



**KÜKÜRT İLE VULKANİZE EDİLMİŞ KARBON SİYAHİ  
DOLGULU DOĞAL KAUÇUK  
NANOKOMPOZİTLERİNİN YIRTIKMA  
ÖZELLİKLERİNİN FARKLI SICAKLIK DEĞERLERİNE  
GÖRE BELİRLENMESİ**

**Erdi AYRANCI**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜKÜRT İLE VULKANİZE EDİLMİŞ KARBON SİYAHİ DOLGULU DOĞAL  
KAUÇUK NANOKOMPOZİTLERİNİN YIRTIKMA ÖZELLİKLERİNİN  
FARKLI SICAKLIK DEĞERLERİNE GÖRE BELİRLENMESİ**

**Erdi AYRANCI**  
0000-0003-0133-1998

Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR  
0000-0003-0816-4029  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA– 2019

## TEZ ONAYI

ErdiAYRANCI tarafından hazırlanan “Kükürt ile Vulkanize Edilmiş Karbon Siyahı Dolgulu Doğal Kauçuk Nanokompozitlerinin Yırtılma Özelliklerinin Farklı Sıcaklık Değerlerine Göre Tespit Edilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü MakineMühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR

**Başkan :** Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR  
0000-0003-0816-4029  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye :** Prof. Dr. Agah UĞUZ  
0000-0002-9244-3671  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye :** Doç. Dr. Hüseyin LEKESİZ  
0000-0003-3350-1509  
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve  
DoğaBilimleri Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

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

.././...

**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 yararlanması 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.**

26/ 09/ 2019

*E. Ayrancı*

**Erdi AYRANCI**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **KÜKÜRT İLE VULKANİZE EDİLMİŞ KARBON SİYAHİ DOLGULU DOĞAL KAUÇUK NANOKOMPOZİTLERİNİN YIRTILMA ÖZELLİKLERİNİN FARKLI SICAKLIK DEĞERLERİNE GÖRE BELİRLENMESİ**

**Erdi AYRANCI**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR

Bu çalışmada kükürt ile vulkanize edilmiş karbon siyahı dolgulu doğal kauçuk nanokompozitin yırtılma özelliklerinin farklı sıcaklık ve süre değerlerine göre tespit edilmesi hedeflenmiştir. Çalışma 3 adımda gerçekleşmiştir. Birinci adımda karbon siyahı dolgulu kauçuk karışımı belirli formülasyon dahilinde hazırlanmıştır. İkinci adımda bu hazırlanan kauçuk karışımının rheometre testleri gerçekleştirilmiştir. Üçüncü adımda kauçuk karışımı farklı sıcaklık ve sürelerde vulkanize edilip çekme-kopma ve yırtılma testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda belirli formülasyon dahilinde hazırlanan kauçuk karışımının yırtılma davranışını belirleyerek seri üretim için en uygun sıcaklık ve parametre belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kauçuk, kauçuk formülasyonu, rheometre, çekme-kopma, yırtılma dayanımı

**2019, x + 124 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

**DETERMINATION OF TEAR AND HYSTERESIS PROPERTIES OF SULFUR  
VULCANIZED CARBON BLACK FILLED NATUREL RUBBER  
NANOCOMPOSITES ACCORDING TO DIFFERENT TEMPERATURE VALUES**

**Erdi AYRANCI**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR

In this study, it is aimed to determine the tear properties of sulfur vulcanized carbon black filled natural rubber nanocomposite according to different temperature and time values. The study took place in 3 steps. In the first step, the carbon black filled rubber mixture is prepared in a specific formulation. In the second step, rheometer tests of this prepared rubber mixture were performed. In the third step, the rubber mixture was vulcanized at different temperatures and times and tensile-rupture, and tearing tests were performed. As a result of these tests, the most suitable temperature and parameter for mass production were determined by determining the tearing behaviour of the rubber mixture prepared within the specific formulation.

**Key words:** Rubber, rubber formulation, rheometer, tensile-rupture, tear strength  
**2019, x + 124 pages.**

## TEŞEKKÜR

Öğrenim hayatım boyunca bana zaman ayıran,bilgi birikimini benimle paylaşan ve kendimi geliőtirmemde bana yardımcı olan danışman hocam Sn. Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR'a teşekkürlerimi sunarım.

Pega Otomotiv'de bana mentörlük yapan yöneticim ve tez süresince bana yol gösterici olan,bütün bilgi birikimini paylaşan Sn. Hasan Kasım'a teşekkürlerimi sunarım.

Erdi AYRANCI  
26/ 09/ 2019



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ii
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Kauçuğun Tarihçesi.....	3
2.2. Kauçuk Karışım Bileşenleri.....	4
2.2.1. Kauçuk çeşitleri.....	7
2.2.2. Dolgu maddeleri.....	10
2.2.3. Yumuşatıcılar.....	11
2.2.4. Proses kolaylaştırıcılar.....	12
2.2.5. Aktivatörler.....	12
2.2.6. Hızlandırıcılar(Akseleratör).....	13
2.2.7. Bozunma önleyiciler.....	13
2.3. Vulkanizasyon.....	14
2.4. Vulkanizasyon Teknikleri.....	17
2.4.1. Pres vulkanizasyon.....	17
2.4.2. Açık vulkanizasyon.....	17
2.4.3. Sürekli vulkanizasyon.....	17
2.4.4. Soğuk vulkanizasyon.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1.Materyal.....	18
3.1.1. Kullanılan kimyasal reçetesi.....	18
3.1.2. Kullanılan cihazlar.....	19
3.2. Metod.....	20
3.2.1.Kauçuk hamur hazırlanması.....	20
3.2.2.Kauçuk hamur aşamasında yapılan test.....	21
3.2.3. Vulkanizasyon test plakalarının hazırlanması.....	23
3.2.4. Vulkanize olmuş hamura yapılan testler.....	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	49
4.1. Kauçuk Hamur Aşamasında Yapılan Test Sonuçları.....	49
4.2. Vulkanize Olmuş Hamura Yapılan Test Sonuçları.....	53
4.2.1. Kopma-çekme test sonuçları.....	53
4.2.2. Yırtılma test sonuçları.....	70
5. SONUÇ.....	121
KAYNAKLAR.....	123



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
phr	Parts Per Hundred Rubber
T <sub>g</sub>	Camsı geçiş sıcaklığı
ZnO	Çinko Oksit
M <sub>L</sub>	Minimum viskozite
M <sub>H</sub>	Maksimum viskozite
ts <sub>2</sub>	Scorch süresi
t <sub>90</sub>	Vulkanizasyon süresi
cm <sup>3</sup>	Santimetreküp
g/cm <sup>3</sup>	Gram/santimetreküp
Ndm	Newton desimetre
σ <sub>max</sub>	Maksimum gerilme
ε <sub>max</sub>	Maksimum yüzde uzama
σ <sub>100</sub>	%100 uzamadaki gerilme değeri
σ <sub>200</sub>	%200 uzamadaki gerilme değeri
σ <sub>300</sub>	%300 uzamadaki gerilme değeri
σ <sub>500</sub>	%500 uzamadaki gerilme değeri
σ <sub>150</sub>	%150 uzamadaki gerilme değeri
σ <sub>175</sub>	%175 uzamadaki gerilme değeri
σ <sub>50</sub>	%50 uzamadaki gerilme değeri
σ <sub>75</sub>	%75 uzamadaki gerilme değeri
σ <sub>120</sub>	%120 uzamadaki gerilme değeri

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
ASTM	American Society for Testing Materials
NR	Tabii Kauçuk
PBR	Polibütadien Kauçuk
SBR	Stiren-Bütadien Kauçuk
IIR	İzobutilen İzopren Kauçuk
EPM	Etilen-Propilen Kauçuk
Q	Silikon Kauçuk
FKM	Florokarbon Kauçuk
TMQ	2, 2, 4-Trimetil-1, 2-dihidroquinolin
IPPD	N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylene daimine
CBR	Cis-Polibütadien Kauçuk

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1. 1. Çapraz bağlanmış polimer yapısı.....	1
Şekil 2. 1. Bütadienin kapalı kimyasal formülü.....	3
Şekil 2. 2. Birbiriyle kaynaşmış kauçuk taneciklerinden oluşan karbon siyahı dolgulu yapının şematik görüntüsü .....	10
Şekil 2. 3. C polimeri ve C polimer zinciri .....	15
Şekil 2. 4. Vulkanize olmamış (solda) ve vulkanize olmuş (sağda) bir polimerin temsili şematik görüntüsü .....	15
Şekil 2. 5. Kükürt atomu, kükürt halkası ve uçları açılmış kükürt molekülü .....	16
Şekil 3. 1. Alpha MDR 3000 cihazı .....	19
Şekil 3. 2. Zwick / Roell Z010 cihazı .....	20
Şekil 3. 3. Vulkanizasyon eğrisi.....	22
Şekil 3. 4. Rheometre test parametreleri .....	22
Şekil 3. 5. Vulkanizasyon test alt plakasının görünüşü.....	24
Şekil 3. 6. Vulkanize olmamış kauçuğun yoğunluğu.....	24
Şekil 3. 7. Vulkanize edilecek kauçuk hamuru .....	25
Şekil 3. 8. Kalıp plakasına kalıp ayırıcı dökülmesi.....	26
Şekil 3. 9. Kalıp ayırıcı uygulanan plakaların vulkanizasyon presine kürlenme işlemi için yerleştirilmesi.....	27
Şekil 3. 10. Kauçuk hamurun vulkanizasyon kalıbına yerleştirilmesi .....	28
Şekil 3. 11. Vulkanizasyon işlemine hazır kauçuk hamuru .....	29
Şekil 3. 12. Vulkanizasyon sıcaklık ve süre panosunun görseli .....	30
Şekil 3. 13. 150°C-8 dk'da vulkanize edilen numune görseli .....	31
Şekil 3. 14. Vulkanizasyon işlemi yapılan numunelerden örnekler.....	32
Şekil 3. 15. Çekme-kopma test numunesi kesmek için standart aparat .....	33
Şekil 3. 16. Çekme-kopma test aparatının görseli.....	34
Şekil 3. 17. Kopma-çekme test numune görseli.....	35
Şekil 3. 18. Çekme-kopma test makinesi ve çekme-kopma test numunesi .....	36
Şekil 3. 19. B tipi yırtılma test numunesinin standart boyutları .....	37
Şekil 3. 20. B tipi yırtılma numunesinin test aparatının görseli.....	39
Şekil 3. 21. 150°C-10 dk'daki B tipi yırtılma test numunesi .....	40
Şekil 3. 22. C tipi yırtılma test numunesinin standart boyutları .....	41
Şekil 3. 23. C tipi numunenin test aparatının görseli .....	42
Şekil 3. 24. 150°C-12 dk'daki C tipi yırtılma test numunesi .....	43
Şekil 3. 25. T tipi yırtılma test numunesi boyutları ve toleransları.....	44
Şekil 3. 26. T tipi numunenin test aparatının görseli .....	45
Şekil 3. 27. 160°C-12 dk'daki T tipi yırtılma test numunesi .....	46
Şekil 3. 28. 3 tip yırtılma numunesi görseli .....	47
Şekil 3. 29. Yırtılma test makinesi ve yırtılma test numunesi .....	48
Şekil 4. 1. 150°C'de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test grafikleri .....	54
Şekil 4. 2. 160°C'de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test grafikleri .....	56
Şekil 4. 3. 170°C'de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test grafikleri .....	58
Şekil 4. 4. 180°C'de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test grafikleri .....	59
Şekil 4. 5. 190°C'de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test grafikleri .....	61
Şekil 4. 6. 8 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test grafikleri.....	62

Şekil 4. 7. 10 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test grafikleri.....	64
Şekil 4. 8. 12 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test grafikleri.....	65
Şekil 4. 9. 14 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test grafikleri.....	67
Şekil 4. 10. 16 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test grafikleri.....	69
Şekil 4. 11. 150°C'de B tipi yırtılma numunelerinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri .....	71
Şekil 4. 12. 160°C'de B tipi yırtılma numunelerinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri .....	73
Şekil 4. 13. 170°C'de B tipi yırtılma numunelerinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri .....	75
Şekil 4. 14. 180°C'de B tipi yırtılma numunelerinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri .....	76
Şekil 4. 15. 190°C'de B tipi yırtılma numunelerinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri .....	78
Şekil 4. 16. 8 dk'da B tipi yırtılma numunelerinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	79
Şekil 4. 17. 10 dk'da B tipi yırtılma numunelerinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	80
Şekil 4. 18. 12 dk'da B tipi yırtılma numunelerinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	82
Şekil 4. 19. 14 dk'da B tipi yırtılma numunelerinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	83
Şekil 4. 20. 16 dk'da B tipi yırtılma numunelerinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	85
Şekil 4. 21. 150°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	86
Şekil 4. 22. 160°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	88
Şekil 4. 23. 170°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	89
Şekil 4. 24. 180°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	91
Şekil 4. 25. 190°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	92
Şekil 4. 26. 8 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	94
Şekil 4. 27. 10 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	95
Şekil 4. 28. 12 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	97
Şekil 4. 29. 14 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	98
Şekil 4. 30. 16 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	100
Şekil 4. 31. 150°C'de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri .....	101
Şekil 4. 32. 160°C'de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri .....	103

Şekil 4. 33. 170°C’de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri .....	105
Şekil 4. 34. 180°C’de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri .....	107
Şekil 4. 35. 190°C’de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri .....	109
Şekil 4. 36. 8 dk’da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	111
Şekil 4. 37. 10 dk’da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	113
Şekil 4. 38. 12 dk’da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	115
Şekil 4. 39. 14 dk’da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	116
Şekil 4. 40. 16 dk’da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri .....	119

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2. 1. Lastik hamurunda kullanılan ham maddelerin sınıflandırılması .....	5
Çizelge 2. 2. Bazı Kauçukların Kimyasal Formülü.. ..	8
Çizelge 2. 3. Antioksidanlar, amin ve fenolik bazlı .....	14
Çizelge 2. 4. Antiozonat türleri .....	14
Çizelge 3. 1. Kauçuk karışım reçetesi .....	18
Çizelge 3. 2. Rheometre test numunelerinin sıcaklık ve süreleri .....	21
Çizelge 3. 3. Vulkanizasyon test numunesinin sıcaklık ve süreleri .....	31
Çizelge 3. 4. Çekme-kopma aparatlarının boyutları .....	34
Çizelge 3. 5. B tipi yırtılma numunesinin boyutları .....	38
Çizelge 3. 6. C tipi yırtılma numune boyutları ve toleransları.....	41
Çizelge 4. 1. 150°C’de farklı sürelerdeki rheometre test sonuçları .....	49
Çizelge 4. 2. 160°C’de farklı sürelerdeki rheometre test sonuçları .....	49
Çizelge 4. 3. 170°C’de farklı sürelerdeki rheometre test sonuçları .....	50
Çizelge 4. 4. 180°C’de farklı sürelerdeki rheometre test sonuçları .....	50
Çizelge 4. 5. 190°C’de farklı sürelerdeki rheometre test sonuçları. ....	50
Çizelge 4. 6. 8 dk’da farklı sıcaklıklardaki rheometre test sonuçları .....	50
Çizelge 4. 7. 10 dk’da farklı sıcaklıklardaki rheometre test sonuçları.....	51
Çizelge 4. 8. 12 dk’da farklı sıcaklıklardaki rheometre test sonuçları.....	51
Çizelge 4. 9. 14 dk’da farklı sıcaklıklardaki rheometre test sonuçları.....	51
Çizelge 4. 10. 16 dk’da farklı sıcaklıklardaki rheometre test sonuçları .....	51
Çizelge 4. 11. 150°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test sonuçları .....	54
Çizelge 4. 12. 160°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test sonuçları .....	56
Çizelge 4. 13. 170°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test sonuçları .....	58
Çizelge 4. 14. 180°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test sonuçları .....	60
Çizelge 4. 15. 190°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test sonuçları .....	61
Çizelge 4. 16. 8 dk’dafarklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları.....	63
Çizelge 4. 17. 10 dk’dafarklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları.....	65
Çizelge 4. 18. 12 dk’dafarklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	66
Çizelge 4. 19. 14 dk’dafarklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları.....	68
Çizelge 4. 20. 16 dk’dafarklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları.....	69
Çizelge 4. 21. 150°C’de B tipi yırtılma numunelerinde farklı sürelerde yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları .....	71
Çizelge 4. 22. 160°C’de B tipi yırtılma numunelerinde farklı sürelerde yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları .....	73
Çizelge 4. 23. 170°C’de B tipi yırtılma numunelerinde farklı sürelerde yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları .....	75
Çizelge 4. 24. 180°C’de B tipi yırtılma numunelerinde farklı sürelerde yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları .....	77
Çizelge 4. 25. 190°C’de B tipi yırtılma numunelerinde farklı sürelerde yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları .....	78
Çizelge 4. 26. 8 dk’da B tipi yırtılma numunelerinde farklı sıcaklıklarda yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları .....	79
Çizelge 4. 27. 10 dk’da B tipi yırtılma numunelerinde farklı sıcaklıklarda yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları .....	81

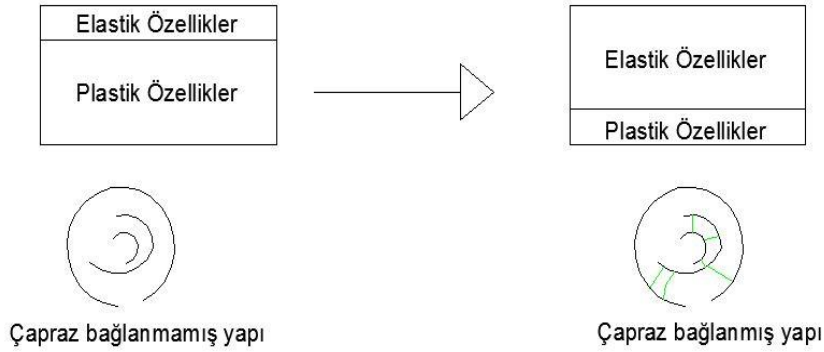
Çizelge 4. 28. 12 dk'da B tipi yırtılma numunelerinde farklı sıcaklıklarda yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları .....	82
Çizelge 4. 29. 14 dk'da B tipi yırtılma numunelerinde farklı sıcaklıklarda yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları .....	84
Çizelge 4. 30. 16 dk'da B tipi yırtılma numunelerinde farklı sıcaklıklarda yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları .....	85
Çizelge 4. 31. 150°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları .....	86
Çizelge 4. 32. 160°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları .....	88
Çizelge 4. 33. 170°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları .....	90
Çizelge 4. 34. 180°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları .....	91
Çizelge 4. 35. 190°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları .....	93
Çizelge 4. 36. 8 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	94
Çizelge 4. 37. 10 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	96
Çizelge 4. 38. 12 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	97
Çizelge 4. 39. 14 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	99
Çizelge 4. 40. 16 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	100
Çizelge 4. 41. 150°C'de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları .....	102
Çizelge 4. 42. 160°C'de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları .....	104
Çizelge 4. 43. 170°C'de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları .....	106
Çizelge 4. 44. 180°C'de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları .....	108
Çizelge 4. 45. 190°C'de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları .....	110
Çizelge 4. 46. 8 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	112
Çizelge 4. 47. 10 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	114
Çizelge 4. 48. 12 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	115
Çizelge 4. 49. 14 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	118
Çizelge 4. 50. 16 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları .....	120

## 1. GİRİŞ

Monomer, birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak büyük moleküller oluşturabilen küçük mol kütleli kimyasal maddelerdir. Polimer çok sayıda monomerin kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu iri molekülün adıdır.

Elastomerler farklı bileşenlerin eklendiği amorf polimerlerdir ve oda sıcaklığında orijinal boyunun 2 katına uzayabilen, bu uzamayı sağlayan kuvvet kaldırıldığında yaklaşık olarak ilk haline dönebilen polimerik malzemedir.

Kauçuklar çapraz bağlanabilme özelliğine sahip polimerlerdir. Kauçuk karışımı hazırlama üretim, çevre, maliyet ve performans beklentilerini optimum şekilde karşılamak için uygun elastomer ve diğer bileşenleri seçme ve karıştırma zor bir bilimsel alandır. Kauçuğun çapraz bağlanma işlemi vulkanizasyon olarak isimlendirilir. Vulkanizasyon işlemi sonrası kauçuk lastik haline dönüşür. Lastik kavramı ile elastomer kavramı eş anlamlıdır.



**Şekil 1.1.** Çapraz bağlanmış polimer yapısı (Savran 2017'den değiştirilerek alınmıştır)

Kauçuklar tek başlarına kullanıldığı gibi hava süspansiyon körüklerinde kauçuk-kord bezi kompozit yapısı şeklinde de kullanılabilir. Hava süspansiyon körükleri yüzeyden gelen etkilere karşı viskoelastik yapısı nedeniyle hacim değiştirerek bu etkileri önler.

Bu tez kapsamında ilk olarak hava süspansiyon körüklerinde kullandığımız karbon siyahı dolgulu kauçuk için rheometre testleri yapılarak kauçuğun pişme karakteristiğini belirleyeceğiz. Daha sonra kauçuk karışımı vulkanize edilip çekme-kopma ve yırtılma numuneleri ilgili ASTM(American Society for Testing Materials) standartlarına uygun olarak hazırlanacaktır.Hazırlanan numunelerin kopma ve yırtılma testleri yapıp, sıcaklık ve sürenin malzemenin kopma ve yırtılma özellikleri üzerine etkisi anlatılacaktır.Burada optimum sıcaklık ve süreyi belirleyerek en iyi mekanik dayanımı elde etmek istediğimizden bu çalışma gerçekleştirilmiştir.





## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Kauçuğun Tarihçesi

Kauçuk Hevea Brasiliensis denen bir ağacın gövdesine açılan yarıktan elde edilen elastik bir malzemedir. Kristof Kolomb dünya seyahati esnasında Haiti adasındaki yerlilerin Hevea Brasiliensis ağacından elde ettikleri reçineden top ve ayakkabı tabanı gibi çeşitli eşyalar yaptığını görmüştür.

Kauçuğun tarihinde önemli adımları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

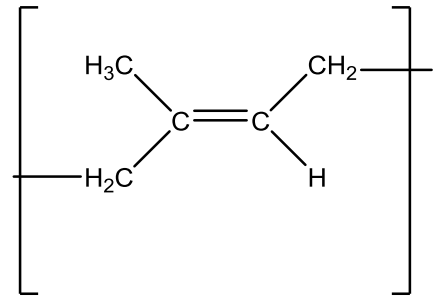
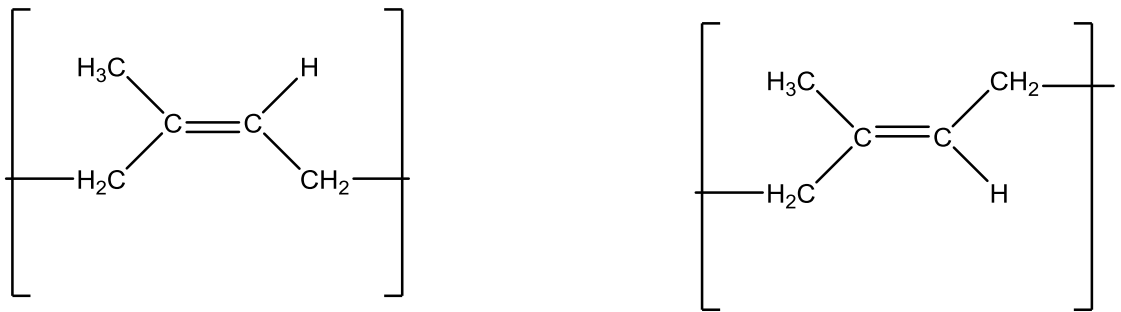
-1751 yılında kauçuk ilk kez teknik anlamda kullanılmıştır.

-1803 yılında Paris'te ilk kauçuk fabrikası kurulmuştur.

-1839'da ise ilk kauçuk fabrikasını kuran Charles Goodyear, vulkanizasyonu bulmuştur. Vulkanizasyon işlemi kauçuk için en önemli devrim niteliğindeki buluşlardan biridir. Bu sayede kauçuğun çapraz bağlanma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Vulkanizasyon işlemi sonrasında kauçuk lastik halini alır ve viskoelastik yani geri dönüşümsüz olarak elastik özellik gösteren bir yapıya sahip olur.

-1888 John Boyd Dunlop tarafından ilk havalı bisiklet lastiği üretilmiştir.

-1909 yılında ise Almanya'da Bayer firmasında F. Holman tarafından ilk sentetik kauçuk üretilmiştir. Alman kimyacılar petrolden elde ettikleri 'bütadien'i polimerleştirerek yapay, yani sentetik kauçuğu ürettiler.



