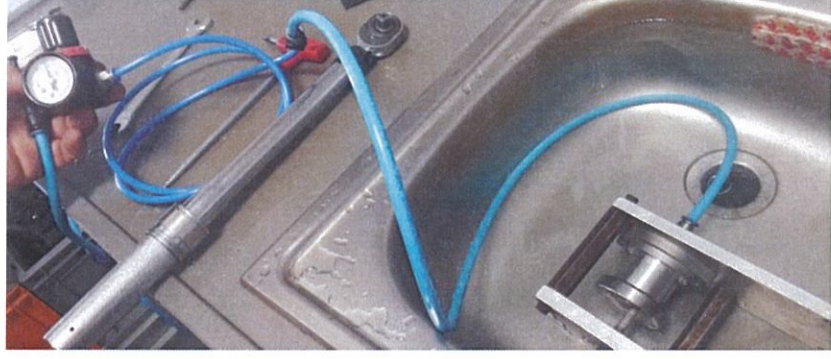


**Şekil 3.6** Monte edilmiş test aparatı

Test uygulanırken, 12 tane numune sıralı olarak aparata yerleştirilmiş ve aparatın üzerine hangi grup hangi sıradan başlıyorsa grup adı yazılmıştır. Hazırlanan aparat etüv içerisine konulup 150°C’de 168 saat bekletilmiştir. Test uygulandıktan sonra deney parçalarının tekrar yükseklik, sertlik ve hacim değerleri ölçülmüş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Test öncesi ve sonrası ölçülen değerler arasında en az fark bulunan numune contalar ikinci bir teste tabi tutulmak üzere ayrılmıştır. Ayrıca yine bu contaların yüzeyleri ile monte edildikleri yüzey arasında herhangi bir sızıntı olmadığı görülmüştür.

Uygulanan ikinci testte ise üzerinde contanın bulunduğu test aparatı iki plaka arasına civatalarla sabitlenmiştir. Her gruptan üç adet numune 11 Nm tork ile Şekil 3.6’da gösterilen alüminyum test aparatına monte edilmiştir. Montajı yapılan her numune contası sıcaklığı 150°C olan soğutucu sıvı ortamında 168 saat boyunca bekletilmiştir.

Test düzeneği Şekil 3.7’de verilmiştir. Sabitlenen aparatın içinden sıkıştırma kuvveti oluşturması için 3.2 bar basınçta hava geçirilmiş ve yine 150°C’deki soğutucu sıvı ortamında 168 saat bekletilmiştir. Bekletme süresi sonunda uygulanan yaşlandırma testlerinden sonra sızdırmazlık problemi ile karşılaşılmamıştır.



**Şekil 3.7** Test düzeneği

#### 4. BULGULAR

Test başlangıcında numunelerin ilk yükseklikleri ( $t_0$ ) 5,85 mm'dir. Test sırasında contaların üzerinde quadrant noktalarından olacak şekilde 4 ölçüm alınmıştır. 4 ölçümün ortalama değeri hesaplanmış, devamında bulunan ortalama değerlerin de genel ortalama değerleri alınmış ve başlangıç değerlerine göre değişim farkı hesaplanmıştır. Deney sonucunda numune parçaların ölçüm değerleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Test Ölçüm Değerleri

| Numune | H <sub>0</sub><br>(mm) | Ölçüm1<br>(mm)                 | Ölçüm2<br>(mm) | Ölçüm3<br>(mm) | Ölçüm4<br>(mm) | Ortalama<br>(mm) | Genel<br>Ortalama<br>(mm) | Fark<br>(%) |
|--------|------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|---------------------------|-------------|
| X1     | 5,85                   | 5,05                           | 5,05           | 5,05           | 5              | 5,038            | 5,05                      | -13,7       |
| X2     | 5,85                   | 5,05                           | 5,05           | 5,05           | 5,05           | 5,05             |                           |             |
| X3     | 5,85                   | 5,05                           | 5,05           | 5,05           | 5,05           | 5,05             |                           |             |
| A1     | 5,85                   | 5,2                            | 5,25           | 5,25           | 5,25           | 5,24             | 5,25                      | -10         |
| A2     | 5,85                   | 5,25                           | 5,25           | 5,25           | 5,25           | 5,25             |                           |             |
| A3     | 5,85                   | 5,25                           | 5,25           | 5,25           | 5,25           | 5,25             |                           |             |
| B1     | 5,85                   | 5,35                           | 5,4            | 5,45           | 5,4            | 5,4              | 5,36                      | -8,4        |
| B2     | 5,85                   | 5,3                            | 5,4            | 5,4            | 5,4            | 5,38             |                           |             |
| B3     | 5,85                   | 5,25                           | 5,3            | 5,3            | 5,3            | 5,29             |                           |             |
| C1     | 5,85                   | 5,25                           | 5,3            | 5,3            | 5,35           | 5,3              | 5,3                       | -9,4        |
| C2     | 5,85                   | 5,3                            | 5,35           | 5,3            | 5,25           | 5,3              |                           |             |
| C3     | 5,85                   | Numuneden ölçüm alınamamıştır. |                |                |                |                  |                           |             |

Çizelge 4.1'de belirtilen her gruba ait genel ortalama değerleri göz önüne alınarak her grubun kalıcı deformasyon yüzdeleri eşitlik [1] kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda sınırlayıcı kalınlık olan Spacer yüksekliği 5 mm alınmıştır. Test sonrası kauçuk sertliklerinde değişimler Çizelge 4.2'de görülmektedir. Elde edilen kalıcı deformasyon değerleri Çizelge 4.3'te, hacim değişimleri ise Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.2** Test öncesi ve sonrası sertlik değerleri ve farkı

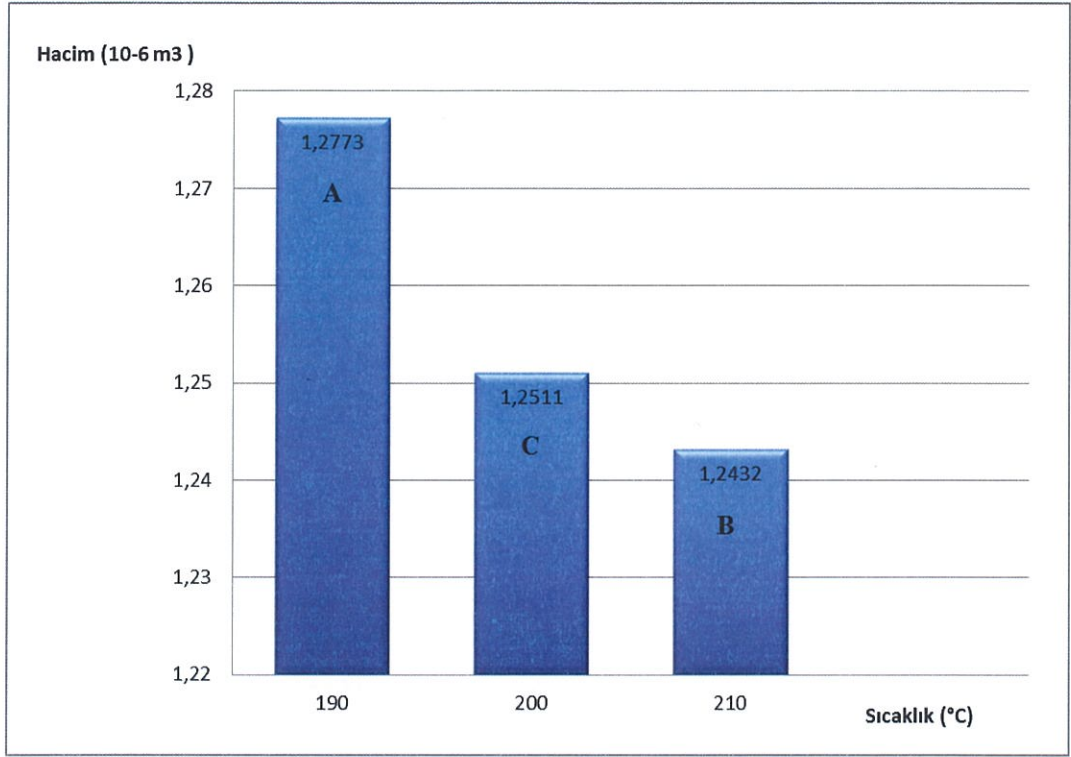
| Grup Adı | Testten Önce   | Testten Sonra  | Fark (%) |
|----------|----------------|----------------|----------|
|          | Sertlik (IRHD) | Sertlik (IRHD) |          |
| X        | 60             | 66,9           | 11,5     |
| A        | 65             | 60,9           | -6,3     |
| B        | 65             | 61,3           | -6,2     |
| C        | 65             | 60,4           | -7,1     |