**Şekil 2. 1.** Bütadienin kapalı kimyasal formülü

Sentetik kauçuğun üretilmesi ile sektör çok hızlı bir şekilde büyümeye başlamıştır. Sentetik kauçuklardan üretilen malzemeler hayatımızın vazgeçilmezleri arasına girmiştir. Sektörde üretilen malzemelerin bir kısmı şunlardır:

Araç lastikleri, hava süspansiyon körükleri, contalar, sıcak ve soğuk su hortumları, bulaşık ve çamaşır makinesi parçaları, akaryakıt ve fren hortumları, cam silecekleri, transmisyon kayışları, aks körükleri, radyatör ve hava hortumları, kapı ve cam profilleri, salınım, titreşim takozları, izolasyon (yalıtım) elemanları, konveyör bant imalatı, ayakkabı üretimindeki ölkedir.

## **2.2. Kauçuk Karışım Bileşenleri**

Kauçuklar istenen özelliklere göre Hevea Brasiliensis ağacından elde edilen reçineye birçok farklı katkı maddeleri eklenerek elde edilirler. Farklı katkı maddelerinden hangilerinin ne miktarda ekleneceği üründen nelerin beklendiğine bağlıdır. Kauçuk karışımından beklenen özellikler:

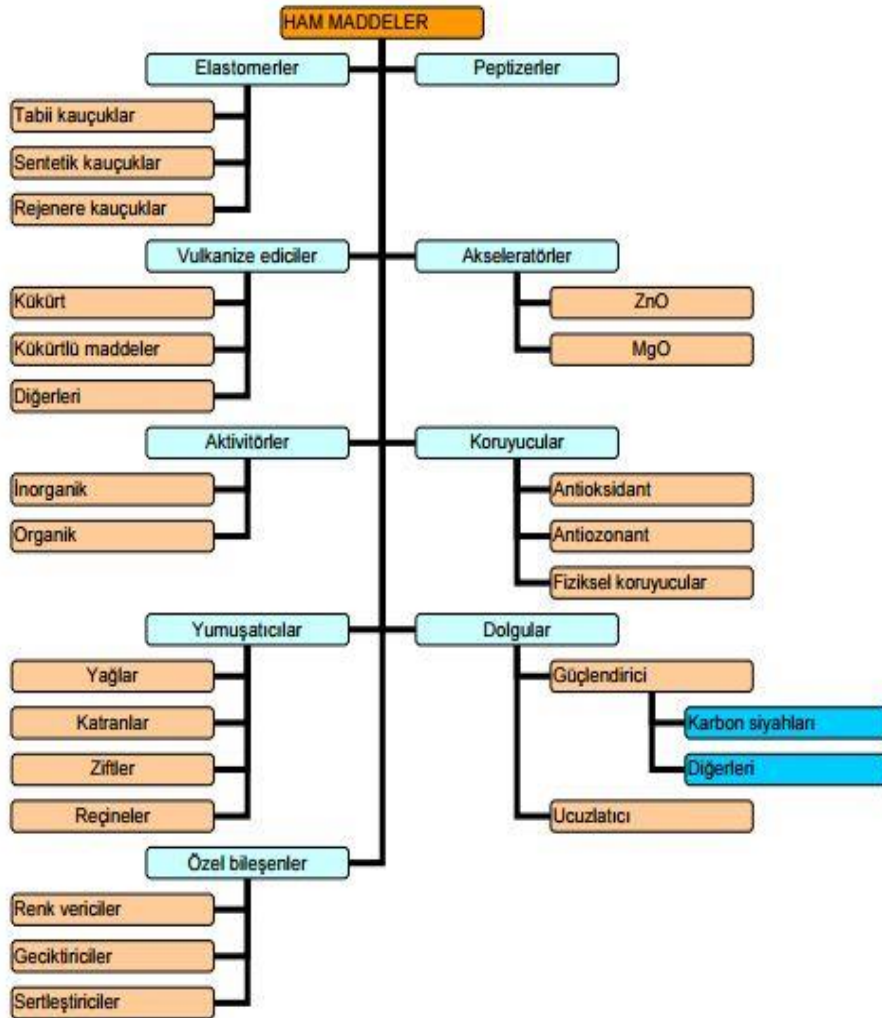
- Kullanıma hazır halde bulunan ürünün çalışma gereksinimlerini karşılaması yani performansı
- Kauçuk karışımının proses, metod ve kullanılan makineye uyumu
- Maliyet beklentileri

Kullanıma hazır halde bulunan ürün çalışma spektrlerini karşılaması için uygun kauçuk, hammadde ve katkı maddelerinin seçilmesi ve de bunların homojen olarak karışabilmesine bağlıdır. Bu seçilen kauçuk, hammadde ve katkı maddelerinin belirli oranlarda karışabildiği formata reçete ve ya formül denir. Çalışmamızda hava süspansiyon körüklerinde kullandığımız kauçuğun belirli bir reçetesi ve her bir katkı maddesinin 100 phr(parts per hundred rubber) miktarına göre kauçuk içerisindeki miktarları belirlidir. Buradaki phr terimi kauçuk karışımında kullanılan bileşiğin kauçuk cinsinden ağırlığını vermektedir. Bütün çalışma boyunca numuneler aynı reçete üzerinden kullanılmıştır.

Bir kauçuk karışımına eklenen bileşenler:

- Kauçuk
- Dolgu maddeleri
- Yumuşatıcılar
- Proses Kolaylaştırıcılar
- Yaşlanmayı Önleyiciler
- Aktivatörler
- Hızlandırıcılar
- Pişiriciler
- Geciktiriciler

**Çizelge 2. 1.** Lastik hamurunda kullanılan ham maddelerin sınıflandırılması (Megep 2011)



Kauçuk karışımında kullanılan maddeler proses özellikleri, son üründen istenen özellikler ve maliyet kontrolü gibi özellikleri kontrol etmede kullanılırlar. Bunlar:

- 1)Elastomerler(doğal ya da sentetik)
- 2) Vulkanizasyon ajanları(kükürt, kükürt verici akseleratörler, organik peroksitler, ikincil vulkanizasyon ajanları ve metalik oksitler)
- 3)Akseleratörler
- 4)Akseleratör aktivatörleri ve geciktiriciler
- 5)Yaşlanmaya karşı koruyucular (antioksidant ve antiozonatlar)
- 6)Proses yardımcıları, plastikleştiriciler, yumuşatıcılar ve yapıştırıcılar
- 7)Güçlendirici pigmentler ve reçineler
- 8)İnert dolgu maddeleri ve maliyet düşürücüler
- 9)Özel amaçlı kullanılan maddeler(aşındırıcı, şişirici ajanlar, renklendiriciler ve kokular) (Annicelli, 1990)

Vulkanize olmamış kauçuk ile vulkanize olmuş kauçuk arasında temel yapısal farklar vardır.Vulkanize olmamış kauçuk yumuşak, yapışkan, düşük mukavemet değerine sahip, yüksek çözünbilme özelliğinde, ısıdan etkilenebilen bir yapıdadır. Vulkanize olmuş kauçuk ise sert, yapışkan olmayan, yüksek mukavemet değerine sahip, çözünmeyen, ya da az çözünen özellikte ve ısıdan az etkilenebilen bir yapıdadır.

### 2.2.1. Kauçuk çeşitleri

Aşağıdaki çizelgede bazı kauçukların kimyasal yapıları ve isimleri listelenmiştir.

**Çizelge 2. 2.** Bazı Kauçukların Kimyasal Formülü (Erkek S. 2007)

ADI	KİMYASAL FORMÜLÜ
TABIİ KAUÇUK(NR)	$\left[ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad / \\ \text{C} = \text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{H}_2 \quad \text{H}_2 \end{array} \right]$ <p>(cis-1,4 isopren)</p>
STİREN- BÜTADİEN KAUÇUK(SBR)	$\left[ \begin{array}{c} \text{H}_2 \quad \text{H} \quad \text{H}_2 \quad \text{H}_2 \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{C} - \text{C} = \text{C} - \text{C} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$ <p>(butadien) (stiren)</p>
BÜTADİEN KAUÇUKLAR(BR)	$\text{H}_2\text{C} = \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{C} \\   \\ \text{H} \end{array} - \begin{array}{c} \text{C} = \text{CH}_2 \\   \\ \text{H} \end{array} \longrightarrow \left[ \text{H}_2\text{C} - \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{C} = \text{C} \\   \\ \text{H} \end{array} - \text{CH}_2 \right]_n$ <p>(butadien) (polibutadien)</p>
ISOPREN KAUÇUKLAR(IR)	$\left[ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad / \\ \text{C} = \text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2 \end{array} \right]$ <p>(cis-1,4 isopren)</p> $\left[ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_2 \\ \diagdown \quad / \\ \text{C} = \text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{H} \end{array} \right]$ <p>(trans 1,4 isopren)</p>
BUTİL KAUÇUK	$\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\   \quad   \\ \text{H}_2\text{C} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} = \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$ <p>(isobütilen)(isopren)</p>
EPM KAUÇUK	$\left[ \left( \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right)_m - \left( \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH} - \text{CH}_2 \end{array} \right)_n \right]$

AKRİLONİTRİL- BÜTADİEN KAUÇUĞU(NBR)	$\left( \text{H}_2\text{C}=\underset{\text{H}}{\text{C}}-\underset{\text{H}}{\text{C}}=\text{CH}_2 \right) + \left( \text{CH}_2=\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}} \right)$ $\downarrow$ $\left( -\left( \text{H}_2\text{C}-\text{HC}=\text{CH} \right)-\left( \text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}} \right)- \right)$ (akrilonitril butadien)
KLOROPEN KAUÇUKLAR (CR)	$\left( \text{H}_2\text{C}=\underset{\text{Cl}}{\text{C}}-\underset{\text{H}}{\text{C}}=\text{CH}_2 \right) \longrightarrow \left( \text{H}_2\text{C}-\underset{\text{Cl}}{\text{C}}=\underset{\text{H}}{\text{C}}-\text{CH}_2 \right)$ (2 kloro 1,3 butadien)( kloropren)
KLOROSÜLFON POLİETİLEN(CSM)	$\left  \text{H}_2\text{C}-\underset{\text{Cl}}{\text{C}}-\text{CH}_2 \right  \left  \text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{SOCl}_2}{\text{CH}}-\text{CH}_2 \right $ (kloroetilen)(etilen) (klorosülfon polietilen)
POLİSÜLFÜT KAUÇUKLAR(T)	$\text{H}_2\text{C}-\underset{\text{Cl}}{\text{C}}-\text{CH}_2 + \text{Na}_2\text{S}_4 \longrightarrow \left( \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\text{S}_4 \right)_n + 2\text{NaCl}$ (1,2 dikloro etan) (sodyum tetra sülfür) (poly sülfid)
AKRİLİK KAUÇUKLAR(ACM )	$\text{H}_2\text{C}=\underset{\text{C}=\text{O}}{\text{CH}}-\underset{\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5}{\text{C}} \quad \text{H}_2\text{C}=\underset{\text{C}=\text{O}}{\text{CH}}-\underset{\text{O}-\text{C}_4\text{H}_9}{\text{C}}$ (etil akrilat) (butil akrilat)
FLORO ELASTOMERLER (FKM)	$\text{---CH}_2\text{---CF}_2\text{---CH}_2\text{---CF}_2\text{---CH}_2\text{---CF}_2\text{---CF}_2\text{---}\underset{\text{CF}_3}{\text{C}}\text{---}$ (floro elastomer)
POLİÜRETAN KAUÇUKLAR	$\text{R---N}=\text{C}=\text{O} + \text{R}'\text{---OH} \longrightarrow \text{R---}\underset{\text{H}}{\text{N}}\text{---}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C---O---R}'$ (isosiyanat) (alkol) (ürethan)
EPİKLOROHİDRİN KAUÇUKLAR(CO, ECO)	$\left  \text{H}_2\text{C}-\underset{\text{CH}_2\text{---Cl}}{\text{CH}}-\text{O} \right $ (poli epiklorohidrin)

### Tabii kauçuk(NR)

Tabii kauçuk Hevea Brasiliensis ağacındaki lateksten elde edilir fakat kauçuk uygulamalarında kullanılabilmesi için bu lateks amonyak, formaldehid, sodyum sülfid gibi koruyucuların ilavesiyle stabilize edilir. Kauçuk partiküllerinin boyutu 0,02-2 µ, yoğunluğu 0,92' dir.Sabit viskoziteli tabii kauçuk elde etmek için yapıya hidroksilamin ilave edilebilir.Tabii kauçuğun Tg(camsı geçiş sıcaklığı) yaklaşık -70°C ve yapısı cis 1,4-poliizopren'dir.

Tabii kauçuk, kauçuk karışımına iyi yırtılma, çekme, aşınma özellikleri kazandırır. Doğal kauçuklar tek başlarına kullanılabildiği gibi farklı uygulamalarda sentetik kauçuklarla karıştırılabilir.

Doğal kauçuk vulkanize edildiğinde yüksek mukavemet, yüksek uzama kabiliyeti, yüksek aşınma direnci sağlar. Doğal kauçuk mekanik özellikler olarak sentetik kauçuklardan üstündür fakat yüksek sıcaklığa, ortam ve ozon direncine karşı zayıf dayanım gösterir. Çalışmamız için hazırlanan kauçuk reçetesinde doğal kauçuk ve sentetik kauçuk bir arada kullanılmıştır.

### Sentetik kauçuk

Sentetik kauçuk petrolün işlenmesiyle oluşan monomerlerden üretilir. Sentetik kauçuklar içeriğindeki monomerlerin oranına bağlı olarak isimlendirilirler. Sentetik kauçuklarda en yaygın kullanılan monomerler; izopren, izobütülen, etilen, stiren, bütadien, propilendir. Farklı mekanik, kimyasal beklentileri karşılayabilmek için bu monomerlerin birkaçı çeşitli oranlarda karıştırılabilir. Sentetik kauçuklar; genel amaçlı, özel amaçlı ve ayrıcalıklı olarak üçe ayrılmaktadır.

Genel amaçlı sentetik kauçuklar; polibütadien kauçuk (PBR), stiren-bütadien kauçuk (SBR) vb.

Özel amaçlı sentetik kauçuklar yağlara, yangına, hava koşullarına, yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu ve genel amaçlı sentetik kauçuklar bu gereksinimleri karşılamadığı için geliştirilmiştir. Özel amaçlı sentetik kauçuklar; butil kauçuk (IIR- izobütülen izopren kauçuk), etilen-propilen kauçuk (EPM) vb.

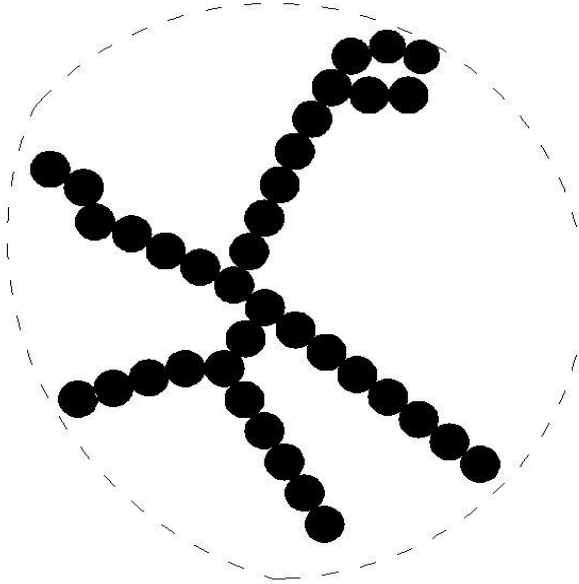
Ayrıcalıklı kauçuklar; silikon kauçuk (Q kauçuk), florokarbon kauçuk (FKM) vb.

### 2.2.2.Dolgu maddeleri

Kauçuklara kuru toz halinde katılan genelde 1  $\mu$ 'den küçük olan maddelerdir.Dolgu maddeleri iki amaçtan biri için kullanılır.Bunlardan ilki kauçuğun mekanik ve fiziksel özelliklerini arttırmak için kullanılır.Buna güçlendirici(reinforcing agent) denir. İkincisi maliyeti düşürme için kullanılan dolgu maddeleri(fillers) olarak adlandırılır.

Güçlendirici dolgular bir kauçuğun mukavemetini 10 kattan fazla arttırabilir. Kauçuğun güçlendirilmesinde için en etkili iki dolgu malzemesi; karbon siyahı ve silikadır. Bu dolgu maddeleri gram dolgu maddesi başına birkaç yüz  $m^2$ 'lik yüzey alanına sahip küçük tane büyüklüğünde imal edilen malzemelerdir.

Dolguların önemli özelliklerinden biri düzensizliktir. Düzensizlik dolgu maddelerinin şekil bakımından düzensizlik derecesidir. Karbon siyahları tarafından işgal edilen hacmin gerçek hacme oranı ne kadar yüksek ise düzensizlik o kadar yüksektir.



**Şekil 2. 2.**Birbiriyle kaynaşmış kauçuk taneciklerinden oluşan karbon siyahı dolgulu yapının şematik görüntüsü (Hamed G. 2015'den değiştirilerek alınmıştır)



Karbon siyahı dolguları kauçuğa eklenmeden önce ‘agglomerat’ denilen topaklar halindedir. En iyi dolgunun oluşması için bu agglomeratların kauçuk içinde iyice yayılmalıdır.

Karbon siyahı sadece mukavemet arttırıcı etki yapmaz. Bununla birlikte erimiş haldeki elastikliği düşürerek işlenebilirliği kolaylaştırır. Bu kauçukla ilgili şekillendirme operasyonlarının daha az çekme ve erime şekil bozukluğu ile yapılmasını sağlar. Çalışmamız için hazırlanan kauçuk reçetesinde N550 olarak isimlendirilen 55 nm tanecik boyutuna sahip karbon siyahı dolgu maddesi olarak kullanılmıştır.

### **2.2.3. Yumuşatıcılar**

Yumuşatıcılar prosesi kolaylaştıran yani viskoziteyi düşüren ve dolgu maddelerinden sonra en çok kullanılan malzemelerdir.

- Dolgu maddelerinin ve kimyasalların karışım içerisindeki dağılımını kolaylaştırırlar.
- Yumuşatıcılar karıştırma esnasındaki sürtünmeleri azaltırlar.
- Yumuşatıcılar viskoziteyi düşürür ve hamurun daha az enerji ile üretilmesini sağlarlar.
- Yumuşatıcılar yumuşama stabilitesini arttırır ve işleme hızını arttırır.

Çalışmamız için hazırlanan kauçuk reçetesinde doğal kauçuk miktarı az olduğundan peptizer kullanılmamıştır.

#### **Kimyevi peptizler**

Kimyevi peptizler genel olarak 100 phr başına 1 ile 3 phr miktarında ilave edilir. Kimyevi peptizler ile yapılan yumuşatma işlemine ‘peptizasyon’ denir. Peptizasyon sonucu viskozite azalır. Bunun sonucu olarak kauçuk ve dolgu maddelerinin dağılımı kolaylaşır.

#### **Fiziki plastikleştiriciler**

Fiziki plastikleştiriciler hamurdaki düzensizliği(karışıklığı) azaltır ve iç sürtünmeyi düşürerek yumuşatırlar. 100 phr hamurda 5-20 phr arasında kullanılırlar. Genel olarak

kullanılan plastikleştiriciler yağlar, yağ asitleri, esterler, çam katranı ve reçine olarak sıralanabilir.

#### **2.2.4. Proses kolaylaştırıcılar**

Kauçuk malzeme üretimi esnasında her kademedede farklı zorluklar oluşmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için proses kolaylaştırıcılar karışıma katılmaktadır. Proses kolaylaştırıcıların işlevleri karışıma düşük oranda katıldıkları ve mekanik özelliklere tesirleri az olduğu için farklılıklar göstermektedir.

Proses yardımcı maddeleri aşağıdaki gibidir.

- Dağıtıcılar
- Kalıp ayırıcılar
- Homojen sağlayıcılar
- Mastikasyona yardımcı maddeler
- Yapışkanlık arttırıcılar
- Kauçuk bağlı kimyasallar
- Akışkanlık arttırıcı maddeler
- Özel amaçlı sentetik yumuşatıcılar

Petrol bazlı yumuşatıcılar tüm kauçuk karışımlarında yaygın olarak kullanılır. Petrol bazlı yağlar karışımın akışını iyileştirir ve böylelikle maliyeti düşürürler. Kauçuklarda kullanılan en yaygın kimyasal aromatik kimyasal yağlardır. Çalışmamız için hazırlanan kauçuk reçetesinde 20,34 phr oranında parafinik yağ kullanılmıştır.

#### **2.2.5. Aktivatörler**

Vulkanizasyon işleminin süresini kısaltan ve mekanik özelliklere önemli ölçüde etki eden bu maddelere akseleratör denir. Akseleratörün bu görevini yerine getirmesi için ilave maddelere ihtiyaç vardır. Bu maddeler aktivatör olarak adlandırılır. Aktivatör olarak kullanılan en yaygın madde çinko oksittir. Çalışmamız için hazırlanan kauçuk reçetesinde 2,2 phr çinko oksit (ZnO) ve 2 phr sterik asit kullanılmıştır.

Çinko oksit kauçuk karışımına genelde 2-10 phr arasında katılan ve aktive etme özelliği çok yüksek olan bir malzemedir. Çinko oksitin kauçukta çözünürlüğünün artması için stearik asit kullanılır.

### **2.2.6.Hızlandırıcılar(Akseleratör)**

Vulkanizasyon hızını arttıran ve mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştiren maddelerdir.

Organik hızlandırıcıların vulkanizasyona etkileri aşağıda sıralanmaktadır:

- Kükürtlü vulkanizasyon işleminde çapraz bağlanma reaksiyonunu hızlandırmaktadır.
- Hızlandırıcı ve düşük kükürt ihtiva eden kauçuk karışımlarının vulkanizasyon işlemlerinde kauçuk ürünün ısı dayanımı, dinamik özellikleri ve yaşlanma özelliklerinde iyileşmeler sağlanmaktadır.
- Birden çok hızlandırıcı kullanıldığında hızlandırıcıların birbirlerini kuvvetlendiren bir etki oluşur. Farklı hızlandırıcıların bir arada kullanım oranları ayarlanarak vulkanizasyon başlangıcı ve devamı ile ilgili iyi özellikler sağlanabilmektedir.

### **2.2.7. Bozunma önleyiciler**

Vulkanize olmamış kauçuk hamuru oksijenden, ozondan etkilenen doymamış hidrokarbonlar içerir. Bu şekilde üretilen bir kauçuğun zamanla mekanik özellikleri azalır. Bozunma önleyicilerin görevi oksijenden ve ozon bozunmalarından kauçuğu korumaktır. Genelde karışımlara 1-4 phr aralığında katılırlar. İki tip bozunma önleyici vardır. Bunlar antioksidanlar ve antiozanatlardır.

Antioksidanlar

İki tip antioksidan kauçuk karışımında kullanılmaktadır. Bunlar amin ve fenolik tipteki antioksidanlardır.

**Çizelge 2. 3.** Antioksidanlar, amin ve fenolik bazlı (Kasım H. 2018'den değiştirilerek alınmıştır)

Kimyasal Sınıf	Kısaltma
Amin bazlı antioksidanlar (boyama antioksidanları)	
Dihidrokuinolinler	TMQ, ETMQ
Naftilaminler	PAN, PBN
Fenol bazlı antioksidanlar (boyanmamış)	
Monofenoller	SPH, BHT
Bisfenoller	BPH

Çalışmamız için hazırlanan kauçuk reçetesinde 1 phr oranında TMQ(2,2,4-Trimetil-1, 2-dihidrokuinolin) tipi antioksidan kullanılmıştır.

#### Antiozonatlar

Çizelge 2.4.'de anzionat türleri gruplandırılmıştır.

**Çizelge 2. 4.** Antiozonat türleri(Kasım H. 2018'den değiştirilerek alınmıştır)

Kimyasal Sınıf	Kısaltma
Amin bazlı antioksidanlar (boyama antioksidanları)	
Parafenilendiamin	6PPD, DPPD, IPPD
Fenol bazlı antioksidanlar (boyanmamış)	
Monofenoller	SPH
Diğer Sınıflar	

Çalışmamız için hazırlanan kauçuk reçetesinde 1 phr oranında IPPD( N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylene daimine) ve 1 phr oranında Ozone Wax tipi antiozonat kullanılmıştır.

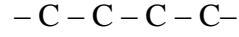
### 2.3. Vulkanizasyon

Yıkarda belirtilen kauçuk katkı maddelerinin belirli oranlarda katılması ile oluşan kauçuk karışımının oranlarının ve adlarının belirtildiği dokümana 'reçete' denmektedir.

İlgili reçetelere göre oluşturulmuş kauçuk karışımları vulkanizasyon öncesinde elastikliği ve mukavemeti düşük, yüksek molekül ağırlığına sahip bir sıvıdır. Kauçuk yapısını polimer yapısına benzetebiliriz.