**Çizelge 4.3** Kalıcı deformasyon değerleri

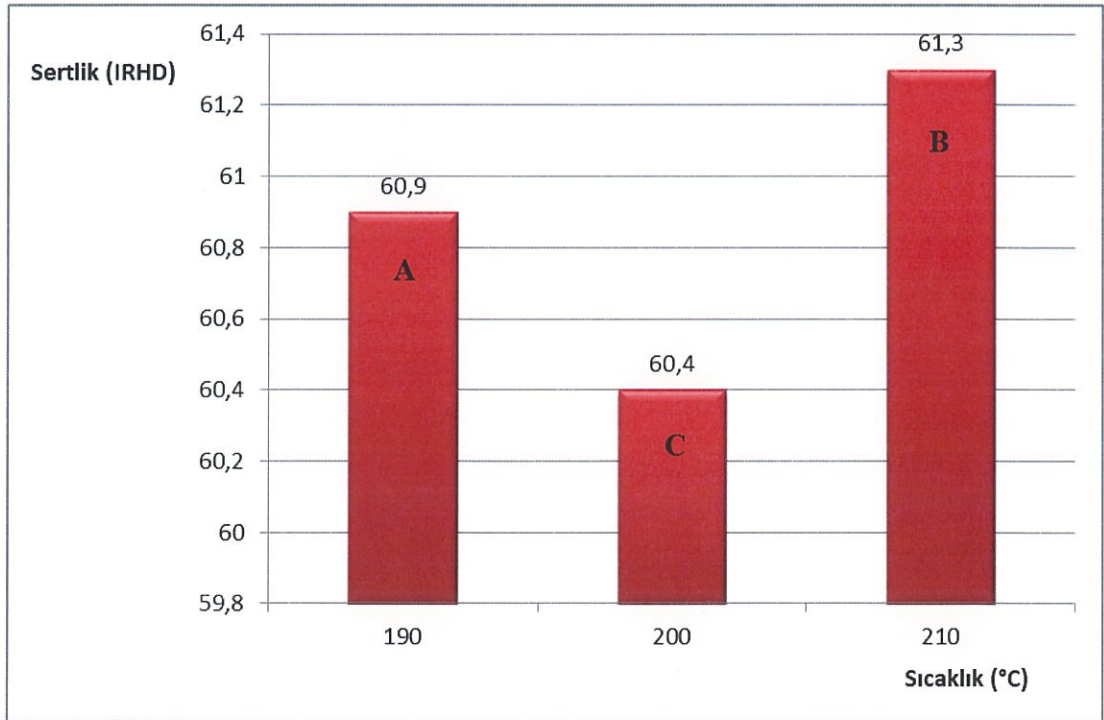
| Grup | Kalıcı Deformasyon Değeri (%) |
|------|-------------------------------|
| X    | 94,11                         |
| A    | 70,60                         |
| B    | 57,54                         |
| C    | 64,70                         |