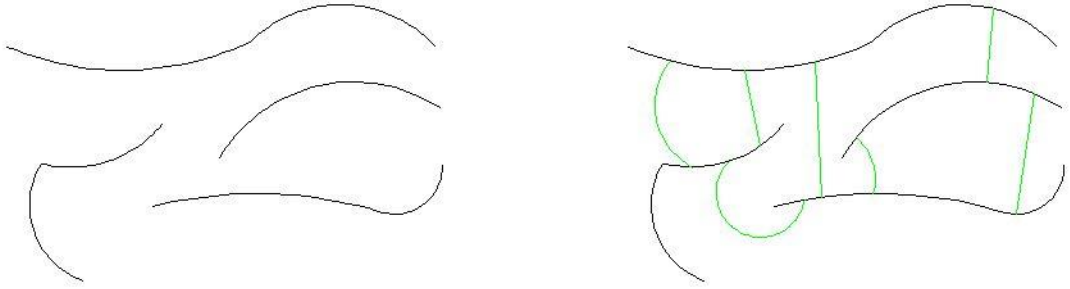
Karbon atomu



Polimer zinciri

### Şekil 2. 3. C polimeri ve C polimer zinciri

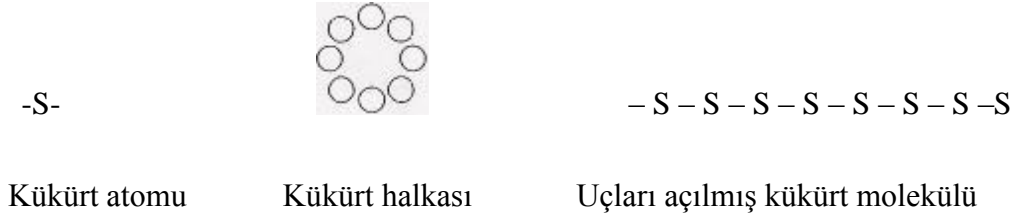
Kauçuk yukarıdaki polimer zincirinden milyonlarcasının bir arada bulunduğu bir yapıya sahiptir. Bu yapının düğüm noktası içerisine eklenen karbon siyahları ya da diğer dolgu maddeleridir. Dolgu maddeleri homojen olarak kauçuk molekülleri arasında dağılarak polimer zinciri tarafından sarılır. Vulkanizasyon birbirine çapraz bağlanmış bir ağ yapısı oluşturmak üzere kimyasal olarak bağlanması ve böylelikle malzemenin viskoz bir sıvıdan elastik bir katıya dönüşmesi işlemidir.



### Şekil 2. 4. Vulkanize olmamış (solda), vulkanize olmuş (sağda) bir polimer molekülünün temsili şematik görüntüsü

Vulkanizasyon işleminden sonra kalıcı şekil değişikliği ve histeresis azalırken mukavemet ve elastisite modülü artar. Burada çalışmamızda da kullandığımız olan kükürtlü vulkanizasyon sistemi detaylı olarak incelenecektir.

Vulkanizasyon işleminde kullanılan pişirici sistemler arasında en önemlisi ve en çok kullanılanı kükürttür. Kükürt atomunun sembolü 'S'dir. Kükürt halka şeklinde 8 adet kükürt atomundan meydana gelir. Bu atomlar belli bir enerji ile birbirine bağlanmıştır.



**Şekil 2. 5.**Kükürt atomu, kükürt halkası ve uçları açılmış kükürt molekülü

Vulkanizasyon işlemi sırasında kükürt atomları arasındaki enerjinin üzerinde bir enerji oluşur, bağ kırılması meydana gelir ve kükürt halkası açılarak uçları açılmış kükürt molekülü oluşur. Uçları açık kükürt atomları (= C =) doymamış bağlarını kırarak bir enerjiye sahip olduğundan C atomlarına bağlanır. Bu bağlanma sonucunda zincir kurulur.

Çapraz bağlanma özelliği; kükürdün miktarına, aktivitesine ve zamanına bağlıdır. Çapraz bağlanma özelliği vulkanizasyon derecesi ve çapraz bağlanma yoğunluğu olarak ifade edilir.

Bir kauçuğun mekanik özelliği çapraz bağ yoğunluğuna bağlıdır. Elastisite modülü ve sertlik artan çapraz bağ yoğunluğu ile artar, histeresis yani enerji kaybı azalır. Çapraz bağlanma arttıkça mekanik özellikler bir maksimumdan geçer. Bu maksimum noktadan sonra pişme aşamasında oluşan bazı kararsız polisülfür çapraz bağlarının parçalanması sebebiyle kauçuk karışımının mekanik özellikleri bozulur ve azalır.

Çalışmamız için hazırlanan kauçuk reçetesinde 2,03 phr oranında S80 tipi kükürt kullanılmıştır.

## **2.4. Vulkanizasyon Teknikleri**

Vulkanizasyon işlemi değişik teknikler kullanılarak basınç ve sıcaklık altında belirli sürede içerisinde gerçekleştirilir. 4 farklı vulkanizasyon metodu mevcuttur.

- Pres vulkanizasyon
- Açık vulkanizasyon
- Sürekli vulkanizasyon
- Soğuk vulkanizasyon

### **2.4.1. Pres vulkanizasyon**

Vulkanizasyon işlemi vulkanizasyon presinde iki plaka arasında vulkanize edilecek hamurun yerleştirilip basınç ve sıcaklık altında vulkanize edilme işlemidir. Bu plakalar vulkanizasyon presinin türüne bağlı olarak buhar ya da elektrikle ısıtılır.

### **2.4.2. Açık vulkanizasyon**

Açık vulkanizasyon sıcak hava ya da buhar içinde yapılır. Sıcak havanın zayıf ısı transferi nedeniyle sıcak hava fırınlarında yapılan vulkanizasyon verimli değildir.

Açık buhar vulkanizasyonu geniş hacimli bir kapalı yere parçanın yerleştirildiği ve içine doymun buhar verildiği vulkanizasyon yöntemidir. Doymun buhar daha iyi ısı transferi sağlar. Bunun sonucu olarak yüksek sıcaklıklarda daha kısa pişme süreleri elde edilir.

### **2.4.3. Sürekli vulkanizasyon**

Sürekli vulkanizasyonda vulkanize olmamış ürün pişme ortamı boyunca taşınır. Pişirme ortamı olarak sıcak hava, mikrodalga, yüksek enerjili radyasyon kullanılabilir.

### **2.4.4. Soğuk vulkanizasyon**

İnce malzemelerin oda sıcaklığında sülfür monoklorit buharlarıyla vulkanize edilme işlemidir.

### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1.Materyal

##### 3.1.1. Kullanılan kimyasal reçetesi

Çalışmamızda hazırladığımız kauçuk hamurunda doğal ve sentetik kauçuk birlikte kullanılarak karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım tüm testlerde ortak olarak kullanılmıştır.

**Çizelge 3.1.** Kauçuk karışım reçetesi

Grup Adı	Kimyasal Adı	phr	Yüzde (%)	Ağırlık (kg)
	SVR 10	37,29	18,78	0,23
	SBR 1502	28,81	14,51	0,17
	CBR 1203	33,9	17,07	0,2
Dolgu Grubu	FEF N.550	67,8	34,15	0,41
	Aktif ZnO	2,2	1,12	0,01
	Stearik Asit	2	1,02	0,01
	IPPD	1	0,5	0,01
	Ozon Wax	1	0,5	0,01
	TMQ	1	0,5	0,01
Yağlar	Parafinik Yağ	20,34	10,24	0,12
	S80	2,03	1,02	0,01
	CBS	1,19	0,59	0,01
Toplam Karışım		198,56	100	1,2

NR karışımlarda kullanılan en yaygın malzemedir. Bu çalışmada doğal kauçuğun yanında SBR kauçuk ve cis-polibütadien kauçuk (CBR) kullanılmıştır. Burada CBR kauçuğu karışımın sağladığı yüksek elastikiyet özelliğini geniş bir sıcaklık aralığında korumayı sağlamaktadır. Doğal kauçuk ile sentetik kauçuk karışımları araç lastiklerinde kullanılmakta ve çalışma alanımız olan hava süspansiyon körükleri de araç lastiklerine



benzer çalışma şartlarına sahip olduğundan kauçuk karışım reçetemiz bu şartlara uygun olarak Çizelge 3. 1.'deki gibi doğal ve sentetik kauçuk grubunun bir bileşimi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmamızda kullanılan kauçuk Pega Otomotiv firmasının tedarikçilerinden yaralanarak tedarikçi üretim hattında belirlediğimiz reçeteye uygun olarak oluşturulmuştur.

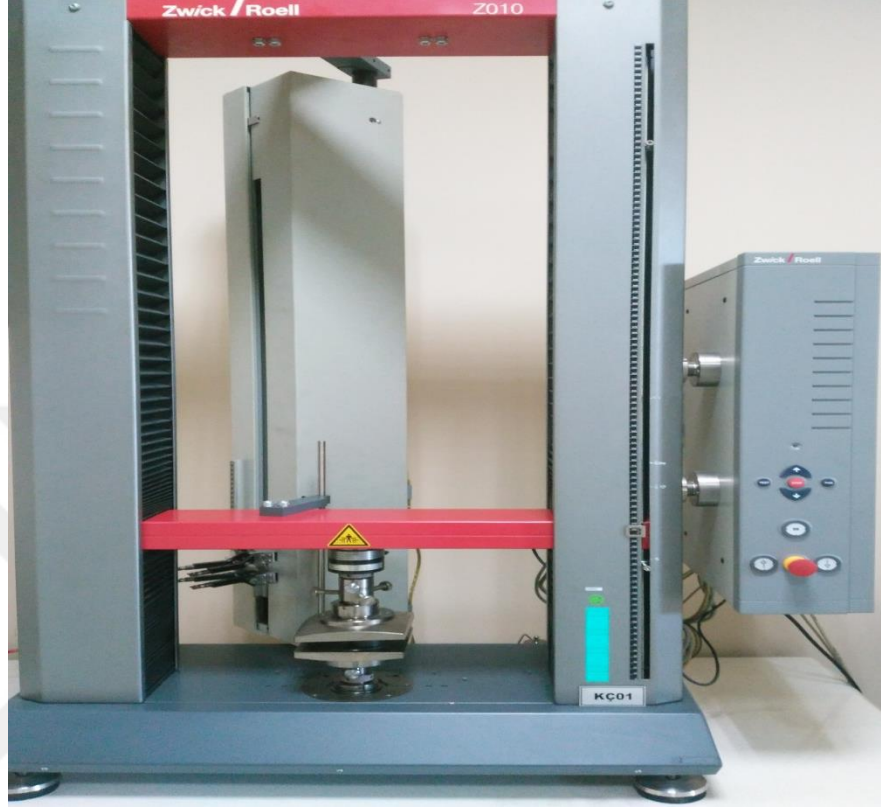
### 3.1.2. Kullanılan cihazlar

-Rheometre testleri Alpha MDR 3000 cihazı ile yapılmıştır. (Pega Otomotiv kauçuk geliştirme laboratuvarındaki cihaz kullanılmıştır)



Şekil 3. 1. Alpha MDR 3000 cihazı

-Kauçuk kopma, yırtılma testleri Zwick / Roell Z010 ile yapılmıştır. (Pega Otomotiv kauçuk geliştirme laboratuvarındaki cihaz kullanılmıştır)



Şekil 3. 2. Zwick/ Roell Z010 cihazı

### 3.2. Metod

#### 3.2.1. Kauçuk hamur hazırlanması

Karışım hazırlanan reçeteye göre laboratuvarında hazırlanmıştır. Kauçuk hazırlama esnasında kauçuk öncelikle 3-4 dk açık milden geçirilip, polimer zincirleri açılmış ve vulkanizasyon için uygun duruma getirilmiştir. Ardından karbon siyahı, dolgu maddeleri ve yağ eklenmiştir. Bu şekilde bir süre daha açık milden geçirildikten sonra aktivatör ve akselatör grubu eklenerek kauçuk karışımı hazırlanmıştır. Bu hazırlanan karışım için vulkanizasyon işlemlerini hem doğrulamak hem de kontrol etmek amacıyla rheometre testleri yapılmıştır.

### 3.2.2. Kauçuk hamur aşamasında yapılan test

#### Rheometre testi

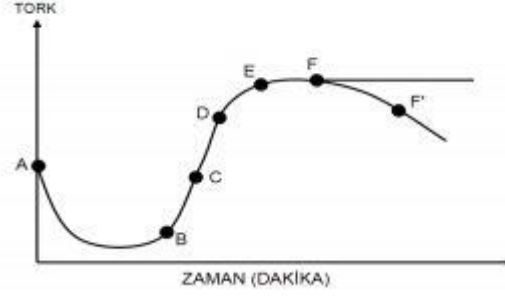
Rheometre testi hazırlanan hamur karışımının pişme karakteristiğini belirlemek için yapılmaktadır. Rheometre testleri ASTM D 5289 standartına uygun olarak yapılmıştır. Hazırlanan karışımdan  $5,8 \pm 0,1$  g tartılarak rheometre test cihazına yerleştirilir. Burada testimizin amacı hazırladığımız karışımın farklı sıcaklıklardaki davranışını belirlemek olduğu için rheometre testleri yırtılma numunelerinde hazırlanan sıcaklıklara uygun olarak hazırlanmıştır.

**Çizelge 3. 2.** Rheometre test numunelerinin sıcaklık ve süreleri

Sıcaklık	Süre				
150°C	8 dk	10 dk	12 dk	14 dk	16 dk
160°C	8 dk	10 dk	12 dk	14 dk	16 dk
170°C	8 dk	10 dk	12 dk	14 dk	16 dk
180°C	8 dk	10 dk	12 dk	14 dk	16 dk
190°C	8 dk	10 dk	12 dk	14 dk	16 dk

Burada her bir sıcaklık için farklı sürelerde 5 test yapılmıştır. Toplam 5 sıcaklık olduğu için  $5 \times 5 = 25$  adet rheometre testi yapılmıştır.

Hamur karışımının pişme yani vulkanizasyonu esnasında hamur önce sertleşir, sonra yumuşar, daha sonra tekrar sertleşir.

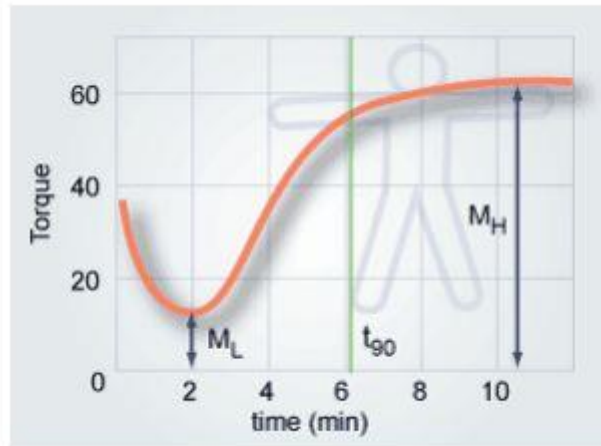


**Şekil 3. 3.** Vulkanizasyon eğrisi (Savran2001)

Bu grafikteki bölgelerde oluşan değişimler aşağıdaki gibidir.

- AB: Hamur yumuşar ve akışkandır. AB'nin uzunluğu çalışma emniyetini belirler.
- BC: Kükürt halkası açılır ve kauçuk polimeri ile etkileşim başlar
- CD: Açılan kükürt halkasındaki kükürtlerin çapraz bağlanmaya başladığı kısımdır. Eğrinin en önemli kısmıdır. Bu kısımdaki eğim ne kadar dikse vulkanizasyon da o kadar hızlıdır.
- DE: Vulkanizasyonun en uygun olduğu kısımdır.
- EF: Lastik hamuru sertleşmeye başlar.

Rheometre test parametreleri aşağıdaki şekilde gibidir.



**Şekil 3. 4.** Rheometre test parametreleri (Megep 2011)

**ML:** Testin yapıldığı sıcaklıktaki minimum viskozitedir. Bu nokta çapraz bağlanmanın başladığı noktadır.

**MH:** Tamamen pişmenin gerçekleştiği andaki viskozitedir. Buradavulkanizasyonişlemi tamamlanmıştır.

**ts<sub>2</sub>:**Kauçuk karışımının scorch süresidir. Scorch zamanı vulkanizasyona başlama zamanıdır. Scorch süresinin kısa olması kauçukta erken pişme problemine yol açar. Erken pişme problemi yaşandığında şekil stabilitesi azalır ve mekanik özelliklerde düşme görülür. Scorch süresinin uzun olması yetersiz pişmeye neden olur. Scorch süresinin uzun olması optimum pişme süresinin yeterince kısa olduğu durumlarda önemli değildir. Fakat **ts<sub>2</sub>** süresi uzun olan hamurların **t<sub>90</sub>** süreleri de uzundur.

**t<sub>90</sub>:** Buradaki **t<sub>90</sub>** değeri hamurun % 90'ının pişmesi için geçen süredir.%90 optimum pişme süresidir. Hamur vulkanizasyon yani pişme işleminin bu değere ulaşmadan bitmesi durumunda vulkanizasyon işlemi tamamlanmadan ürün çıkmış olur ve bu durum üründe şekil bozukluğuna ve mekanik özelliklerde düşmeye neden olur.

### 3.2.3. Vulkanizasyon test plakalarının hazırlanması

Kauçuk vulkanizasyon kalıbı 150x150x2 mm boyutlarında vulkanizasyon boşluklarından oluşan kalıptır. Yani vulkanizasyon sonrası elde edilen kauçuk ebatları 150x150x2 mm boyutlarındadır. Bu boyutlar ASTM D 3182 standartına uygun olarak belirlenmiştir.Bu işlemler Pega Otomotiv firmasında bulunan ASTM D 3182 standartına uygun olarak hazırlanmış numune kalıplarında vulkanize edilmiş numuneler hazırlanmıştır. Test plakasına koyulacak hamurun ağırlığı hesabı aşağıdaki gibi yapılır.

$$V=15 \times 15 \times 0,2=45 \text{ cm}^3$$

$$d=1,13 \text{ g / cm}^3$$

$m=d \times V=45 \times 1,13=50,85 \text{ g}$  fakat bu miktarda konulduğunda kalıbı tam dolduramama, kalıba eşit dağılmama problemleri görüldüğü için  $74 \pm 1 \text{ g}$  numune her vulkanizasyon işleminde kalıba yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 5. Vulkanizasyon test alt plakasının görünüşü



Şekil 3. 6. Vulkanize olmamış kauçuğun yoğunluğu

Burada yaklaşık olarak plaka boyutlarında 15x15 mm ebatlarında 2 adet hamur plakası kesilip birbirine yapıştırılmış ve bu plakalar vulkanizasyon için vulkanizasyon kalıbına yerleştirilmiştir. Ağırlıkları toplamı her vulkanizasyon plakasında  $74\pm 1$  g olarak değişmektedir.



**Şekil 3. 7.** Vulkanize edilecek kauçuk hamuru

Vulkanizasyon işlemini gerçekleştirmeden önce vulkanizasyon kalıp plakaları kalıp ayırıcı dökülerek temizlenir, herhangi bir kalıntı kalmaması sağlanır.



**Şekil 3. 8.**Kalıp plakasına kalıp ayırıcı dökülmesi

Kalıp ayırıcının k rlenmesi ve kalıba etki etmesi için alt ve üst plakaya kalıp ayırıcı uygulandıktan sonra kapatılıp vulkanizasyon presine yerleştirilir ve 1 dakika beklenir. Burada vulkanizasyon presinin sıcaklığı ile kalıp ayırıcının k rlenmesi sağlanmış olur. Bu işlem her vulkanizasyondan önce gerçekleştirilir.





**Şekil 3. 9.**Kalıp ayırıcı uygulanan plakaların vulkanizasyon presine kürlenme için yerleştirilmesi

Kürlenme işleminden sonra Şekil 3.2.3.3 numaralı fotoğrafta gösterilen  $74\pm 1$  g olan kauçuk hamuru vulkanizasyon kalıbına yerleştirilir.



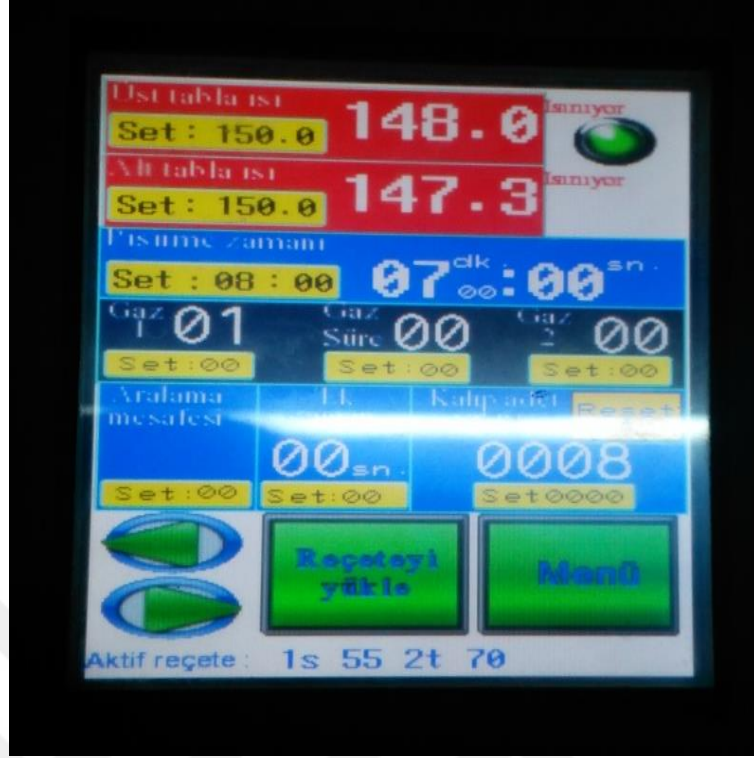
**Şekil 3. 10.**Kauçuk hamurun vulkanizasyon kalıbına yerleştirilmesi

Kauçuk hamuru kalıba yerleştirildikten sonra üst plaka kapatılır ve numune vulkanizasyon işlemine hazır hale gelir.



**Şekil 3. 11.** Vulkanizasyon işlemine hazır kauçuk hamuru

Vulkanizasyon işlemi hangi sıcaklık ve sürede yapılacaksa vulkanizasyon presinin otomasyonuna o sıcaklık ve süre değeri girilir.Vulkanizasyon presi otomatik konuma alınıp pres kapısı kapatıldıktan sonra aşağı düğmesine basıldığında vulkanizasyon işlemi başlamış olur.Aşağıdaki fotoğrafta 150°C-8 dk'da gerçekleştirilen vulkanizasyon işleminin görseli bulunmaktadır.



**Şekil 3. 12.** Vulkanizasyon sıcaklık ve süre panosunun görseli

Vulkanizasyon işleminden sonra vulkanize olmuş numune kalıp açıldığında kalıptan alınır ve vulkanizasyon işlemi tamamlanmış olur.



**Şekil 3. 13.** 150°C-8 dk'da vulkanize edilen numune görseli

Burada görüldüğü gibi numune üzerinde baloncuk baloncuk boşluklar bulunmaktadır. Bu durum vulkanizasyon parametrelerinin yeterli gelmediğini ve vulkanizasyonun optimum şekilde yapılmadığını göstermektedir. Son kısımda bu durum detaylı olarak anlatılacak ve tartışılacaktır.

**Çizelge 3. 3.** Vulkanizasyon test numunesinin sıcaklık ve süreleri

Sıcaklık	Süre				
150°C	8 dk	10 dk	12 dk	14 dk	16 dk
160°C	8 dk	10 dk	12 dk	14 dk	16 dk
170°C	8 dk	10 dk	12 dk	14 dk	16 dk
180°C	8 dk	10 dk	12 dk	14 dk	16 dk
190°C	8 dk	10 dk	12 dk	14 dk	16 dk

150°C-8 dk için hazırlanan vulkanizasyon kauçuk numuneleri 150°C-10 dk, 150°C-12 dk, 150°C-14 dk, 150°C-16 dk için de hazırlanmıştır. 150°C'den 190°C'ye kadar 5 farklı

sıcaklık değerleri olduğu ve her sıcaklık değerinde 5 farklı süre olduğu için  $5 \times 5 = 25$  adet vulkanizasyon numunesi hazırlanmış ve bu numunelerin vulkanizasyon işlemleri vulkanizasyon presinde yapılmıştır. Farklı sıcaklıklarda çekme ve yırtılma davranışlarını belirlemek için sıcaklık ve süreler yukarıda tanımlandığı gibi belirlenmiş ve kauçuğun yırtılma davranışını belirlemek için vulkanizasyon işleminin öncelikle yapılması gerektiğinden vulkanizasyon işlemleri yapılmıştır.



**Şekil 3. 14.** Vulkanizasyon işlemi yapılan numunelerden örnekler

#### **3.2.4. Vulkanize olmuş hamura yapılan testler**

Kopma-çekme testi

Kopma-çekme testi numunelerinin hazırlanması

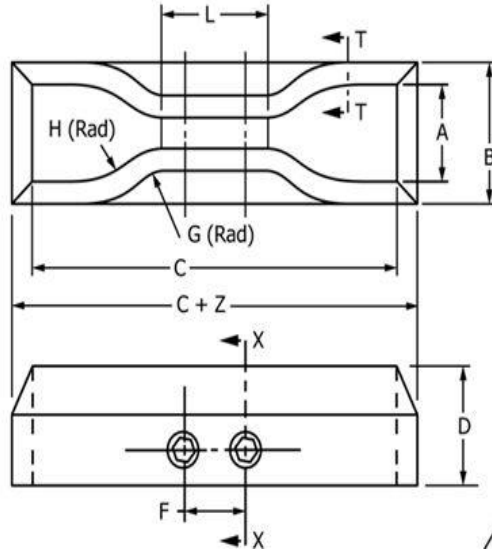
Kopma testi malzemeyi iki ucundan sıkıştırıp bir ucundan çekmek suretiyle boydaki değişimi ve bu değişimi sağlayan kuvvetin otomasyon sisteminden okunması ile yapılır. Burada bazı terimler vardır. Bunlar aşağıdaki gibidir.

Kopma mukavemeti: Malzemenin koptuğu gerilme büyüklüğüdür.

Kopma uzaması:Malzemenin koptuğu andaki boyun ilk boyuna oranıdır.Kısaca boydaki değişimdir.

Kopma-ekme testi Zwick/ Roell Z010 cihazı ile yapılmıştır.Kopma-ekme testleri ASTM D 412 standartına uygun olarak yapılmıştır. Test hızı  $500\pm 50$  mm/dk'dır.Testler ASTM D 412 standartında belirtildiği gibi  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de yapılmıştır.

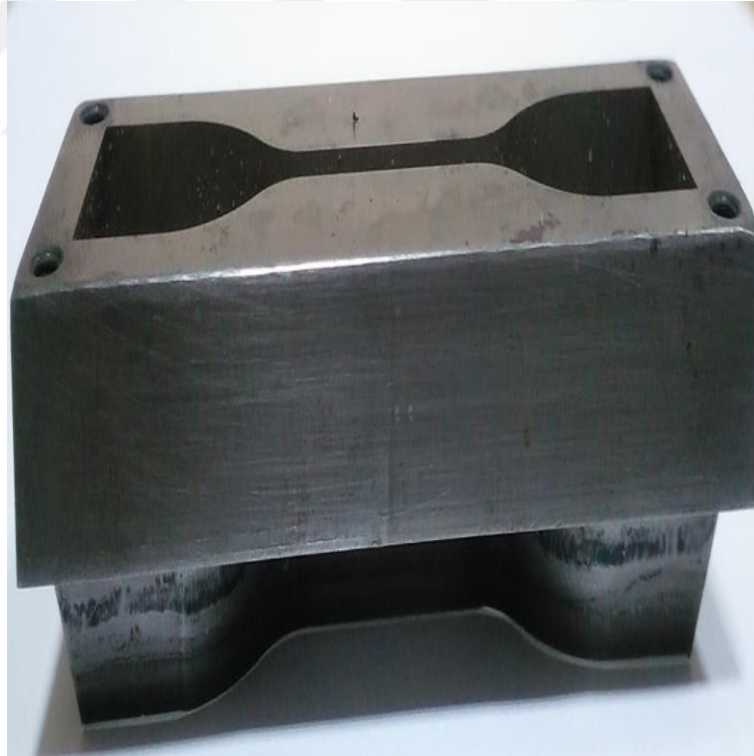
Testler ASTM D 412 standartına uygun olarak yapılmış test aparatında yapılmıştır.Test aparatı ASTM D 412 standartında belirtilen aparat boyutlarından A tip kalıba uygun olarak üretilmiştir.



**şekil 3. 15.** ekme-kopma test numunesi kesmek için standart aparat (ASTM D412-16 2017)

**Çizelge 3. 4.** Çekme-kopma aparatlarının boyutları (ASTM D412-16)

Boyut	Birim	Tolerans	Kalıp A	Kalıp B	Kalıp C	Kalıp D	Kalıp E	Kalıp F
A	mm	$\pm 1$	25	25	25	16	16	16
B	mm	max	40	40	40	30	30	30
C	mm	min	140	140	115	100	125	125
D	mm	$\pm 6^B$	32	32	32	32	32	32
D-E	mm	$\pm 1$	13	13	13	13	13	13
F	mm	$\pm 2$	38	38	19	19	38	38
G	mm	$\pm 1$	14	14	14	14	14	14
H	mm	$\pm 2$	25	25	25	16	16	16
L	mm	$\pm 2$	59	59	33	33	59	59
W	mm	+0.05, - 0.00	12	6	6	3	3	6
Z	mm	$\pm 1$	13	13	13	13	13	13



**Şekil 3. 16.** Çekme-kopma test aparatının görseli



Bu çalışmada 150°C'den 190°C'ye kadar 8 dk'dan başlayıp 16 dk'ya kadar 2 şer 2 şer artan sıcaklıklarda vulkanize edilen kauçuk numunelerinden çekme-kopma testi için ASTM D 412 standartına göre numuneler kesme presinde kesilmiş ve çekme testi için hazırlanmıştır. Toplam 25 adet test numunesi çekme-kopma testi için hazırlanmıştır.



**Şekil 3.17.**Kopma-çekme test numune görseli (Kasım H. 2018)

Kopma-çekme testinin yapılması

Burada yukarıda farklı sıcaklıklar için hazırlanan numuneler Zwick/ Roell Z010 makinesinde ASTM D 412 standartına göre yapılmıştır.



**Şekil 3. 18.** Çekme-kopma test makinesi ve çekme-kopma test numunesi

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi test numunesi alt ve üst noktadan sıkıştırılır. Test esnasında otomasyon veri alır ve verileri grafik olarak işler. Her bir test numunesi için sisteme bu veriler kaydedilir.

Her bir sıcaklık için testler bittikten sonra veriler excell grafiğine alındı ve 150°C’de farklı sürelerde olan numuneler değerlendirildi. Burada vulkanizasyon süresinin çekme-kopma üzerindeki etkisi araştırıldı. Bu işlemler 160°C, 170°C, 180°C ve 190°C için gerçekleştirildi. Daha sonra süreler sabit tutulup farklı sıcaklıklarda grafikler oluşturuldu ve sıcaklığın çekme-kopma üzerine etkisi araştırıldı.

Çekme testinin yapılmasının ana amacı vulkanize edilen malzemelerin mekanik dayanımlarının belirlenmesi ve yırtılma davranışını ile çekme-kopma test sonuçları arasındaki üzerinden yorumlanmasıdır.

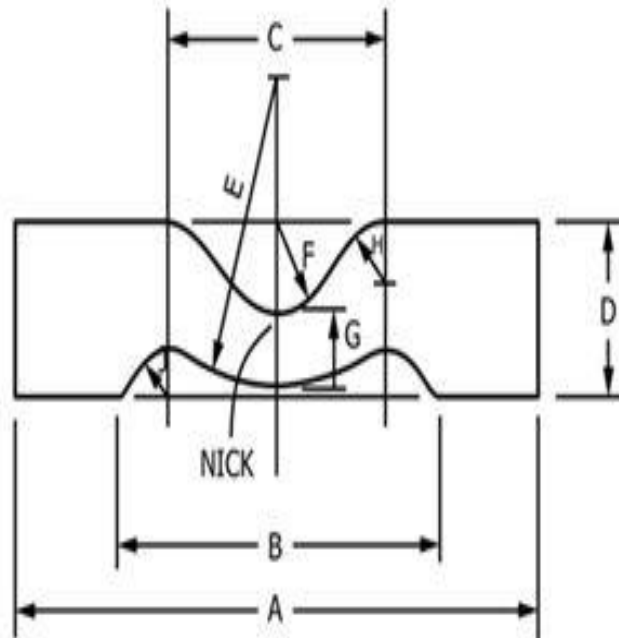
## Yırtılma testi

### Yırtılma test numunelerinin hazırlanması

Yırtılma testi Zwick/ Roell Z010 cihazı ile yapılmıştır. Yırtılma testleri ASTM D 624 standartına uygun olarak yapılmıştır. ASTM D 624 standardı vulkanize olmuş kauçuğun yırtılma davranışını belirlemek için hazırlanmıştır. Yırtılma testi esnasında ASTM D 624 standartında da belirtilen 3 farklı tipte yırtılma numunesi hazırlanmıştır. ASTM D 624 standartında geçen B tipi, C tipi ve T tipi yırtılma numuneleri hazırlanıp, bu hazırlanan numunelerin yırtılma testleri yapılmıştır.

### B tipi yırtılma test numunelerinin hazırlanması

Hilal şeklinde olan numunedir. Numune boyutları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Test hızı  $500 \pm 50$  mm/dk'dır. Testler ASTM D 624 standartında belirtildiği gibi  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de yapılmıştır.

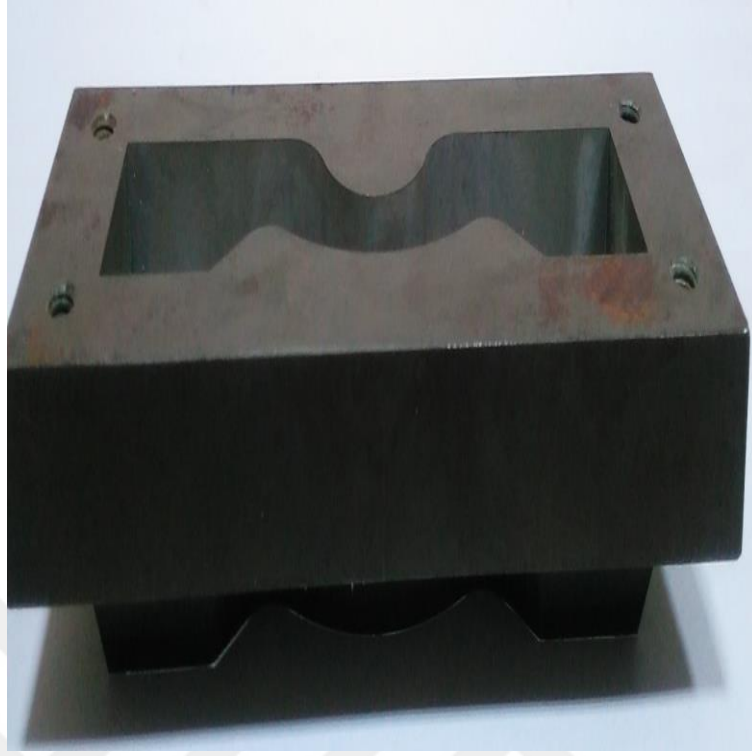


**Şekil 3. 19.** B tipi yırtılma test numunesinin standart boyutları (ASTM D624-0 2012)

**Çizelge 3. 5.B tipi yırtılma numunesinin boyutları (ASTM D624-0 2012)**

Boyut	Milimetre		İnç	
	Değer	Tolerans	Değer	Tolerans
A	110	±0.5	4.3	±0.02
B	68	±0.5	2.7	±0.02
C	45	±0.05	1.8	±0.002
D	25	±0.05	1	±0.002
E	43	±0.05	1.7	±0.002
F	12.5	±0.05	0.5	±0.002
G	10.2	±0.05	0.4	±0.002
H	9	±0.05	0.375	±0.002
J	7.5	±0.05	0.3	±0.002
Nick		±0.05	0.02	±0.002

Nick yani çentik oluşturmak için maket bıçağı ile istenen boyutta çentik 25 adet test numunesi için de yapılmıştır. Bu test parçasındaki kuvvet büyük ölçüde ana eksen (uzunluk) boyunca ve dik bir yönde hareket eder.



**Şekil 3. 20.** B tipi yırtılma numunesinin test aparatının görseli

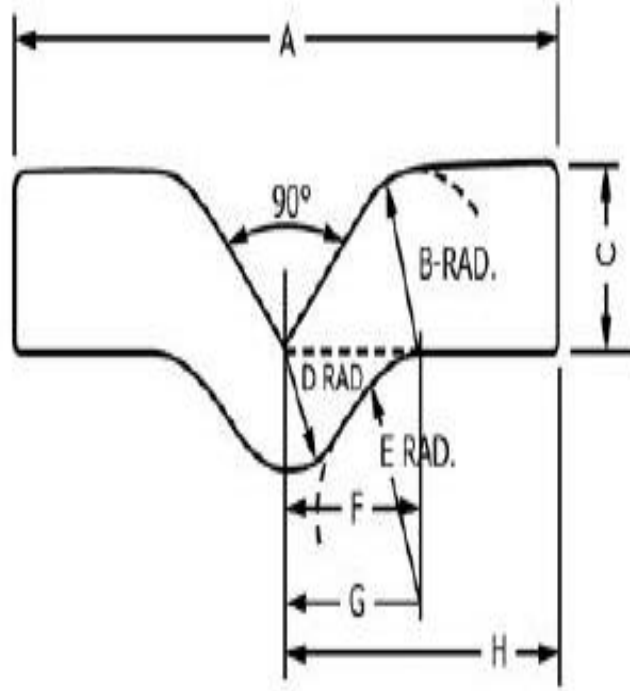
Bu çalışmada 150°C'den 190°C'ye kadar 8 dk'dan başlayıp 16 dk'ya kadar 2 şer 2 şer artan sıcaklıklarda vulkanize edilen kauçuk numunelerinden B tipi yırtılma testi için ASTM D 624 standartına göre numuneler kesme presinde kesilmiş ve yırtılma testi için hazırlanmıştır. Toplam 25 adet test numunesi B tipi yırtılma testi için hazırlanmıştır. Örnek olarak 150°C-10dk'da vulkanize edilen numuneden hazırlanan yırtılma test numunesinin görseli aşağıya eklenmiştir.



**Şekil 3. 21.** 150°C-10 dk'daki B tipi yırtılma test numunesi

C tipi yırtılma test numunelerinin hazırlanması

Bir tarafta 90 ° açılı ve çıkıntı uçlu, açılmamış bir numunedir. Numune boyutları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Test hızı 500±50 mm/dk'dır. Testler ASTM D 624 standartında belirtildiği gibi 23±2°C'de yapılmıştır.



**Şekil 3. 22.** C tipi yırtılma test numunesinin standart boyutları (ASTM D624-0 2012)

**Çizelge 3.6.** C tipi yırtılma numune boyutları ve toleransları (ASTM D624-0 2012'den değiştirilerek alınmıştır)

Boyut	Milimetre		İnç	
	Değer	Tolerans	Değer	Tolerans
A	102	±0.5	4	±0.02
B	19	±0.05	0.75	±0.002
C	19	±0.05	0.75	±0.002
D	12.7	±0.05	0.5	±0.002
E	25	±0.05	1	±0.002
F	27	±0.05	1.061	±0.002
G	28	±0.05	1.118	±0.002
H	51	±0.25	2	±0.01

Bu test parçasında kuvvet, uç üzerinde çıkıntı yapan uçlara büyük ölçüde paralel bir doğrultuda hareket eder.Yani orta kısmı kuvvetle birlikte gerilir ve uç kısım ile aynı hizaya gelir.C tipi, 90 ° tepe noktasında bulunan gerilme konsantrasyonunda yırtılma veya yırtılma başlatma kuvveti ölçülür. Eğer tepede yırtılma başlangıcı gerçekleşmezse, sonuçlar yırtılma gücünden daha fazla çekme dayanımının göstergesidir.



**Şekil 3. 23.** C tipi numunenin test aparatının görseli

Bu çalışmada 150°C'den 190°C'ye kadar 8 dk'dan başlayıp 16 dk'ya kadar 2 şer 2 şer artan sıcaklıklarda vulkanize edilen kauçuk numunelerinden C tipi yırtılma testi için ASTM D 624 standartına göre numuneler kesme presinde kesilmiş ve yırtılma testi için hazırlanmıştır. Toplam 25 adet test numunesi C tipi yırtılma testi için hazırlanmıştır. Örnek olarak 150°C- 12dk'da vulkanize edilen numuneden hazırlanan yırtılma test numunesinin görseli aşağıya eklenmiştir.

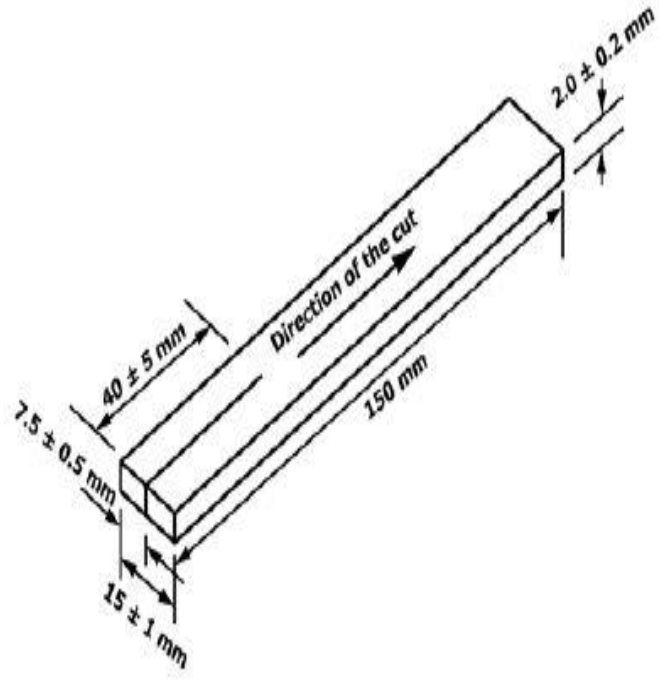




**Şekil 3. 24.** 150°C-12 dk'daki C tipi yırtılma test numunesi

T tipi yırtılma test numunelerinin hazırlanması

Pantolon tipinde olan numunedir. Numune boyutları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Test hızı  $50 \pm 5$  mm/dk'dır. Testler ASTM D 624 standartında belirtildiği gibi  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de yapılmıştır.



**Şekil 3. 25.** T tipi yırtılma test numunesi boyutları ve toleransları (ASTM D624-0 2012)

Tip T, her iki bacağına paralel bir yönde yırtılma ilerlemesini ölçer.

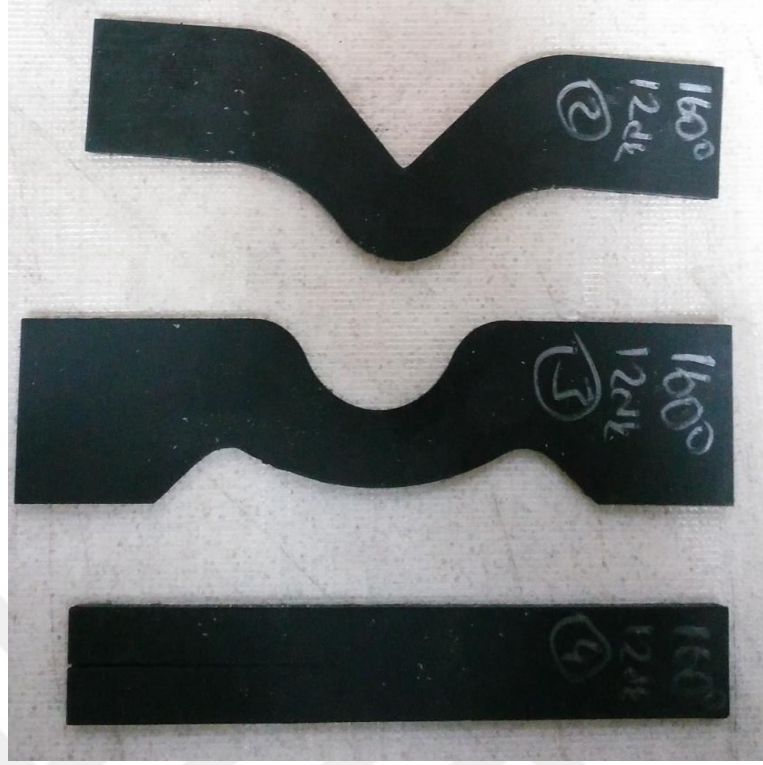


**Şekil 3. 26.T tipi numunenin test aparatının görseli**

Bu çalışmada 150°C'den 190°C'ye kadar 8 dk'dan başlayıp 16 dk'ya kadar 2 şer 2 şer artan sıcaklıklarda vulkanize edilen kauçuk numunelerinden T tipi yırtılma testi için ASTM D 624 standartına göre numuneler kesme presinde kesilmiş ve yırtılma testi için hazırlanmıştır. Toplam 25 adet test numunesi T tipi yırtılma testi için hazırlanmıştır. Örnek olarak 160°C-12dk'da vulkanize edilen numuneden hazırlanan yırtılma test numunesinin görseli aşağıya eklenmiştir.



**Şekil 3. 27.** 160°C-12 dk'daki T tipi yırtılma test numunesi



**Şekil 3. 28.** 3 tip yırtılma numunesi görseli

Vulkanize kauçuklar, yırtılma adı verilen özel bir yırtılma tipinin oluşması ve yayılması nedeniyle sıklıkla fonksiyonunu yerine getirememektedir. Bu test yöntemi yırtılma hareketine karşı kauçuk malzemenin direncini ölçer.

Yırtılma testlerinin yapılması

Burada yukarıda farklı sıcaklıklar için hazırlanan numuneler Zwick/ Roell Z010 makinesinde ASTM D 624 standartına göre yapılmıştır. Burada tutucu çeneler yırtılma numunelerine uygun olarak makine üzerinde değiştirilmiş ve bu çenelerle testler yapılmıştır.



**Şekil 3. 29.** Yırılma test makinesi ve yırılma test numunesi

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi test numunesi alt ve üst noktadan sıkıştırılır. Test esnasında otomasyon veri alır ve verileri grafik olarak işler. Her bir test numunesi için sisteme bu veriler kaydedilir.

Her bir sıcaklık için testler bittikten sonra veriler excell grafiğine alındı ve 150°C’de farklı sürelerde olan numuneler değerlendirildi. Burada vulkanizasyon süresinin 3 farklı yırılma test numunesi üzerindeki etkisi araştırıldı. Bu işlemler 160°C, 170°C, 180°C ve 190°C için gerçekleştirildi. Daha sonra süreler sabit tutulup farklı sıcaklıklarda grafikler oluşturuldu ve sıcaklığın yırılma üzerine etkisi araştırıldı.

3 ayrı yırılma test numunesi oluşturulduğu ve önceki bölümlerde belirtilen sıcaklıklarda ve sürelerde hazırlanan bu numunelerin testleri yapıldığı için yırılma testinde toplam 75 adet numunenin yırılma testi yapılmış, test sonucunda gerilme-elongation grafikleri oluşturulmuştur.

#### 4. BULGULAR (BULGULAR ve TARTIŞMA)

Bu çalışmada vulkanizasyon sıcaklığı ve süresinin belirlenen kauçuğun yırtılma davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Burada pişirici sistem olarak kükürt kullanılmıştır. Kauçuk hamur aşamasında rheometre testleri yapılmıştır. Vulkanize olmuş hamura kopma-çekme, yırtılma testleri yapılmıştır.

##### 4.1. Kauçuk Hamur Aşamasında Yapılan Test Sonuçları

Rheometre test sonuçları

Rheometre testi kauçuk endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Rheometre testleri hamur karışımlarının pişme karakteristiğini belirlemek için yapılmaktadır.