**Çizelge 4.4** Hacim değişim değerleri

| Grup Adı | Testten Önce                    | Testten Sonra                   | Fark (%) |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|----------|
|          | Hacim ( $10^{-6} \text{ m}^3$ ) | Hacim ( $10^{-6} \text{ m}^3$ ) |          |
| X        | 1,209                           | 1,329                           | 10       |
| A        | 1,205                           | 1,277                           | 6        |
| B        | 1,207                           | 1,243                           | 3        |
| C        | 1,203                           | 1,251                           | 4        |

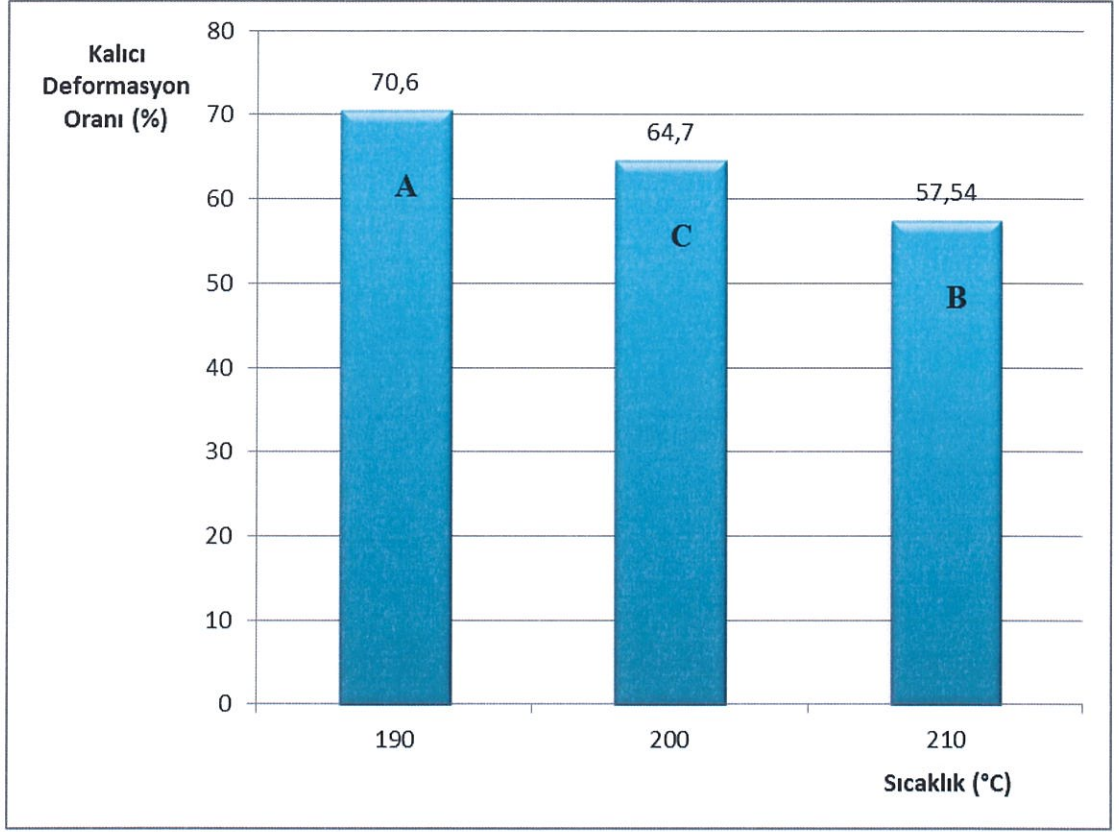


Şekil 4.1 Peroksitle üretilen numunelerin hacim-sıcaklık grafiği



Şekil 4.2 Peroksitle üretilen numunelerin sertlik-sıcaklık grafiği





Şekil 4.3 Peroksitle üretilen numunelerin kalıcı deformasyon-sıcaklık grafiği

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Sülfür ile vulkanize edilmiş X numuneleri 5,85 mm olan yüksekliği, test sonrası 5,05 mm'ye düşerek %94,11 oranında kalıcı deformasyona uğramıştır. Bu oran numuneler arasında uygulanan kuvvet sonrası kalıcı şekil değişikliğine en fazla uğrayan grubun X numunesi olduğunu göstermektedir.

Peroksitle vulkanize edilmiş A grubu numuneleri test sonrası X grubu numunelerine göre daha iyi kalıcı deformasyon performansı göstermiştir. Ancak peroksit vulkanize grupları arasında %70,60 ile en fazla kalıcı deformasyona uğrayan grup olmuştur.

B grubu numunelerinin 5,85 mm olan başlangıç yüksekliği, test sonunda 5,36 mm olmuştur. %57,54 kalıcı deformasyon oranı ile mevcut üretimdeki Grup X numunelerine göre % 36,57'lik bir deformasyon kazancı söz konusudur. C grubu numuneleri A'ya göre daha iyi sonuçlar vermesine rağmen kalıcı deformasyon oranı %64,70 ile ortalama bir yaşlandırma performansı göstermiştir.

Sertliklere bakıldığında sülfürle vulkanize edilen grup X test öncesi 60 ShA sertliği, 66,9 ShA'ya çıkmıştır. Peroksit gruplarında ise test sonrası sertlikler grup A'da 60,9 ShA, B'de 61,3ShA, C'de 60,4 ShA olarak ölçülmüştür.