**Çizelge 4. 1.** 150°C’de farklı sürelerdeki rheometre test sonuçları

Sıcaklık-Süre	M <sub>H</sub> (dNm)	M <sub>L</sub> (dNm)	t <sub>90</sub>	ts <sub>2</sub>
150°C-8 dk	7,92	2,01	7,35	6,05
150°C-10 dk	9,93	1,98	8,59	5,57
150°C-12 dk	10,84	2	10,17	6,08
150°C-14 dk	10,62	1,94	10,24	6,22
150°C-16 dk	11,52	1,94	12,17	6,26

**Çizelge 4. 2.** 160°C’de farklı sürelerdeki rheometre test sonuçları

Sıcaklık-Süre	M <sub>H</sub> (dNm)	M <sub>L</sub> (dNm)	t <sub>90</sub>	ts <sub>2</sub>
160°C-8 dk	11,25	1,87	6,16	3,18
160°C-10 dk	11,64	1,86	6,53	3,18
160°C-12 dk	11,81	1,9	6,58	3,2
160°C-14 dk	11,93	1,92	7,02	3,21
160°C-16 dk	11,93	1,93	6,51	3,17

**Çizelge 4. 3.** 170°C’de farklı sürelerdeki rheometre test sonuçları

Sıcaklık-Süre	M <sub>H</sub> (Ndm)	M <sub>L</sub> (Ndm)	t <sub>90</sub>	ts <sub>2</sub>
170°C-8 dk	10,94	1,84	3,4	1,47
170°C-10 dk	11,19	1,8	3,42	1,46
170°C-12 dk	11,15	1,8	3,39	1,46
170°C-14 dk	11,28	1,82	3,4	1,45
170°C-16 dk	11,24	1,8	3,37	1,45

**Çizelge 4. 4.** 180°C’de farklı sürelerdeki rheometre test sonuçları

Sıcaklık-Süre	M <sub>H</sub> (Ndm)	M <sub>L</sub> (Ndm)	t <sub>90</sub>	ts <sub>2</sub>
180°C-8 dk	11,09	1,85	2,03	1,02
180°C-10 dk	11,25	1,87	2,04	1,04
180°C-12 dk	10,76	1,84	2	1,03
180°C-14 dk	10,78	1,83	2,01	1,03
180°C-16 dk	11,12	1,84	2,04	1,04

**Çizelge 4. 5.** 190°C’de farklı sürelerdeki rheometre test sonuçları

Sıcaklık-Süre	M <sub>H</sub> (Ndm)	M <sub>L</sub> (Ndm)	t <sub>90</sub>	ts <sub>2</sub>
190°C-8 dk	10,8	1,85	1,16	0,41
190°C-10 dk	10,72	1,88	1,17	0,42
190°C-12 dk	10,2	1,83	1,14	0,41
190°C-14 dk	10,66	1,83	1,16	0,41
190°C-16 dk	10,7	1,85	1,16	0,41

**Çizelge 4. 6.** 8 dk’da farklı sıcaklıklardaki rheometre test sonuçları

Süre-Sıcaklık	M <sub>H</sub> (Ndm)	M <sub>L</sub> (Ndm)	t <sub>90</sub>	ts <sub>2</sub>
8 dk-150°C	7,92	2,01	7,35	6,05
8 dk-160°C	11,25	1,87	6,15	3,18
8 dk-170°C	10,94	1,84	3,4	1,47
8 dk-180°C	11,09	1,85	2,03	1,02
8 dk-190°C	10,8	1,85	1,16	0,41



**Çizelge 4. 7.** 10 dk'da farklı sıcaklıklardaki rheometre test sonuçları

Süre-Sıcaklık	M <sub>H</sub> (Ndm)	M <sub>L</sub> (Ndm)	t <sub>90</sub>	ts <sub>2</sub>
10 dk-150°C	9,93	1,98	8,59	5,57
10 dk-160°C	11,64	1,86	6,53	3,18
10 dk-170°C	11,19	1,8	3,42	1,46
10 dk-180°C	11,25	1,87	2,04	1,04
10 dk-190°C	10,72	1,88	1,17	0,42

**Çizelge 4. 8.** 12 dk'da farklı sıcaklıklardaki rheometre test sonuçları

Süre-Sıcaklık	M <sub>H</sub> (Ndm)	M <sub>L</sub> (Ndm)	t <sub>90</sub>	ts <sub>2</sub>
12 dk-150°C	10,84	2	10,17	6,08
12 dk-160°C	11,81	1,9	6,58	3,2
12 dk-170°C	11,15	1,8	3,39	1,46
12 dk-180°C	10,76	1,84	2	1,03
12 dk-190°C	10,2	1,83	1,14	0,41

**Çizelge 4. 9.** 14 dk'da farklı sıcaklıklardaki rheometre test sonuçları

Süre-Sıcaklık	M <sub>H</sub> (Ndm)	M <sub>L</sub> (Ndm)	t <sub>90</sub>	ts <sub>2</sub>
14 dk-150°C	10,62	1,94	10,24	6,22
14 dk-160°C	11,93	1,92	7,02	3,21
14 dk-170°C	11,28	1,82	3,4	1,45
14 dk-180°C	10,78	1,83	2,01	1,03
14 dk-190°C	10,66	1,83	1,16	0,41

**Çizelge 4. 10.** 16 dk'da farklı sıcaklıklardaki rheometre test sonuçları

Süre-Sıcaklık	M <sub>H</sub> (Ndm)	M <sub>L</sub> (Ndm)	t <sub>90</sub>	ts <sub>2</sub>
16 dk-150°C	11,62	1,94	12,17	6,26
16 dk-160°C	11,93	1,93	6,51	3,17
16 dk-170°C	11,24	1,8	3,37	1,45
16 dk-180°C	11,12	1,84	2,04	1,04
16 dk-190°C	10,7	1,85	1,16	0,41

Rheometre testlerinde değerlendirdiğim parametreler scorch süresi( $t_{s2}$ ), optimum pişme süresi( $t_{90}$ ), minimum tork( $M_L$ ), maksimum tork( $M_H$ )'tur.

Rheometre test sonuçları değerlendirildiğinde aynı süre içerisinde farklı sıcaklıklarda yapılan vulkanizasyon işlemlerinde sıcaklık arttıkça  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerleri azalmaktadır. Bu durum sıcaklığın etkisini ve dolgunun derişiminin kavurma(scorch time) süresine etkisini gösterir. Bu durum etkisini çekme-kopma ve yırtılma değerlerinde de gösterdiği ileriki bölümlerde değerlendirilecek ve çekme-kopma dayanımı ile yırtılma dayanım sonuçları detaylı anlatılacaktır. Kavurma (Scorch time) süresinin NR için sıcaklığa bağlı olarak bir azalma eğilimi gösterdiği ve bu eğilimin karbon siyahı için de geçerli olduğu ortaya çıkmıştır.

Vulkanizasyon reaksiyonunun, dolgu maddelerinin varlığında hızlandırıldığı gözlenebilir. Bu sonuçlar, karbon siyahlarının NR 'nin pişmesi üzerindeki vulkanize edici etkisinin daha güçlü bir göstergesidir ve karbon siyahları çapraz bağlama reaksiyonunu hızlandırarak optimum pişme süresini kısaltmaktadır.

Tablolarda görüldüğu gibi tersine çevrilme denen bir durum gözlenmektedir. Bu durum maksimum viskozite değerinden anlaşılmaktadır.  $M_H$  değeri bir optimumdan geçmekte ve daha sonra azalmaktadır.  $M_H$  değeri viskoziteyi vermektedir. Tablolarda gözlenen tersine çevrilmenin iki sebebi bulunmaktadır. Bunlardan ilki vulkanizasyon süresi optimum değeri aştığında vulkanizatların fiziksel özelliklerinin bozulmasına yol açan pişme aşamasında oluşan bazı kararsız polisülfür bağlarının parçalanmasıdır.

Tersine çevrilme davranışına sebep olan diğer bir durum ise, NR'deki izomerik birimlerin, cis izomerine kıyasla daha düşük tersine çevrilme direncine sahip olan trans yapılarına dönüşümünün arttırılmasından kaynaklanmaktadır.

$M_H$  değeri için,

Numunelerin vulkanizasyon eğrilerindeki tork değerleri doğrudan kauçuk ağının çapraz bağlanma yoğunluğu ile ilgilidir. Bağ yoğunluğu ne kadar fazla olursa  $M_H$  değeri o

kadar artmaktadır. Fakat yukarıda anlatılan tersine çevrilme davranışı meydana geldiğinde oluşan çapraz polisülfür bağları koptuğundan  $M_H$  değeri düşmektedir.

$M_H$  değeri elastik olarak aktif çapraz bağların oluşumu ile maksimum değere ulaşana kadar orantılı olarak rheometre testi süresince artar.

$M_L$  değeri için,

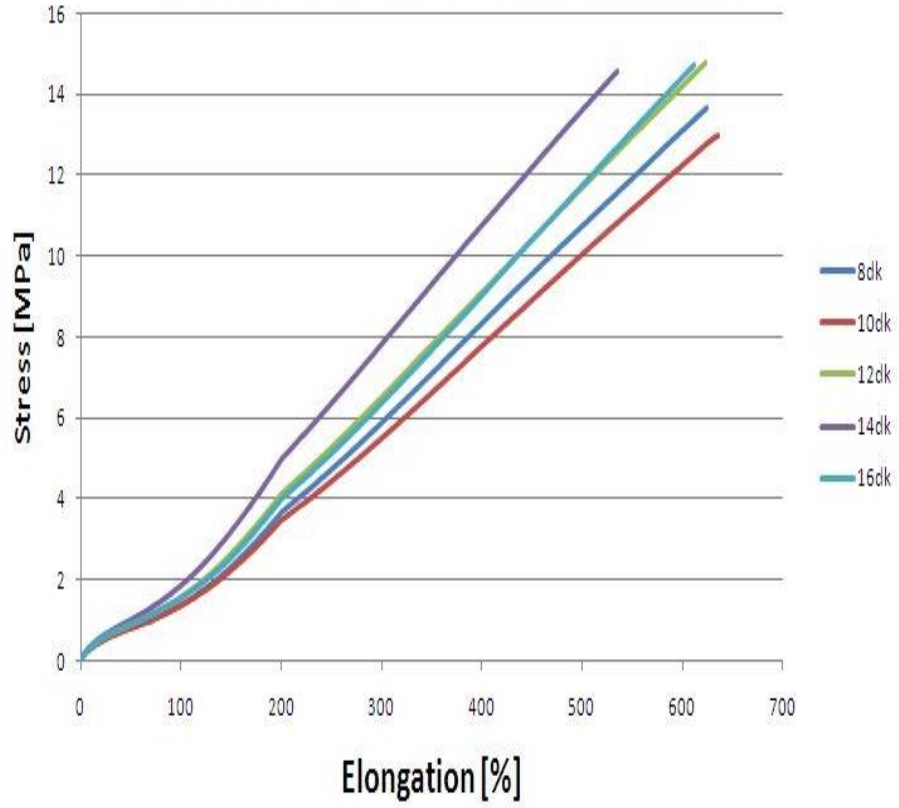
Fiziksel olarak anlamlı bazı parametreler, kauçuk kompozitlerin mikro yapısal özelliklerini tarif etmek için rheometre eğrilerinden çıkarılabilir. Rheometre eğrisinden sıcaklık ve sürenin minimum tork değeri üzerindeki etkisini okuyabiliriz.  $M_L$ , vulkanizasyon reaksiyonunun başlamadığı andaki numunelerin tork değerini gösterir.  $M_L$  değeri sıcaklıkla hafifçe düşer.

## **4.2. Vulkanize Olmuş Hamura Yapılan Test Sonuçları**

### **4.2.1. Kopma-çekme test sonuçları**

Burada kopma-çekme test sonuçları gerilme-elongation grafikleri olarak her bir süre ve sıcaklık için paylaşılacak ve aynı elongation değerlerindeki gerilme davranışı anlatılacaktır. Buradaki amaç malzemenin fiziksel dayanımının ölçülmesidir.

### 150°C'de Farklı Sürelerdeki Kopma Grafikleri



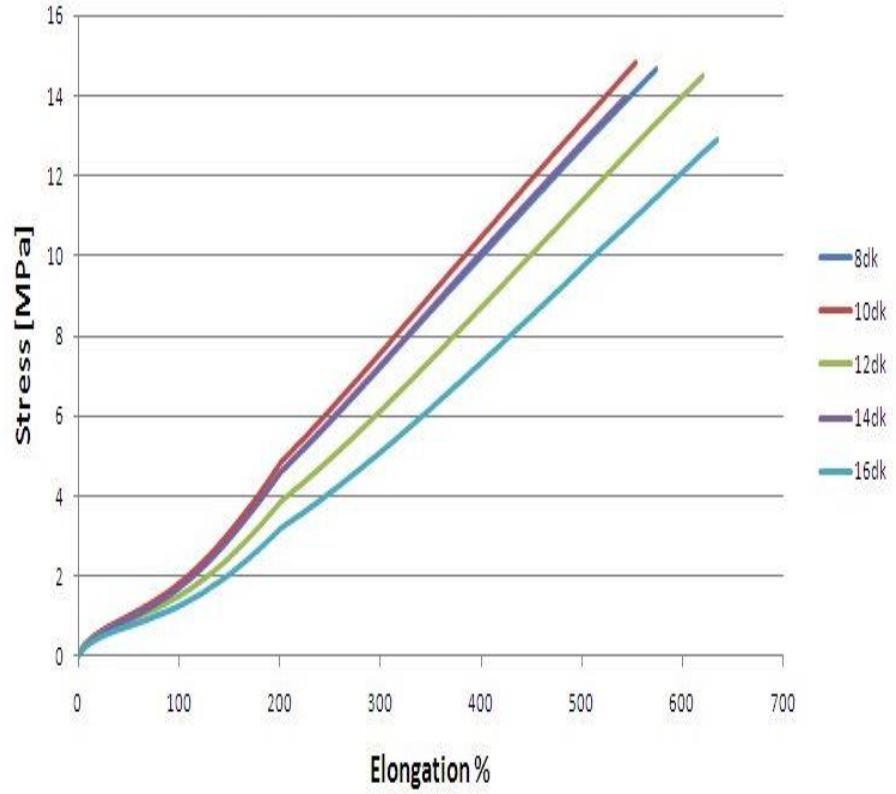
Şekil 4. 1. 150°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test grafikleri

Çizelge 4. 11.150°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test sonuçları

Sıcaklık- Süre	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}(\%)$	$\sigma_{100}(\text{Mpa})$	$\sigma_{200}(\text{Mpa})$	$\sigma_{300}(\text{Mpa})$	$\sigma_{500}(\text{Mpa})$
150°C- 8 dk	13,6	624,2	1,4	3,7	5,9	10,7
150°C- 10 dk	13	635,9	1,4	3,5	5,5	10
150°C- 12 dk	14,8	623,6	1,6	4,1	6,5	11,7
150°C- 14 dk	14,5	535,1	1,9	5	7,8	13,6
150°C- 16 dk	14,7	612,4	1,6	4	6,4	11,7

150°C'de 14.dk'ya kadar artan süre ile birlikte %300 ve %500 uzama değerlerine karşılık gelen gerilme değerlerinde artış meydana gelmiştir. Burada doğru değerlendirme yapabilme için rheometre test sonuçları yani pişme karakteristikleri ile birlikte ele alınacaktır. %300 ve %500 uzama değerlerindeki gerilme değerleri incelendiğinde 14.dk'ya kadar artan süreyle orantılı olarak gerilme değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi artan pişme süresiyle birlikte çapraz bağlanmanın daha çok gerçekleşmesidir. Bu durumu  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerlerindeki artıştan da görmekteyiz.  $t_{90}$  değerleri sırasıyla 7,35 dk, 8,59 dk, 10,17 dk ve 10,24 dk olarak artış göstermiştir. Burada istisna oluşturan durum 150°C-10 dk'dır. Genel eğilim artış yönündedir fakat 150°C-10 dk'da azalış meydana gelmiştir. Bu durum kauçuk reçetelerinde dolgu malzemesinin topaklanması, homojen dağılmaması, ya da diğer kimyasalların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasından dolayı değişiklik gösterir. 16.dk'da %300 ve %500 uzama değerleri incelendiğinde 14. dk'ya göre gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji artan süre nedeniyle kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde düşme meydana gelmiştir.

### 160°C'de Farklı Sürelerdeki Kopma Grafikleri

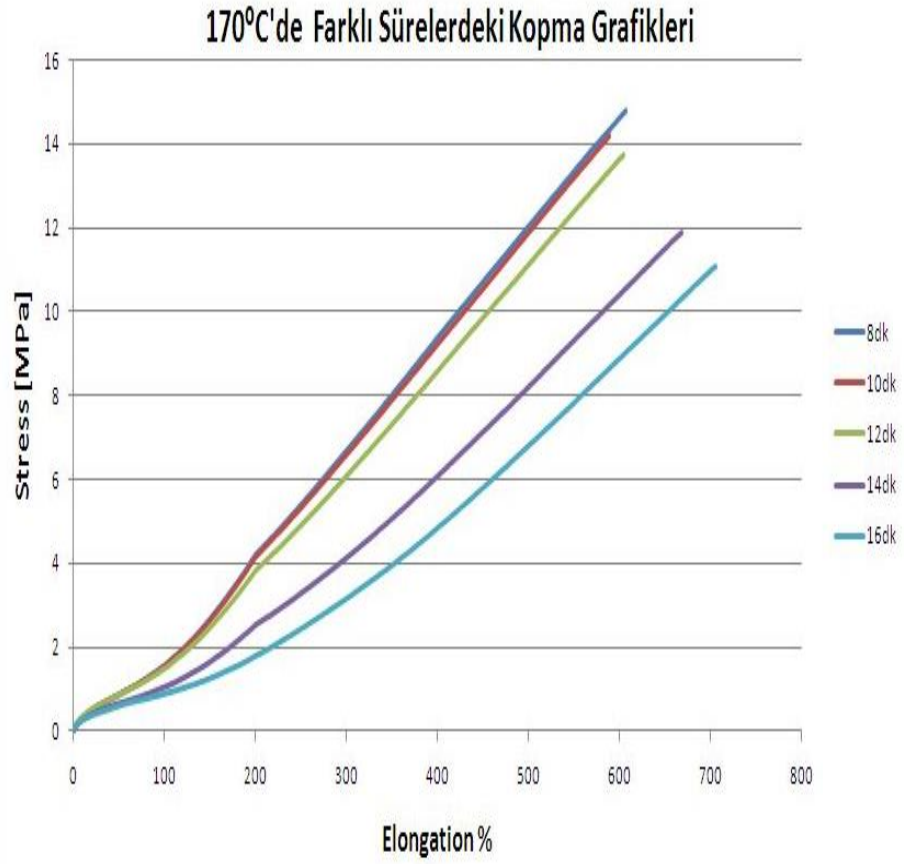


Şekil 4. 2. 160°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test grafikleri

Çizelge 4. 12.160°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test sonuçları

Sıcaklık- Süre	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}(\%)$	$\sigma_{100}(\text{Mpa})$	$\sigma_{200}(\text{Mpa})$	$\sigma_{300}(\text{Mpa})$	$\sigma_{500}(\text{Mpa})$
160°C- 8 dk	14,6	574,3	1,7	4,6	7,2	12,7
160°C- 10 dk	14,8	553,2	1,8	4,8	7,6	13,3
160°C- 12 dk	14,5	620,2	1,5	3,8	6,1	11,3
160°C- 14 dk	13,9	543,3	1,7	4,6	7,3	12,8
160°C- 16 dk	12,9	634,6	1,3	3,2	5,1	9,71

Burada 160°C-10 dk'da en iyi sonucun elde edildiği durum olarak gerçekleşmiştir.10.dk'dan itibaren %300 ve %500 uzama değerleri incelendiğinde gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir. 160°C-14 dk'da 12 dk baz alındığında %300 ve %500 uzama değerlerinde gerilme değerlerinde düşme beklenirken artış gözlenmiştir.Bu durum kauçuk reçetelerinde dolgu malzemesinin topaklanması, homojen dağılmaması yada diğer kimyasalların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasından dolayı değişiklik gösterir ve azalması gereken durumda artış yaşanır.



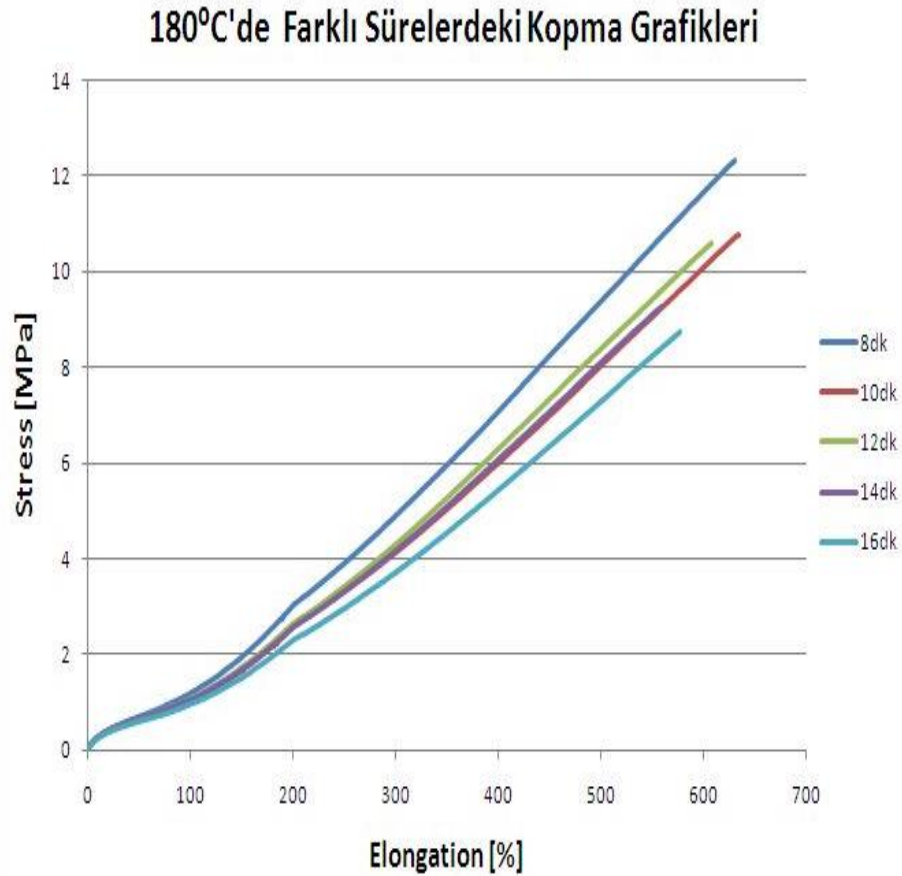
**Şekil 4. 3.** 170°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 13.**170°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}(\%)$	$\sigma_{100}(\text{Mpa})$	$\sigma_{200}(\text{Mpa})$	$\sigma_{300}(\text{Mpa})$	$\sigma_{500}(\text{Mpa})$
170°C-8 dk	14,8	607,3	1,6	4,2	6,7	12
170°C-10 dk	14,2	589,4	1,6	4,1	6,6	11,8
170°C-12 dk	13,8	605,1	1,5	3,8	6,1	11,1
170°C-14 dk	11,9	669	1,1	2,5	4,1	8,2
170°C-16 dk	11,1	706,2	0,9	1,8	3,1	6,8



Yukarıdaki 170°C'de farklı sürelerdeki kopma grafiğine bakıldığında gerilme ve elongation değerlerine bakıldığında her bir sürenin artışında gerilme değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Burada 8 dk ve 10 dk'daki değerler birbirine çok yakın olduğundan iki sürede kauçuk numunesine verilen enerjinin malzemenin çekme dayanımına etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. %300 ve %500 uzama değerleri incelendiğinde gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir.

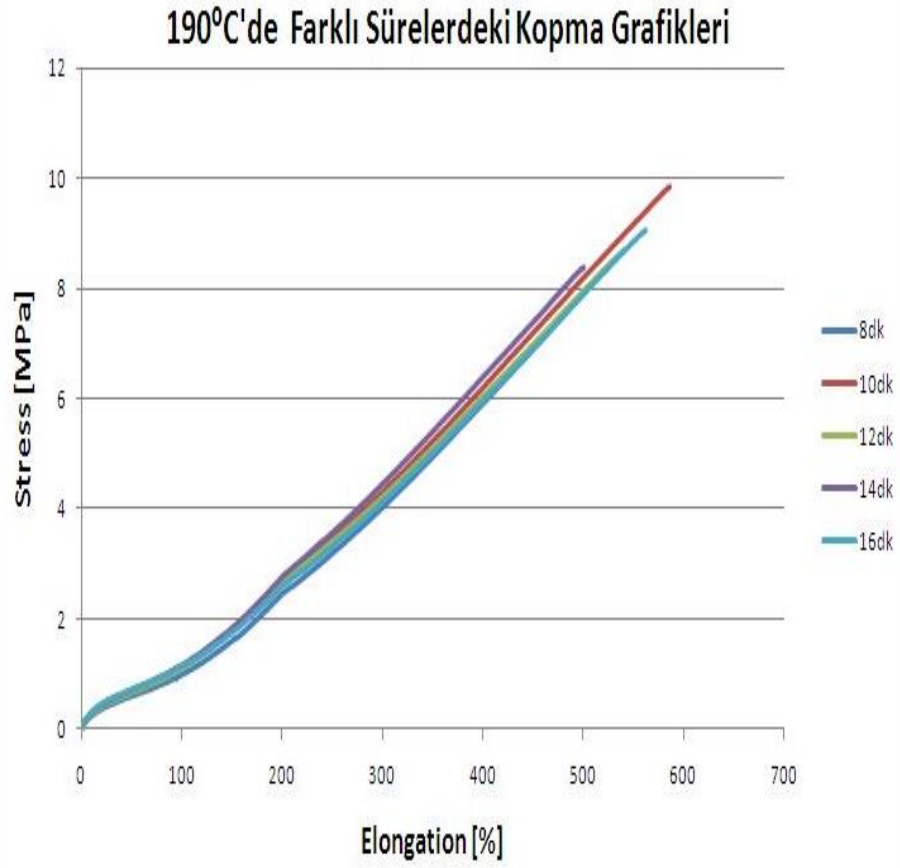


**Şekil 4. 4.** 180°C'de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 14.180°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test sonuçları**

Sıcaklık- Süre	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}(\%)$	$\sigma_{100}(\text{Mpa})$	$\sigma_{200}(\text{Mpa})$	$\sigma_{300}(\text{Mpa})$	$\sigma_{500}(\text{Mpa})$
180°C- 8 dk	12,3	629,9	1,2	3	4,9	9,4
180°C- 10 dk	10,7	634,5	1,1	2,6	4,1	8
180°C- 12 dk	10,6	607,6	1,1	2,7	4,3	8,4
180°C- 14 dk	9,3	558,9	1,1	2,6	4,2	8,1
180°C- 16 dk	8,8	577,7	1	2,3	3,7	7,3

Bu sıcaklıktan itibaren artık artan sürenin bir önemi kalmamıştır. Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuş ve artık mekanik özellikler sabit kalmıştır. Rheometre testlerindeki  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerlerinin arasındaki farklar 0,01 dk civarındadır. Bu durum sıcaklığın yüksekliği nedeniyle kauçuk karışımının çok erken piştiğini yani kavrulma meydana geldiğini gösterir.

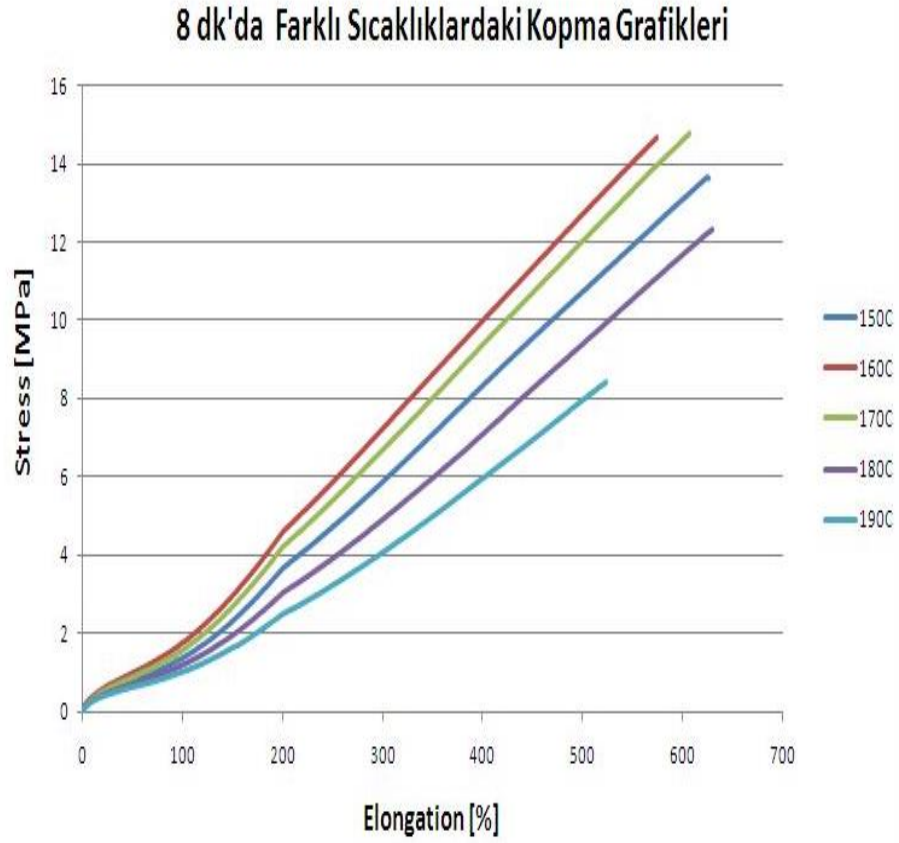


**Şekil 4. 5.** 190°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 15.**190°C’de farklı sürelerdeki gerilme-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)	$\sigma_{500}$ (Mpa)
190°C- 8 dk	8,4	524,4	1	2,5	4	7,9
190°C- 10 dk	9,8	586,7	1,1	2,7	4,3	8,2
190°C- 12 dk	8,7	540,6	1,1	2,7	4,2	8
190°C- 14 dk	8,4	500,1	1,1	2,8	4,5	8,4
190°C- 16 dk	9	562,7	1,1	2,6	4,1	7,8

180°C'deki durum 190°C'de daha belirgin olarak gözükmemektedir. Grafikten görüldüğü gibi süre artışının etkisinin olmadığı ve grafiklerin birbirinin kopyası olduğu görülmektedir. Bu sıcaklıktan itibaren artık artan sürenin bir önemi kalmamıştır. Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuş ve artık mekanik özellikler sabit kalmıştır. Rheometre testlerindeki  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerlerinin arasındaki farklar 0,01 dk civarındadır hatta  $t_{s2}$  değerleri 10 dk hariç 0,41 dk'da sabit olarak kalmıştır. Bu durum sıcaklığın yüksekliği nedeniyle kauçuk karışımının çok erken piştiğini yani kavrulma meydana geldiğini gösterir.

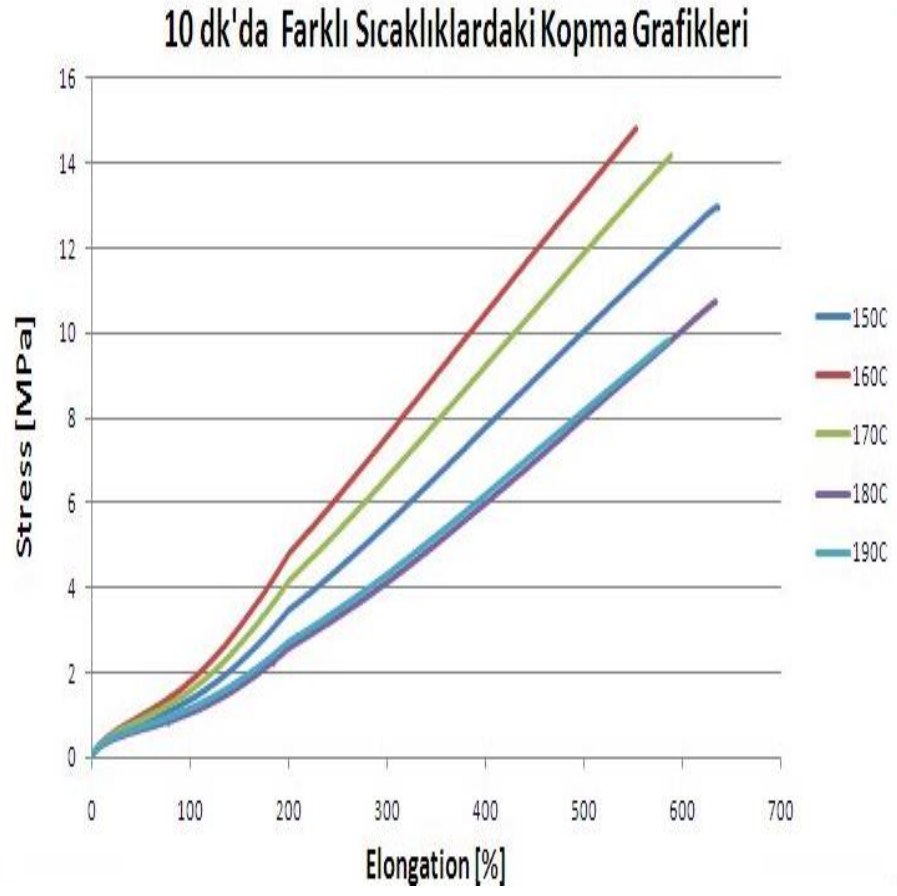


**Şekil 4. 6.** 8 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 16.8 dk'dafarklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları**

Süre- Sıcaklık	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)	$\sigma_{500}$ (Mpa)
8 dk- 150°C	13,6	624,2	1,4	3,7	5,9	10,7
8 dk- 160°C	14,6	574,3	1,7	4,6	7,2	12,7
8 dk- 170°C	14,8	607,3	1,6	4,2	6,7	12
8 dk- 180°C	12,3	629,9	1,2	3	4,9	9,4
8 dk- 190°C	8,4	524,4	1	2,5	4	7,9

Burada sıcaklığın etkisi bariz olarak belli olmaktadır. %300 ve % 500 uzama değerleri baz alındığında 8 dk için 150°C için vulkanizasyon tam olarak gerçekleşmediği çapraz bağların oluşmadığı gözlenmektedir. Bu durumu  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerlerinden görebiliriz. 150°C'yi 160°C ile kıyasladığımızda sıcaklığın az olması nedeniyle 150°C'deki  $t_{s2}$  değeri 2,87 dk daha uzun,  $t_{90}$  değeri 1,2 dk daha uzun sürmüştür. Çapraz bağlanma tamamlanmadan vulkanizasyon işlemi kesildiğinden gerilme değerleri düşük çıkmıştır. %300 ve %500 uzama değerleri incelendiğinde artan sıcaklığın büyük etkisiyle 160°C'den itibaren gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Örnek olarak 170°C'deki gerilme değeri 180°C'deki gerilme değerinden %21,7 daha büyüktür. Artan sıcaklıkla birlikte 170°C ile 180°C'deki gerilme değerleri arasındaki fark %21,7'dir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir. Bu durumu rheometre test sonuçlarında da görmekteyiz. Artan sıcaklıkla birlikte  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerleri hızlı bir azalış göstermiştir.



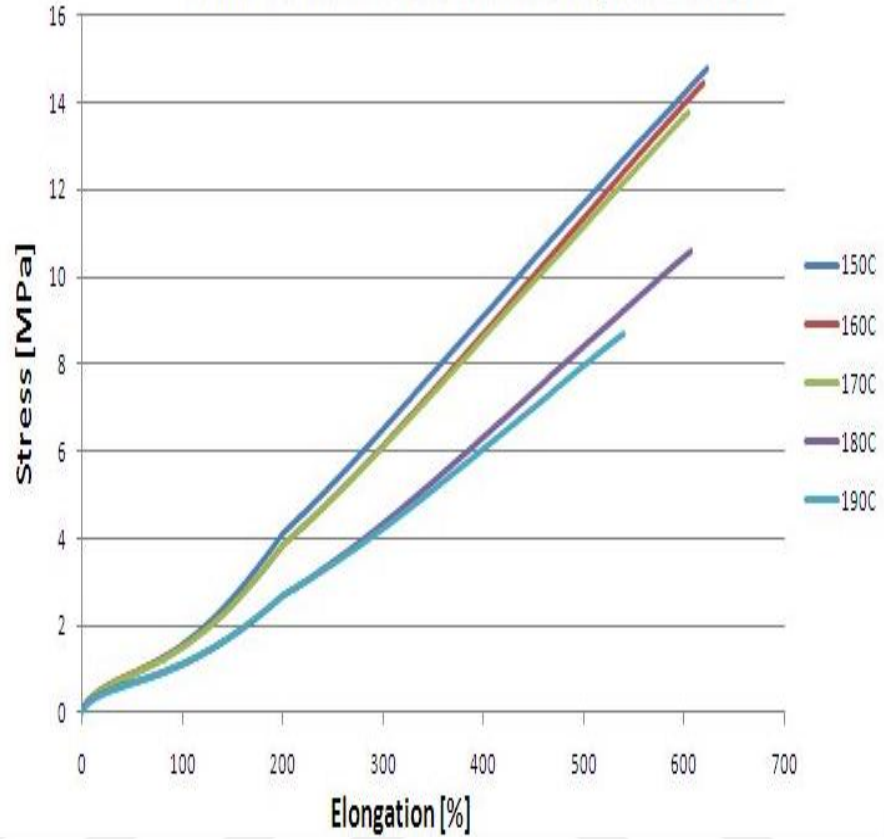
Şekil 4.7. 10 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 17.10 dk'dafarklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları**

Süre- Sıcaklık	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)	$\sigma_{500}$ (Mpa)
10 dk- 150°C	13	635,9	1,4	3,5	5,5	10
10 dk- 160°C	14,8	553,2	1,8	4,8	7,6	13,3
10 dk- 170°C	14,2	589,4	1,6	4,1	6,6	11,8
10 dk- 180°C	10,7	634,5	1,1	2,6	4,1	8
10 dk- 190°C	9,8	586,2	1,1	2,7	4,3	8,2

Burada da 8 dk'daki durumla aynı şekilde gerçekleşmiş ve artan sıcaklıkla malzemenin mekanik özelliklerinde azalmalar meydana gelmiştir. %300 ve % 500 uzama değerleri baz alındığında 10 dk'da 150°C için vulkanizasyon tam olarak gerçekleşmediği çapraz bağların oluşmadığı gözlenmektedir. Bu durumu  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerlerinden görebiliriz. Çapraz bağlanma tamamlanmadan vulkanizasyon işlemi kesildiğinden gerilme değerleri düşük çıkmıştır. %300 ve %500 uzama değerleri incelendiğinde artan sıcaklığın büyük etkisiyle 160°C'den itibaren gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bu durumu rheometre test sonuçlarında da görmekteyiz. Artan sıcaklıkla birlikte  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerleri hızlı bir azalış göstermiştir. Artan sıcaklıkla birlikte daha fazla enerji kauçuğa iletildiğinden çapraz bağlanma çok hızlı gerçekleşmiştir. Bütün test sonuçları arasında en iyi çekme-kopma gerilmesi 160°C-10 dk'da gözlenmiştir.

### 12 dk'da Farklı Sıcaklıklardaki Kopma Grafikleri



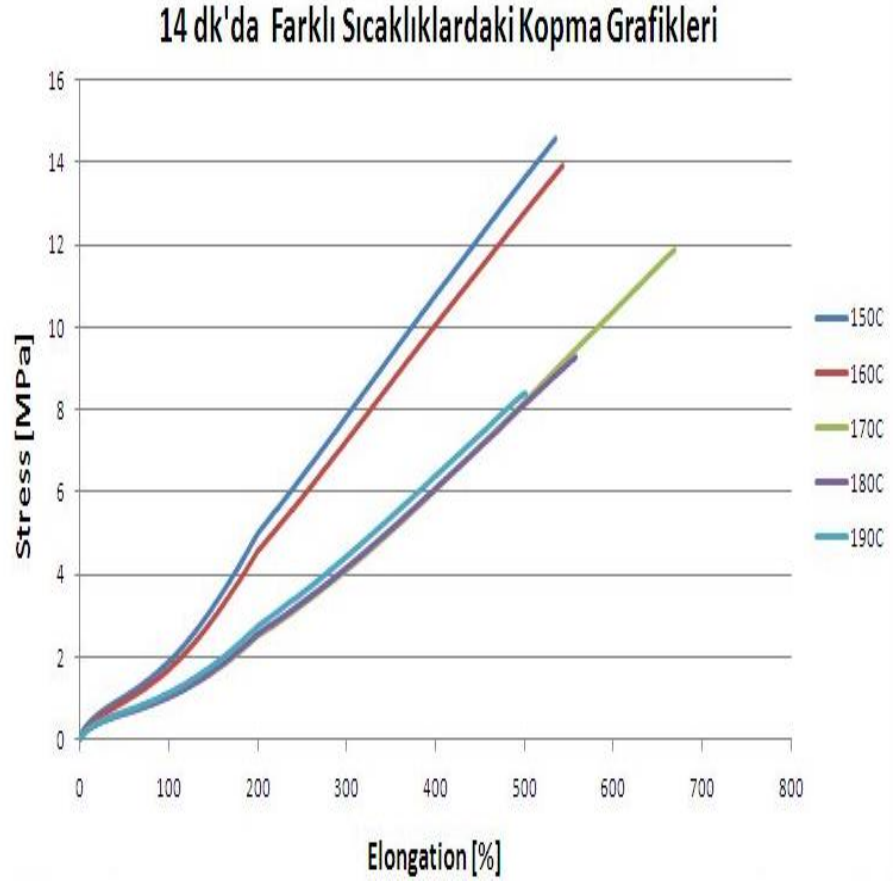
Şekil 4. 8. 12 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test grafikleri

Çizelge 4. 18.12 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

Süre- Sıcaklık	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)	$\sigma_{500}$ (Mpa)
12 dk- 150°C	14,8	623,6	1,6	4,1	6,5	11,7
12 dk- 160°C	14,5	620,2	1,5	3,8	6,1	11,3
12 dk- 170°C	13,8	605,1	1,5	3,8	6,1	11,1
12 dk- 180°C	10,6	607,6	1,1	2,7	4,3	8,4
12 dk- 190°C	8,7	540,6	1,1	2,7	4,2	8



Burada sürenin etkisiyle ilk defa 150°C'deki gerilme değerinin 160°C'den fazla olduğu görülmektedir. Bu süreden itibaren 160°C'deki numunelerde tersine çevrim olayı gerçekleşmeye başlamıştır. %300 ve %500 uzama değerleri incelendiğinde artan sıcaklığın büyük etkisiyle gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir.



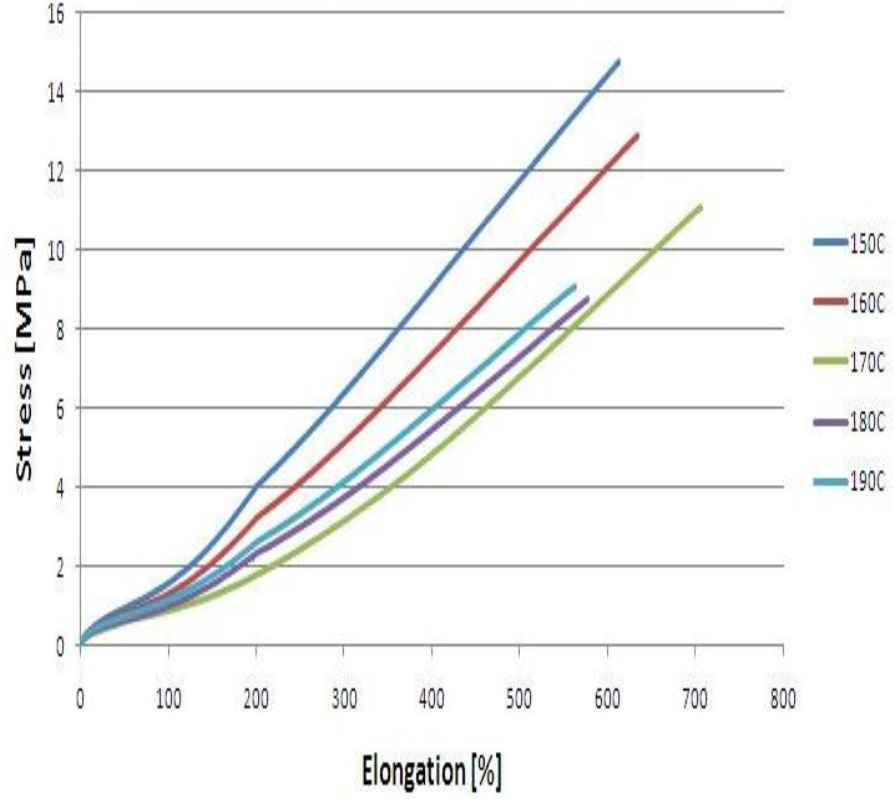
**Şekil 4. 9.** 14 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 19.14 dk'dafarklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları**

Süre- Sıcaklık	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)	$\sigma_{500}$ (Mpa)
14 dk- 150°C	14,5	535,1	1,9	5	7,8	13,6
14 dk- 160°C	13,9	543,3	1,7	4,6	7,3	12,8
14 dk- 170°C	11,9	669	1,1	2,5	4,1	8,2
14 dk- 180°C	9,3	558,9	1,1	2,6	4,2	8,1
14 dk- 190°C	8,4	500,1	1,1	2,8	4,5	8,4

12 dk'daki durum devam etmiş fakat artan süre nedeniyle 12 dk'ya göre 170°C'deki numunede oluşan çapraz bağlarda geri çevrim oluşmuş ve malzemenin fiziksel özelliklerinde düşme meydana gelmiştir. Grafik beklenen durum gibi gerçekleşmiştir. Süre optimum değeri aştığı için her bir sıcaklık artışında malzemenin fiziksel özelliklerinde azalma meydana gelmiştir. Bu durum beklenen bir durumdur.

### 16 dk'da Farklı Sıcaklıklardaki Kopma Grafikleri



Şekil 4. 10. 16 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test grafikleri

Çizelge 4. 20.16 dk'da farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

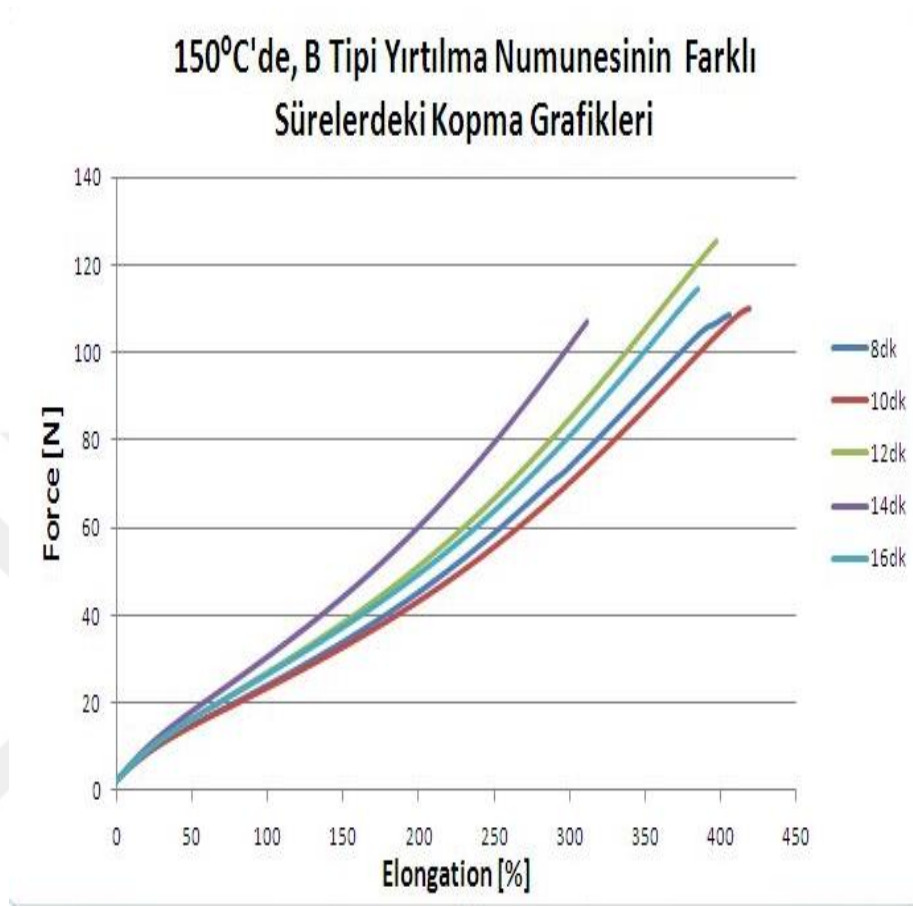
Süre- Sıcaklık	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)	$\sigma_{500}$ (Mpa)
16 dk- 150°C	14,7	612,4	1,6	4	6,4	11,7
16 dk- 160°C	12,9	634,6	1,3	3,2	5,1	9,71
16 dk- 170°C	11,1	706,2	0,9	1,8	3,1	6,8
16 dk- 180°C	8,8	577,7	1	2,3	3,7	7,3
16 dk- 190°C	9	562,7	1,1	2,6	4,1	7,8

Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuş ve artık mekanik özellikler sabit kalmıştır. Bu durum sıcaklığın yüksekliği nedeniyle kauçuk karışımının çok erken piştiğini yani kavrulma meydana geldiğini gösterir. Rheometrede test sonuçlarından da görüleceği gibi artan sıcaklık sonucu  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerlerinde ani bir azalış meydana gelmiştir.

#### **4.2.2. Yırtılma test sonuçları**

Burada yırtılma test sonuçlarının grafikleri her 3 yırtılma numunesi için de eklenecek, kopma çekme testleri ve rheometre test sonuçları baz alınarak her bir süre ve sıcaklığın yırtılma davranışına etkisi anlatılacaktır. Buradaki amaç malzemenin yırtılma davranışına etki eden faktörlerin belirlenmesi ve uygun sıcaklık ile sürenin belirlenmesidir.

B tipi yırtılma numunesinin yırtılma test sonuçları



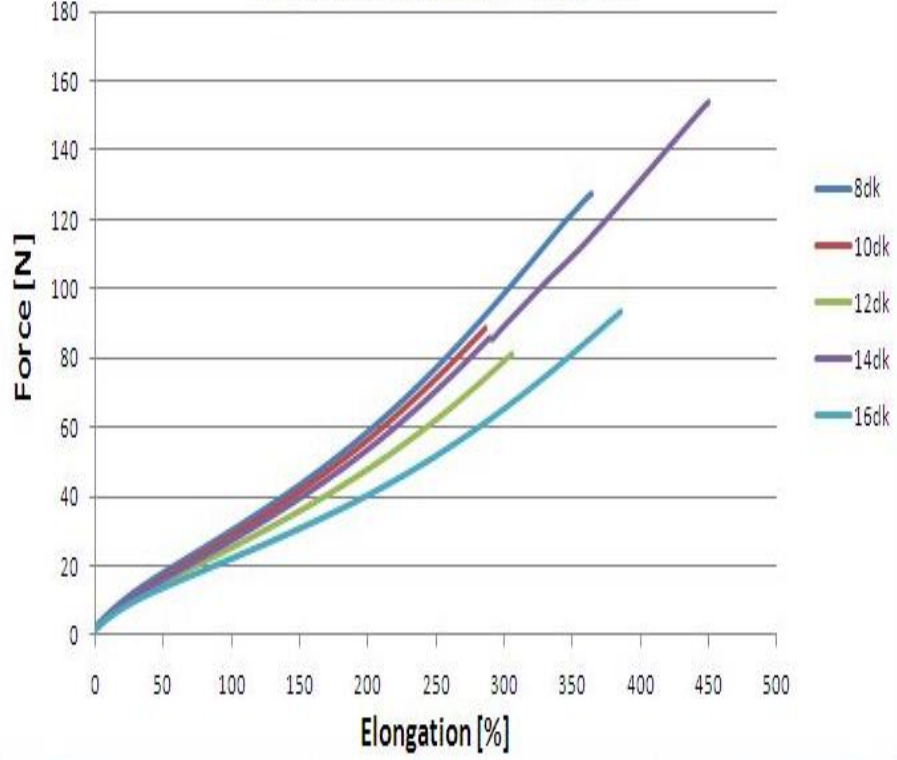
**Şekil 4. 11.** 150°C'de B tipi yırtılma numunelerinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 21.** 150°C'de B tipi yırtılma numunelerinde farklı sürelerde yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)
150°C -8 dk	2,6	406,3	0,6	1,1	1,76
150°C -10 dk	2,5	419,8	0,5	1	1,6
150°C -12 dk	3	397,9	0,6	1,2	2,03
150°C -14 dk	2,6	312	0,7	1,5	2,5
150°C -16 dk	2,8	385,1	0,7	1,2	2

150°C’de farklı sürelerdeki B tipi yırtılma numuneleri incelendiğinde 150°C’deki çekme-kopma test sonuçlarıyla benzer bir gerilme değişimi olduğu gözlenmiştir. Burada doğru değerlendirme yapabilmek için yırtılma test sonuçları çekme-kopma ve rheometre test sonuçları yani pişme karakteristikleri ile birlikte ele alınacaktır. %200 ve %300 uzama değerlerindeki gerilme değerleri incelendiğinde 14.dk’ya kadar artan süreyle orantılı olarak gerilme değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi artan pişme süresiyle birlikte çapraz bağlanmanın daha çok gerçekleşmesidir. Bu durumu  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerlerindeki artıştan da görmekteyiz.  $t_{90}$  değerleri sırasıyla 7,35 dk, 8,59 dk, 10,17 dk ve 10,24 dk olarak artış göstermiştir. Burada istisna oluşturan durum 150°C-10 dk’dır.Genel eğilim artış yönündedir fakat 150°C-10 dk’da azalış meydana gelmiştir. Bu durum kauçuk reçetelerinde dolgu malzemesinin topaklanması, homojen dağılmaması, ya da diğer kimyasalların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasından dolayı değişiklik gösterir.16.dk’da %200 ve %300 uzama değerleri incelendiğinde 14. dk’ya göre gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji artan süre nedeniyle kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde düşme meydana gelmiştir.