İlk sertlik olan 65 ShA'ya göre X numunesi %11,5 sertleşmiştir. A numunesi, %6,3 ,B numunesi %6,2 ve C numunesi %7,1 oranında yumuşama göstermiştir. Grup B peroksit grupları içinde sertliğinde en az değişim oranına sahip gruptur. Peroksit grupları arasında en iyi performansı ile B grubu göstermiştir.

Müşteri tarafından Kırpart'a bildirilen probleme göre contanın 2 yıl olan garanti ömrü boyunca kalıcı deformasyon istenmemektedir. Ancak müşteride devreye alma testleri sırasında motor üzerinden contalar sökölüp ölçüldüğünde kalıcı deformasyona uğradığı tespit edilmişti. Yapılan çalışmada, üretilen numunelerden kalıcı deformasyonları %60'ın altında olması istenmiştir. %60'ın altında kalıcı deformasyona sahip tek numune grubu B olmuştur. Diğer numunelerle karşılaştırıldığında minimum kalıcı deformasyonu verdiği için üretildiği vulkanizasyon parametreleri optimum kabul edilmiştir. Test uygulamasının sonucunda, kauçuk üretiminde vulkanizasyon sistemi ve parametre seçiminin önemi ortaya çıkmıştır. Vulkanizasyon sisteminde basınç, sıcaklık, zaman

parametreleri optimum değerlerde kullanılması gerekmektedir. Çalışma ortamı ve maruz kaldığı kuvvetler açısından malzeme seçimi önemlidir ancak aynı malzemeyle aynı vulkanizasyon sistemi ile üretilseler bile farklı parametrelerin kullanımı, sonuçları oldukça etkilemektedir. Bunun yanında farklı malzeme kullanılarak da çözüm aranabilir. Bu konuda literatürde bazı çalışmalarda (Wilson,2000), Wagner ve diğ. (2003) farklı soğutma sıvılarında farklı kauçuk türlerinin davranışları incelenmiştir.Yüksek sıcaklığa dayanıklı birçok kauçuk çeşidi bulunmaktadır. Ancak vulkanizasyon sistemi ve parametreleri doğru seçilmezse yüksek sıcaklığa dayanıklı kauçuklar (FKM, HNBR gibi) dahi istenen kalıcı deformasyon oranlarını vermeyecektir. Bu problem çözümü olarak malzeme değişimi yapmak yerine, farklı bir vulkanizasyon türü olan peroksit vulkanizasyonu ve numuneler için üç adet vulkanizasyon parametre grubu denenmiştir. özümün uygulamasında da maliyet artışı olmaması diğer bir avantajdır.

Sonraki yapılacak çalışmalarda, basınç değerleri sabit tutulma yerine değişken kabul edilip kalıcı deformasyon üzerine etkisi araştırılabilir. Bir diğer seçenek tek malzeme yerine birden fazla malzemenin aynı vulkanizasyon türü ve parametreleri kullanılarak kalıcı deformasyon oranı incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Anonim,1989.** Elastomers and rubbers: Machine Design, 61, sayfa:294-327
- Areyvan A.,** Kalıcı Deformasyonun Sızdırmazlık Üstündeki Etkisi. I. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 03-05 Aralık 1999
- ASTM D395 – 03,**Standard Test Methods for Rubber Property Compression, <https://www.astm.org/Standards/D395.htm>
- Bafna,S.2013.** Factors Influencing Hardness and Compression Set Measurements on O-rings, Polymer-Plastics Technology & Engineering. ,pp:1069-1073.
- Chandrasekaran,V.C.2010.** Rubber Seals: Rubber as a Construction Material for Corrosion Protection, Ed: Couper, E. R. , Erdlac,R. ,Islam,R. Wiley , USA, pp: 4
- Chandrasekaran,V.C.2010.** Ethylene Propylene Rubbers(EPM and EPDM): Rubber as a Construction Material for Corrosion Protection, Ed: Couper, E. R. , Erdlac,R. ,Islam,R. Wiley , USA, pp: 98-99
- Eken, Y.F., Kokangül, A. 2018.** Kauçuk Sektöründe Vulkanizasyon Parametrelerinin Optimizasyonu. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(4):126-140
- 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 Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Kimya Anabilim Dalı, Adana
- Gent A. N.2001.** Engineering with Rubber How to Design Rubber Components. Hanser, Cincinnati, USA,361 pp.
- Saçak,M. 1998.** Polimer Kimyasına Giriş, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü, Ankara, 153 s.
- Savran, H. 2001.** Elastomer Teknolojisi-1. Acar Matbaacılık, İstanbul
- Wagner, J. R., Srinivasan, V., Dawson Darren, M. , Marotta Egidio, E. 2003.** Thermostat and Coolant Pump Control for Engine Thermal Management Systems. *SAE Technical Paper Series* 2003-01-0272 doi: 10.4271/2003-01-0272
- Wilson Thomas, N. 2000.** A Comparison of Various Polymers in Select Organic Acid Technology (Oat) Coolants. *SAE Technical Paper Series* 2000-01-1095 doi: 10.4271/2000-01-1095
- Wilson Thomas, N., Co Wesley,G. 2001.**The Effects of Contaminated Engine Coolants on the Service Life of Elastomers. *SAE Technical Paper Series* 2001-01-1180 doi: 10.4271/2001-01-1180
- Yavuz Erkek, M., Kaya, N., Güven, C. 2015.** Kauçuk Burçların Hiperleistik Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(1):65-74

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Rumeysa YILDIZ

Doğum Yeri ve Tarihi : 01.10.1990 Bursa

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Anadolu Lisesi 2008

Lisans :Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü 2013

Yüksek Lisans :Uludağ Üniversitesi Otomotiv  
Mühendisliği Bölümü 2019

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : -

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

Yayınları :

**Yıldız,R.,Solmaz,E.,Kutlu,A.,Kayacı,S. 2019.** Motor Termostat Contasında Meydana Gelen Kalıcı Şekil Değişikliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1):13-24