### 160°C'de, B Tipi Yırılma Numunesinin Farklı Sürelerdeki Kopma Grafikleri



**Şekil 4. 12.** 160°C'de B tipi yırtılma numunelerinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 22.**160°C'de B tipi yırtılma numunelerinde farklı sürelerde yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları

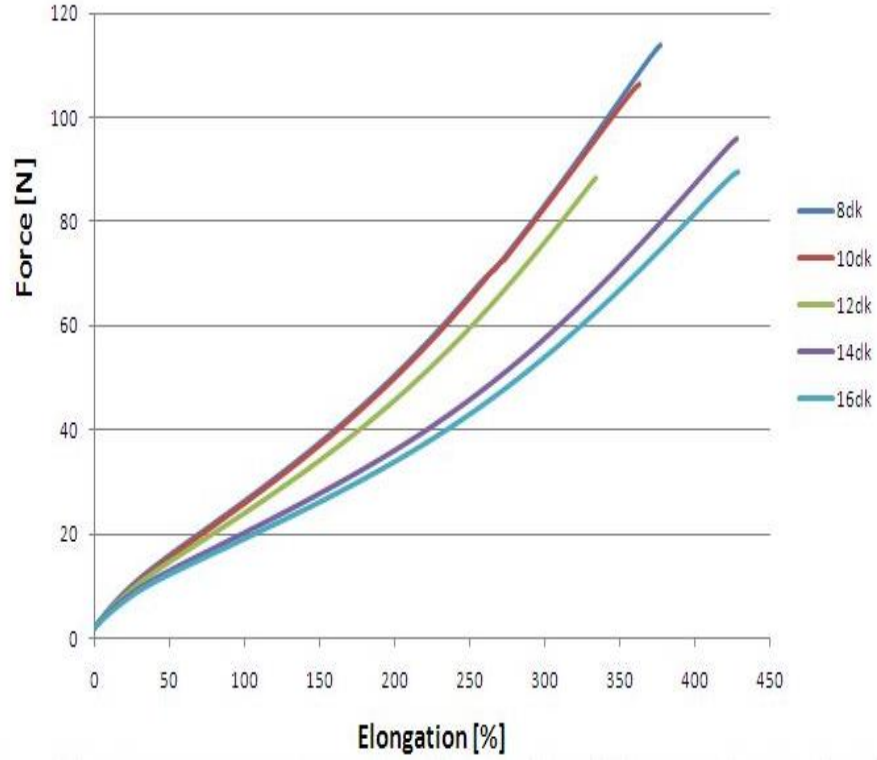
Sıcaklık-Süre	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)
160°C -8 dk	3	364,6	0,7	1,4	2,32
160°C -10 dk	2,2	286,4	0,6	1,4	-
160°C -12 dk	2	306,3	0,6	1,2	1,9
160°C -14 dk	3,9	449,8	0,7	1,4	2,3
160°C -16 dk	2,3	385,2	0,6	1	1,6

Burada 160°C-10 dk'da malzeme çok düşük elongation değerinde kopmuştur. Grafikten görüleceği üzere burada 8dk'daki numune daha iyi bir dayanım göstermiştir. Bu durum kauçuk reçetelerinde dolgu malzemesinin topaklanması, homojen dağılmaması, ya da diğer kimyasalların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasından dolayı azalma

eğilimi gösterir. Diğer sürelerdeki test sonuçlarındaki gerilme değerlerindeki değişimler çekme-kopma testleriyle bire bir örtüşmektedir. %200 ve %300 uzama değerleri incelendiğinde gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir. 160°C-14 dk'da 12 dk baz alındığında %200 ve %300 uzama değerlerinde gerilme değerlerinde düşme beklenirken yükselme gözlenmiştir. Bu durum kauçuk reçetelerinde dolgu malzemesinin topaklanması, homojen dağılmaması ya da diğer kimyasalaların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasından dolayı değişiklik gösterir ve azalması gereken durumda artış yaşanır.



### 170°C'de, B Tipi Yırtılma Numunesinin Farklı Sürelerdeki Kopma Grafikleri



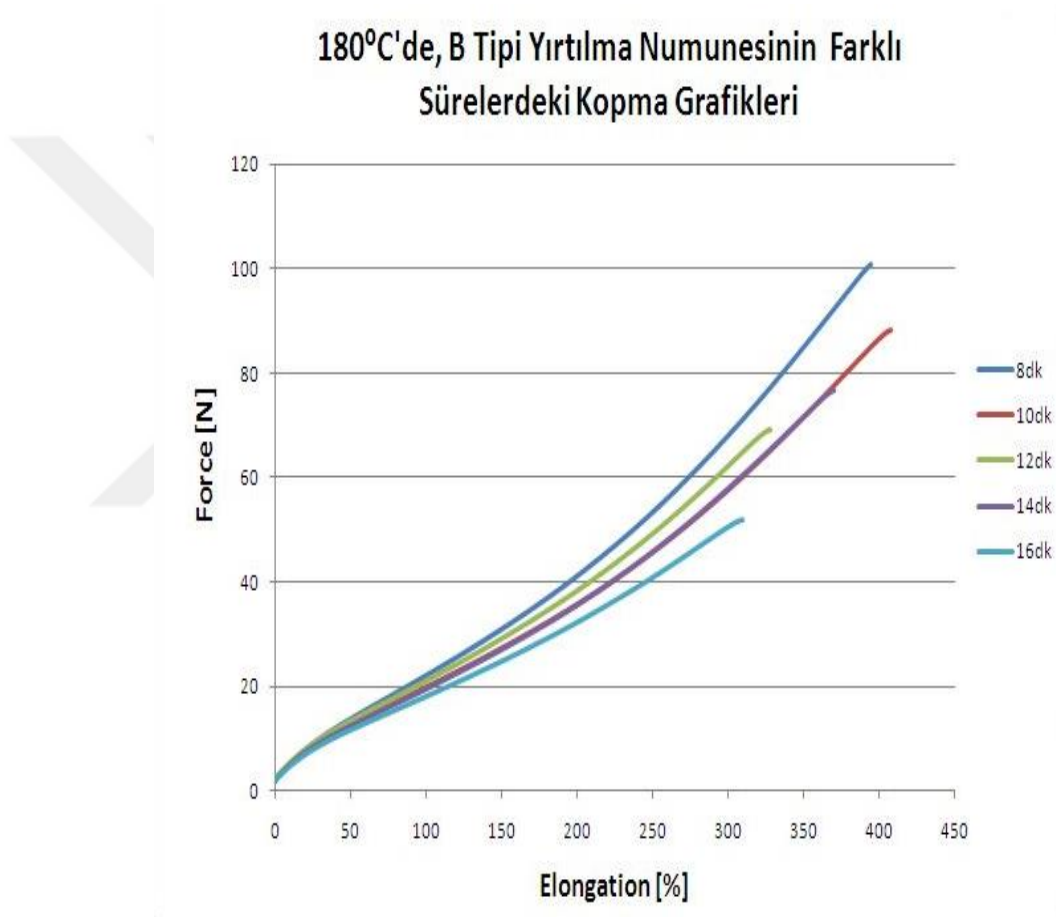
**Şekil 4. 13.** 170°C'de B tipi yırtılma numunelerinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 23.**170°C'de B tipi yırtılma numunelerinde farklı sürelerde yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)
170°C -8 dk	2,8	377,2	0,6	1,2	2,03
170°C -10 dk	2,6	363,1	0,6	1,2	2,05
170°C -12 dk	2,2	333,9	0,6	1,2	1,93
170°C -14 dk	2,4	427,9	0,5	0,9	1,44
170°C -16 dk	2,3	428,4	0,5	0,9	1,38

Burada çekme-kopma testleri ile hemen hemen aynı durum gerçekleşmiştir. 8 dk ve 10 dk'daki değerler birbirine çok yakın olduğundan iki sürede kauçuk numunesine verilen enerjinin B tipi yırtılma numunesinin yırtılma dayanımına etkisi ihmal edilebilir

düzydedir. %200 ve %300 uzama değeri incelendiğinde gerilme değeri 10. dk'dan itibaren düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısılan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir.



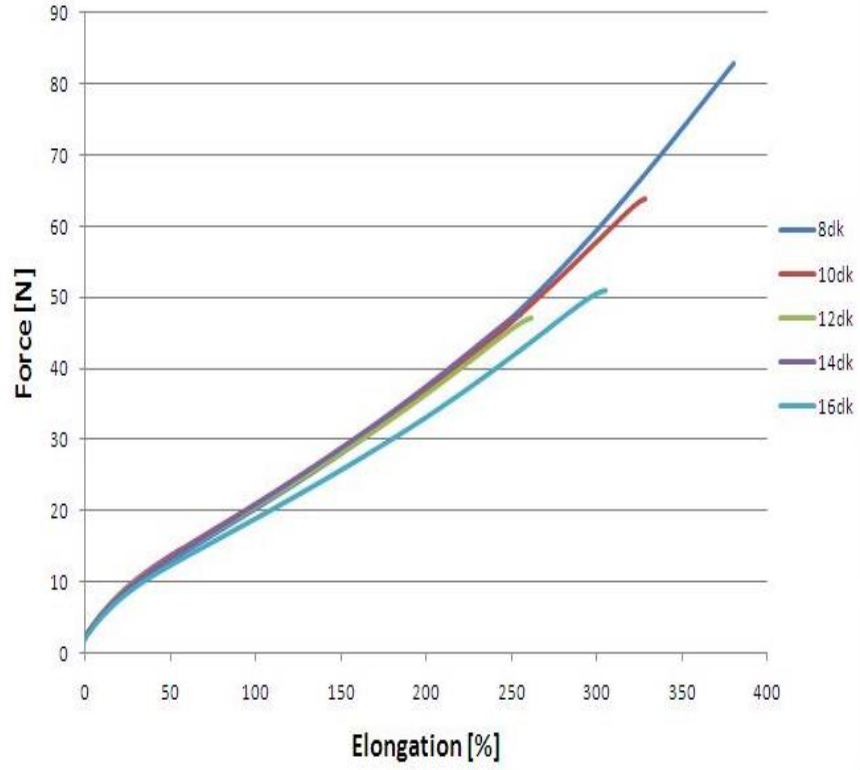
**Şekil 4. 14.** 180°C'de B tipi yırtılma numunelerinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 24.180°C’de B tipi yırtılma numunelerinde farklı sürelerde yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları**

Sıcaklık-Süre	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)
180°C -8 dk	2,5	394,3	0,5	1	1,67
180°C -10 dk	2,2	407,2	0,5	0,9	1,41
180°C -12 dk	1,6	327,9	0,5	0,9	1,46
180°C -14 dk	1,9	369,8	0,5	0,9	1,4
180°C -16 dk	1,3	309,3	0,4	0,8	1,24

180°C ‘de farklı sürelerdeki B tipü yırtılma numuneleri incelendiğinde aynı sıcaklıktaki çekme-kopma testlerine benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu sıcaklıktan itibaren artık artan sürenin bir önemi kalmamıştır. Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuş ve artık mekanik özellikler sabit kalmıştır. Bu durum sıcaklığın yüksekliği nedeniyle kauçuk karışımının çok erken piştiğini yani kavrulma meydana geldiğini gösterir.

### 190°C'de, B Tipi Yırtılma Numunesinin Farklı Sürelerdeki Kopma Grafikleri



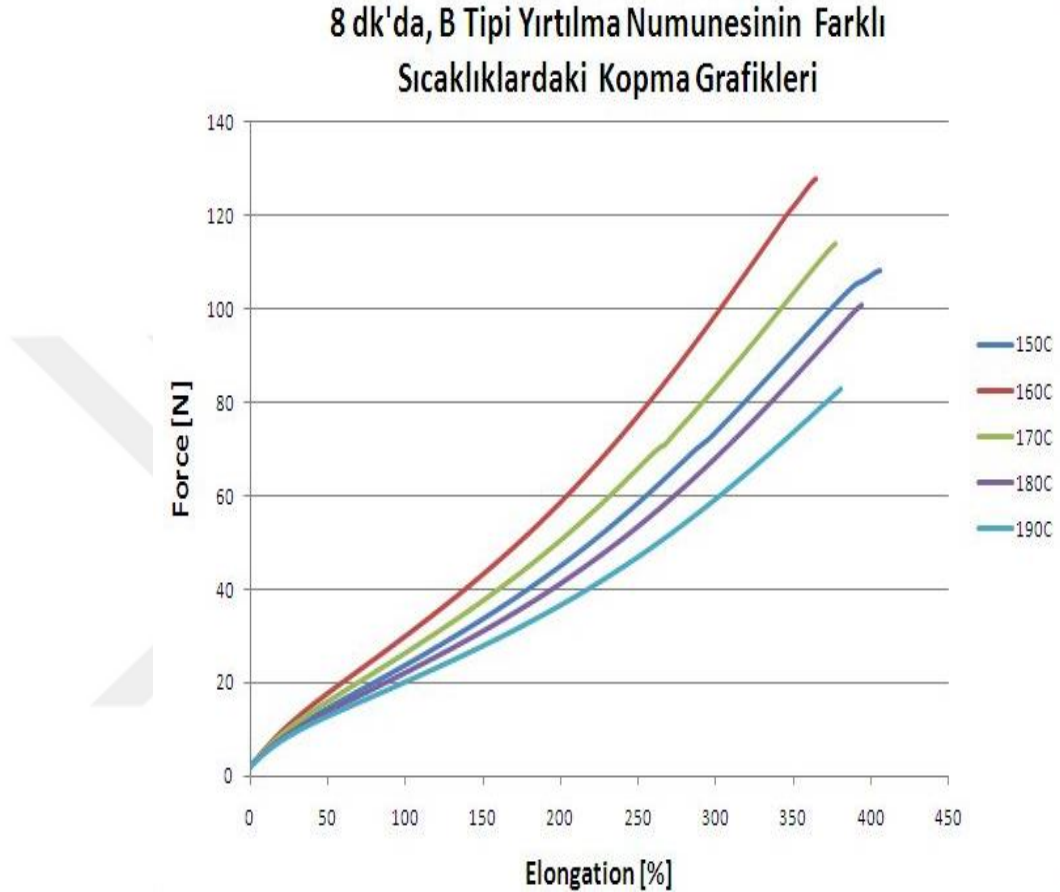
Şekil 4. 15. 190°C'de B tipi yırtılma numunelenin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri

Çizelge 4. 25.190°C'de B tipi yırtılma numunelerinde farklı sürelerde yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)
190°C -8 dk	2	380,7	0,5	0,9	1,41
190°C -10 dk	1,5	328,2	0,5	0,9	1,38
190°C -12 dk	1,1	262	0,5	0,8	-
190°C -14 dk	1,1	255,7	0,5	0,9	-
190°C -16 dk	1,3	305,5	0,5	0,8	1,24

180°C'deki durum 190°C'de daha belirgin olarak gözükmemektedir. Grafikten görüldüğü gibi süre artışının etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu sıcaklıktan itibaren artık artan sürenin bir önemi kalmamıştır. Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir

malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuş ve artık mekanik özellikler sabit kalmıştır.



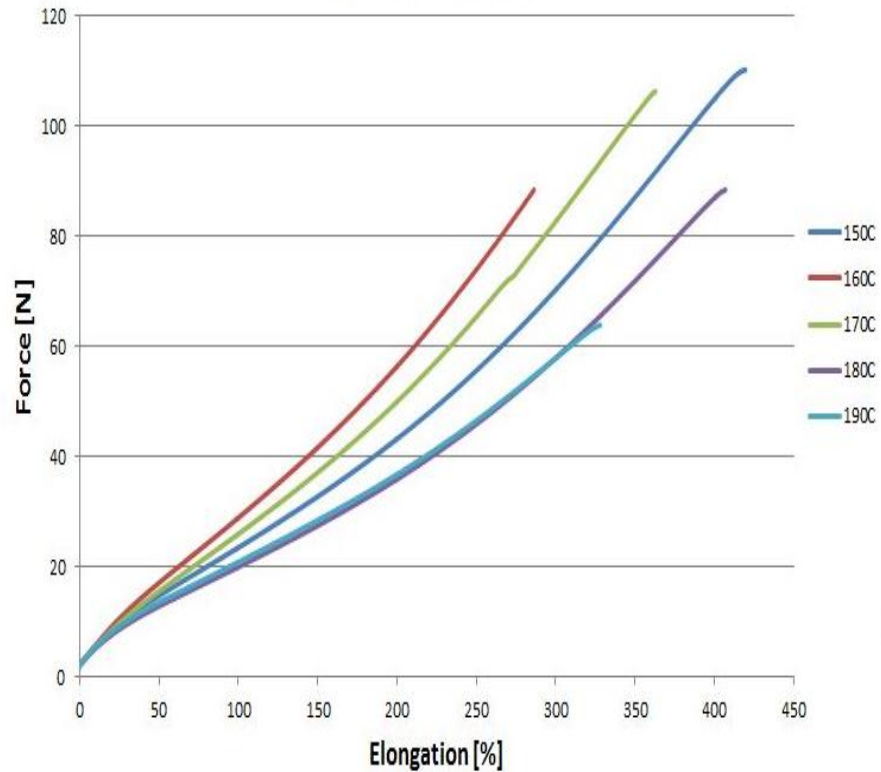
**Şekil 4. 16.** 8 dk'da B tipi yırtılma numunelerinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 26.8 dk'da B tipi yırtılma numunelerinde farklı sıcaklıklarda yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları**

Süre-Sıcaklık	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)
8 dk -150°C	2,6	406,3	0,6	1,1	1,76
8 dk -160°C	3	364,6	0,7	1,4	2,32
8 dk -170°C	2,8	377,2	0,6	1,2	2,03
8 dk -180°C	2,5	394,3	0,5	1	1,67
8 dk -190°C	2	380,7	0,5	0,9	1,41

Burada sıcaklığın etkisi bariz olarak belli olmaktadır. %200 ve % 300 uzama değerleri baz alındığında 8 dk için 150°C için vulkanizasyon tam olarak gerçekleşmediği çapraz bağların oluşmadığı gözlenmektedir. Çapraz bağlanma tamamlanmadan vulkanizasyon işlemi kesildiğinden gerilme değerleri düşük çıkmıştır. %200ve %300 uzama değerleri incelendiğinde artan sıcaklığın büyük etkisiyle 160°C'den itibaren gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısılan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir. Bu durumu rheometre test sonuçlarında da görmekteyiz. Artan sıcaklıkla birlikte  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerleri hızlı bir azalış göstermiştir.

#### 10 dk'da, B Tipi Yırtılma Numunesinin Farklı Sıcaklıklardaki Yırtılma Grafikleri



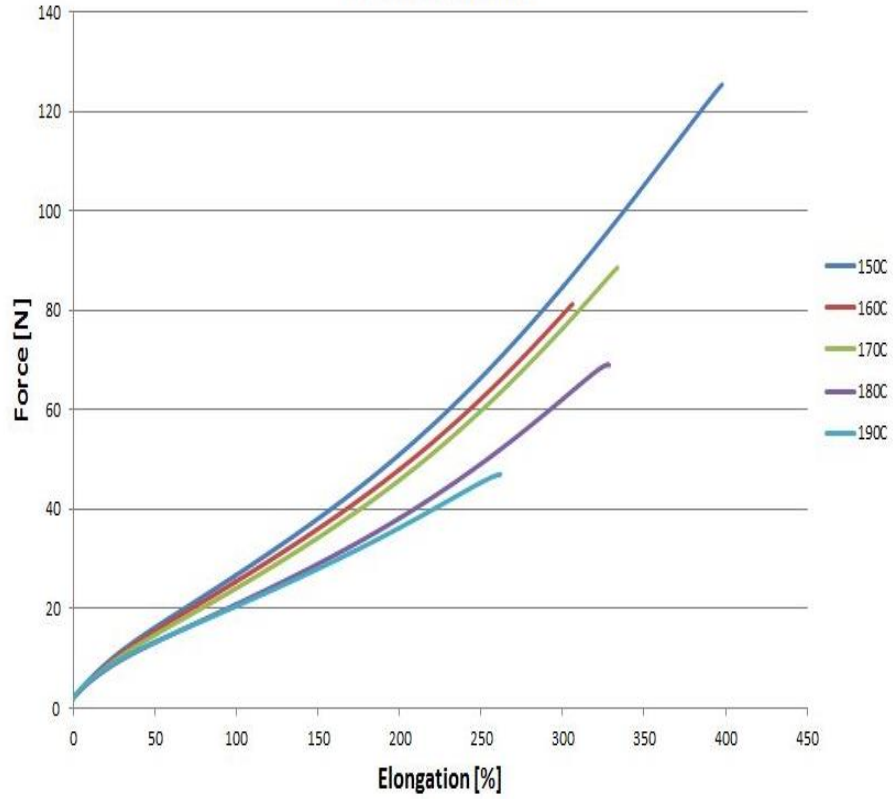
Şekil 4. 17. 10 dk'da B tipi yırtılma numunelerinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 27.10 dk'da B tipi yırtılma numunelerinde farklı sıcaklıklarda yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları**

Süre-Sıcaklık	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)
10 dk -150°C	2,5	419,8	0,5	1	1,6
10 dk -160°C	2,2	286,4	0,6	1,4	-
10 dk -170°C	2,6	363,1	0,6	1,2	2,05
10 dk -180°C	2,2	407,2	0,5	0,9	1,41
10 dk -190°C	1,5	328,2	0,5	0,9	1,38

Burada da 8 dk'daki durumla aynı şekilde gerçekleşmiş ve artan sıcaklıkla malzemenin mekanik özelliklerinde azalmalar meydana gelmiştir. %200 ve % 300 uzama değerleri baz alındığında 10 dk için 150°C için vulkanizasyon tam olarak gerçekleşmediği çapraz bağların oluşmadığı gözlenmektedir.Çapraz bağlanma tamamlanmadan vulkanizasyon işlemi kesildiğinden gerilme değerleri düşük çıkmıştır. Test grafiği incelendiğinde 160°C'de malzeme beklenenden önce kopmuş fakat aynı elongation değerinde en yüksek dayanım 160°C'de elde edilmiştir.Bu durum kauçuk reçetelerinde dolgu malzemesinin topraklanması, homojen dağılması, ya da diğer kimyasalların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasından dolayı azalma eğilimi gösterir. Dolgu maddesinin topraklanması yırtılma bölgesinde gerçekleştiğinde yük taşıyan kısım dolgu maddesi olduğundan uzayamaz ama yük taşıdığı için daha yüksek dayanımda kopar. Sıcaklığın bariz etkisiyle artık oluşan polisülfür bağları parçalanmaya ve bağ uzunluğu kısalmaya başlamış, bunun sonucu olarak artan sıcaklıkla gerilmeler düşmüştür.

### 12 dk'da, B Tipi Yırtılma Numunesinin Farklı Sıcaklıklardaki Yırtılma Grafikleri



**Şekil 4. 18.** 12 dk'da B tipi yırtılma numunelerinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

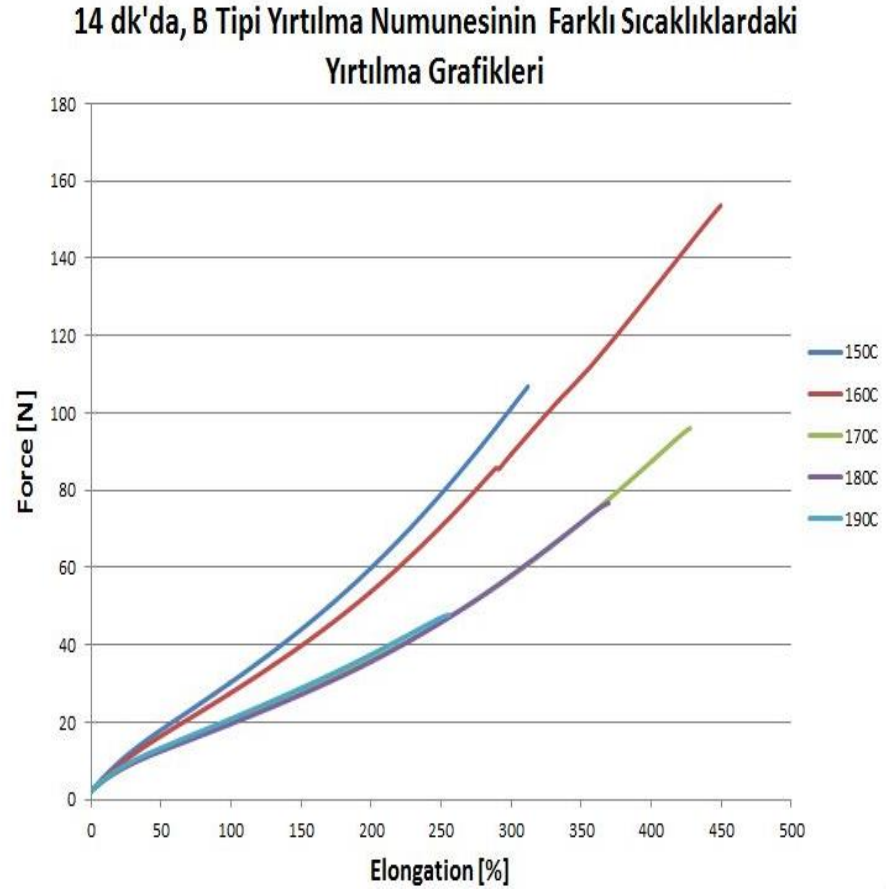
**Çizelge 4. 28.**12 dk'da B tipi yırtılma numunelerinde farklı sıcaklıklarda yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları

Süre-Sıcaklık	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)
12 dk -150°C	3	397,9	0,6	1,2	2,03
12 dk -160°C	2	306,3	0,6	1,2	1,9
12 dk -170°C	2,2	333,9	0,6	1,2	1,93
12 dk -180°C	1,6	327,9	0,5	0,9	1,46
12 dk -190°C	1,1	262	0,5	0,8	-

Burada sürenin etkisiyle ilk defa 150°C'deki gerilme değerinin 160°C'den fazla olduğu görülmektedir. Bu süreden itibaren 160°C'deki numunelerde tersine çevrim olayı gerçekleşmeye başlamıştır. Artan süre sonucunda oluşan polisülfür bağlarında kırılma yaşanmaya ve sonucunda malzemenin fiziksel özelliklerinde düşme meydana gelmiştir.



%200 ve %300 uzama değerleri incelendiğinde artan sıcaklığın büyük etkisiyle gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Burada ihmal edilebilecek düzeyde bir farkla 170°C'deki gerilme değeri 160°C'deki değerden büyük olarak geręekleřmiřtir. Bukauğuk reçetelerinde dolgu malzemesinin topaklanması, homojen dağılmaması nedeniyle geręekleřir.



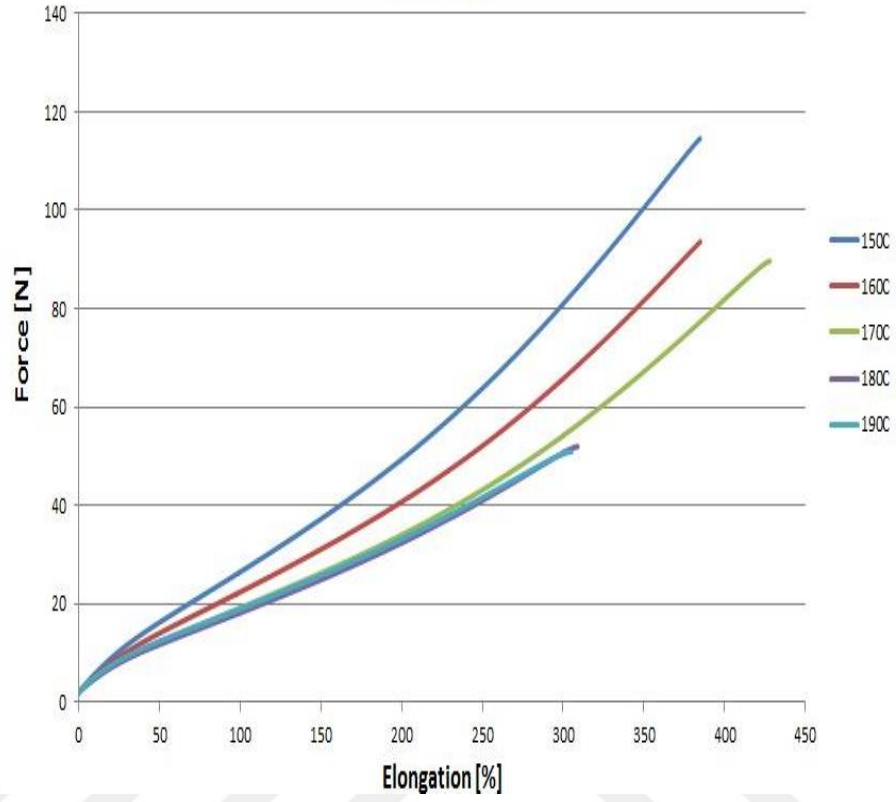
**şekil 4. 19.** 14 dk'da B tipi yırtılma numunelerinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 29.14 dk'da B tipi yırtılma numunelerinde farklı sıcaklıklarda yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları**

Süre-Sıcaklık	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)
14 dk -150°C	2,6	312	0,7	1,5	2,5
14 dk -160°C	3,9	449,8	0,7	1,4	2,3
14 dk -170°C	2,4	427,9	0,5	0,9	1,44
14 dk -180°C	1,9	369,8	0,5	0,9	1,4
14 dk -190°C	1,1	255,7	0,5	0,9	-

12 dk'daki durum devam etmiş fakat artan süre nedeniyle 12 dk'ya göre 170°C'deki numunede oluşan çapraz bağlarda geri çevrim oluşmuş ve malzemenin fiziksel özelliklerinde düşme meydana gelmiştir. Grafik beklenen durum gibi gerçekleşmiştir. Süre optimum değeri aştığı için her bir sıcaklık artışında malzemenin fiziksel özelliklerinde azalma meydana gelmiştir.

### 16 dk'da, B Tipi Yırtılma Numunesinin Farklı Sıcaklıklardaki Yırtılma Grafikleri



**Şekil 4. 20.** 16 dk'da B tipi yırtılma numunelerinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

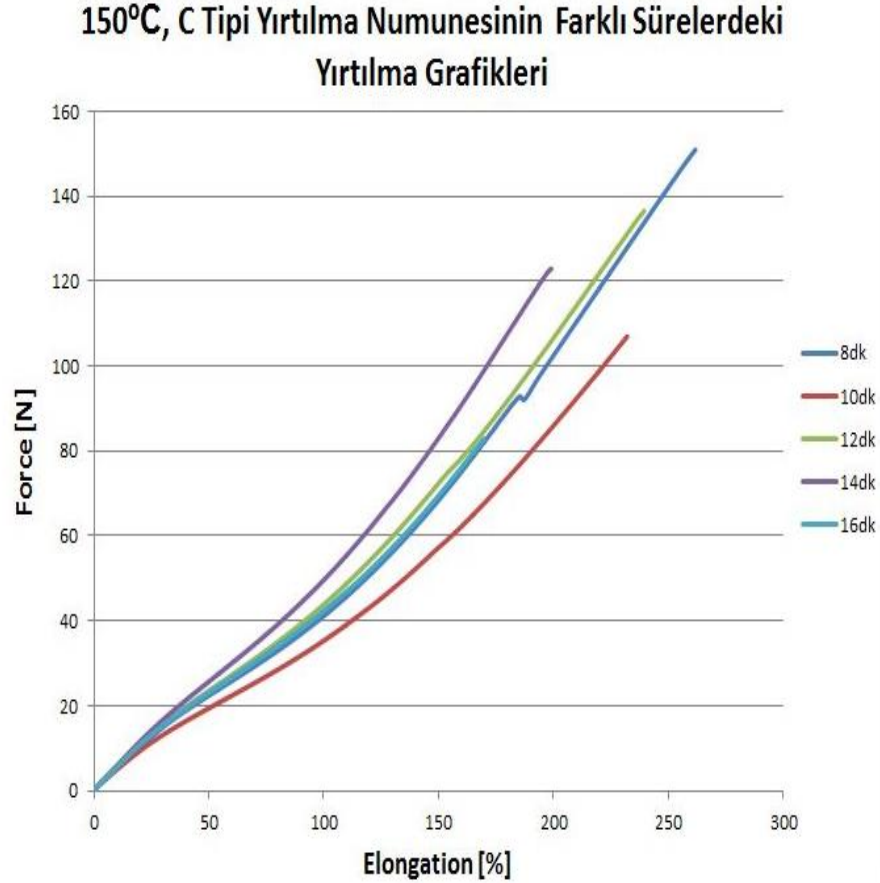
**Çizelge 4. 30.** 16 dk'da B tipi yırtılma numunelerinde farklı sıcaklıklarda yapılan yırtılma testinin stress-elongation test sonuçları

Süre-Sıcaklık	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{200}$ (Mpa)	$\sigma_{300}$ (Mpa)
16 dk -150°C	2,8	385,1	0,7	1,2	2
16 dk -160°C	2,3	385,2	0,6	1	1,6
16 dk -170°C	2,3	428,4	0,5	0,9	1,38
16 dk -180°C	1,3	309,3	0,4	0,8	1,24
16 dk -190°C	1,3	305,5	0,5	0,8	1,24

Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuştur. Bu durum sıcaklığın yüksekliği nedeniyle kauçuk karışımının çok erken piştiğini yani kavrulma meydana

geldiğini gösterir. Rheometrede test sonuçlarından da görüleceği gibi artan sıcaklık sonucu  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerlerinde ani bir azalış meydana gelmiştir.

C tipi yırtılma numunesinin yırtılma test sonuçları



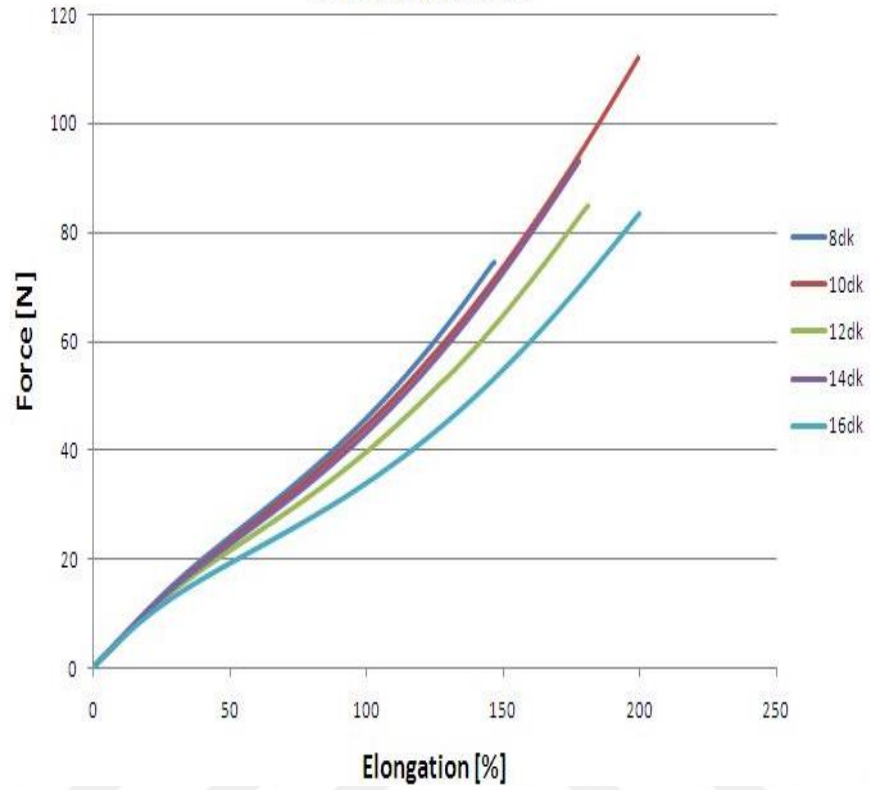
**Şekil 4. 21.** 150°C’de C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 31.**150°C’de C tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	Force(N)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{150}$ (Mpa)	$\sigma_{175}$ (Mpa)
150°C- 8 dk	150,9	6,2	261,8	1,7	2,8	3,5
150°C- 10 dk	106,9	5,1	232,2	1,7	2,7	3,3
150°C- 12 dk	136,5	6,7	239,6	2,2	3,6	4,3
150°C- 14 dk	122,9	5,9	199,2	2,4	4	5
150°C- 16 dk	82,9	4	169,8	2	3,3	-

150°C’de farklı sürelerdeki C tipi yırtılma numuneleri incelendiğinde 150°C’deki çekme-kopma test sonuçlarıyla benzer bir gerilme değişimi olduğu gözlenmiştir. Burada doğru değerlendirme yapabilmek için yırtılma test sonuçları çekme-kopma ve rheometre test sonuçları yani pişme karakteristikleri ile birlikte ele alınacaktır. %150 ve %200 uzama değerlerindeki gerilme değerleri incelendiğinde 14.dk’ya kadar artan süreyle orantılı olarak gerilme değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi artan pişme süresiyle birlikte çapraz bağlanmanın daha çok gerçekleşmesidir. Bu durumu  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerlerindeki artıştan da görmekteyiz.  $t_{90}$  değerleri sırasıyla 7,35 dk, 8,59 dk, 10,17 dk ve 10,24 dk olarak artış göstermiştir. Burada istisna oluşturan durum 150°C-10 dk’dır.Genel eğilim artış yönündedir fakat 150°C-10 dk’da azalış meydana gelmiştir. Bu durum kauçuk reçetelerinde dolgu malzemesinin topaklanması, homojen dağılmaması, ya da diğer kimyasalların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasından dolayı değişiklik gösterir.16.dk’da %150 ve %200 uzama değerleri incelendiğinde 14. dk’ya göre gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji artan süre nedeniyle kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde düşme meydana gelmiştir.

### 160°C, C Tipi Yırtılma Numunesinin Farklı Sürelerdeki Yırtılma Grafikleri



**Şekil 4. 22.** 160°C’de C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

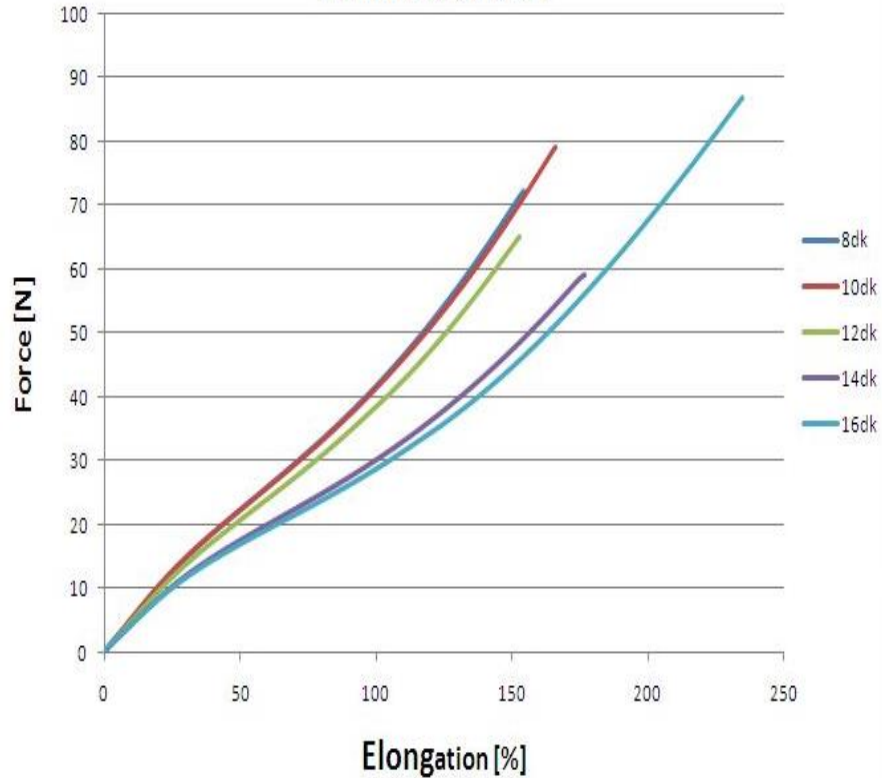
**Çizelge 4. 32.**160°C’de C tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	Force(N)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{150}$ (Mpa)	$\sigma_{175}$ (Mpa)
160°C- 8 dk	74,6	3,6	147	2,2	-	-
160°C- 10 dk	112	5,4	199,6	2,2	3,6	4,4
160°C- 12 dk	85	4,2	180,8	1,9	3,2	4
160°C- 14 dk	93	4,7	177,7	2,2	3,7	4,6
160°C- 16 dk	83,5	4,2	199,9	1,7	2,7	3,4

Grafikten görüleceği üzere burada 8dk’daki numune 10 dk’daki numuneden daha iyi bir dayanım göstermiştir. Bunun nedeni kauçuk içerisinde dolgu malzemesinin toplanması, homojen dağılmaması, ya da diğer kimyasalların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasından dolayı 8 dk’daki yırtılma numunesi 10 dk’daki yırtılma

numunesinden daha iyi dayanım göstermiştir. Diğer sürelerdeki test sonuçlarındaki gerilme değerlerindeki değişimler çekme-kopma testleriyle bire bir örtüşmektedir. %150 ve %175 uzama değerleri incelendiğinde gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir. 160°C-14 dk'da 12 dk baz alındığında %200 ve %300 uzama değerlerinde gerilme değerlerinde yükselme beklenirken düşme gözlenmiştir. Bunun nedeni kauçuk içerisinde dolgu malzemesinin topaklanması, homojen dağılmaması, ya da diğer kimyasalların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasıdır.

#### 170°C, C Tipi Yırtılma Numunesinin Farklı Sürelerdeki Yırtılma Grafikleri



Şekil 4. 23. 170°C'de C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

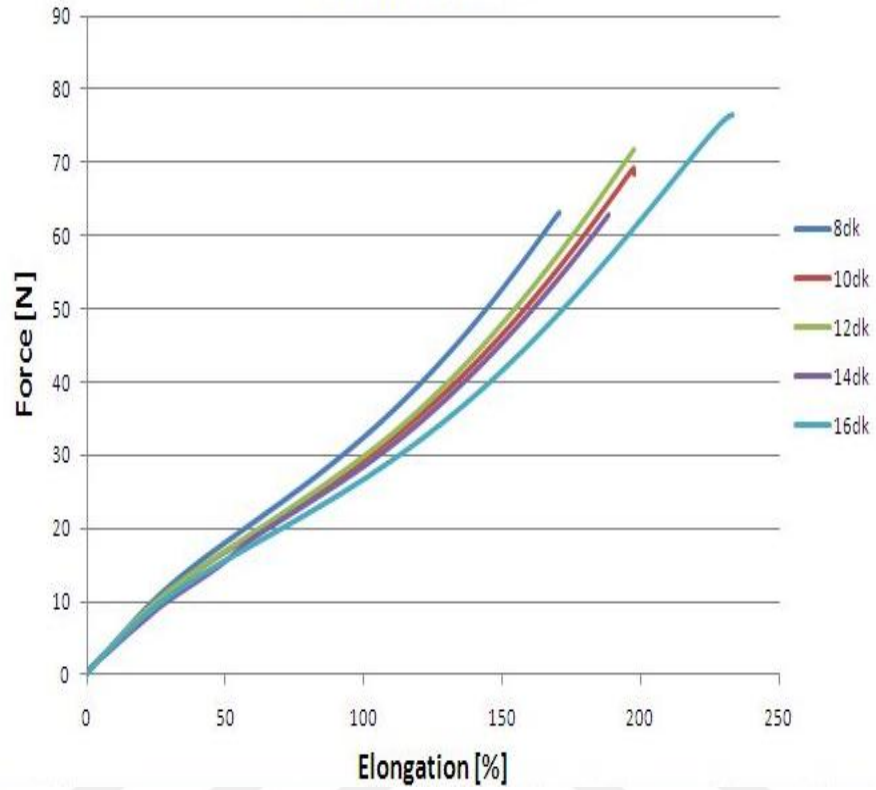
**Çizelge 4. 33.**170°C’de C tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	Force(N)	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{150}$ (Mpa)	$\sigma_{175}$ (Mpa)
170°C- 8 dk	72,2	3,5	154,3	2	3,4	-
170°C- 10 dk	79	3,8	166,1	2	3,3	-
170°C- 12 dk	64,9	3,2	153	1,9	3,1	-
170°C- 14 dk	59,1	2,9	176,8	1,5	2,3	2,9
170°C- 16 dk	86,8	4,3	234,8	1,4	2,2	2,7

Burada çekme-kopma testleri ile hemen hemen aynı durum gerçekleşmiştir. 8 dk ve 10 dk’daki değerler birbirine çok yakın olduğundan iki sürede kauçuk numunesine verilen enerjinin C tipi yırtılma numunesinin yırtılma dayanımına etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. %100 ve %150 uzama değerleri incelendiğinde gerilme değerlerinde 10. dk’dan itibaren düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir.



### 180°C, C Tipi Yırılma Numunesinin Farklı Sürelerdeki Yırılma Grafikleri



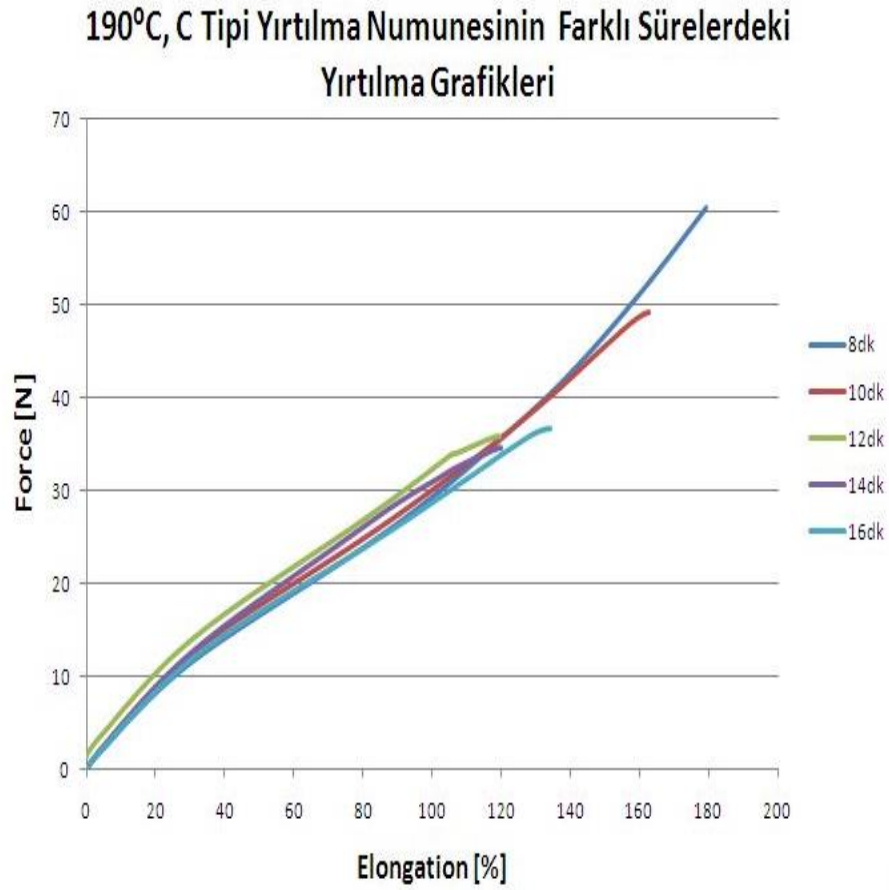
**Şekil 4. 24.** 180°C’de C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 34.**180°C’de C tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	Force(N)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{150}$ (Mpa)	$\sigma_{175}$ (Mpa)
180°C- 8 dk	63,2	3,1	170,8	1,6	2,6	-
180°C- 10 dk	69,3	3,4	197,6	1,4	2,3	2,8
180°C- 12 dk	71,8	3,5	197,7	1,5	2,3	2,9
180°C- 14 dk	62,9	3,1	188,4	1,4	2,2	2,8
180°C- 16 dk	76,5	3,8	233,4	1,3	2	2,5

180°C ‘de farklı sürelerdeki C tipi yırtılma numuneleri incelendiğinde aynı sıcaklıktaki çekme-kopma testlerine benzer sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu sıcaklıktan itibaren artık artan sürenin bir önemi kalmamıştır. Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ

uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuş ve artık mekanik özellikler sabit kalmıştır. Bu durum sıcaklığın yüksekliği nedeniyle kauçuk karışımının çok erken piştiğini yani kavrulma meydana geldiğini gösterir.



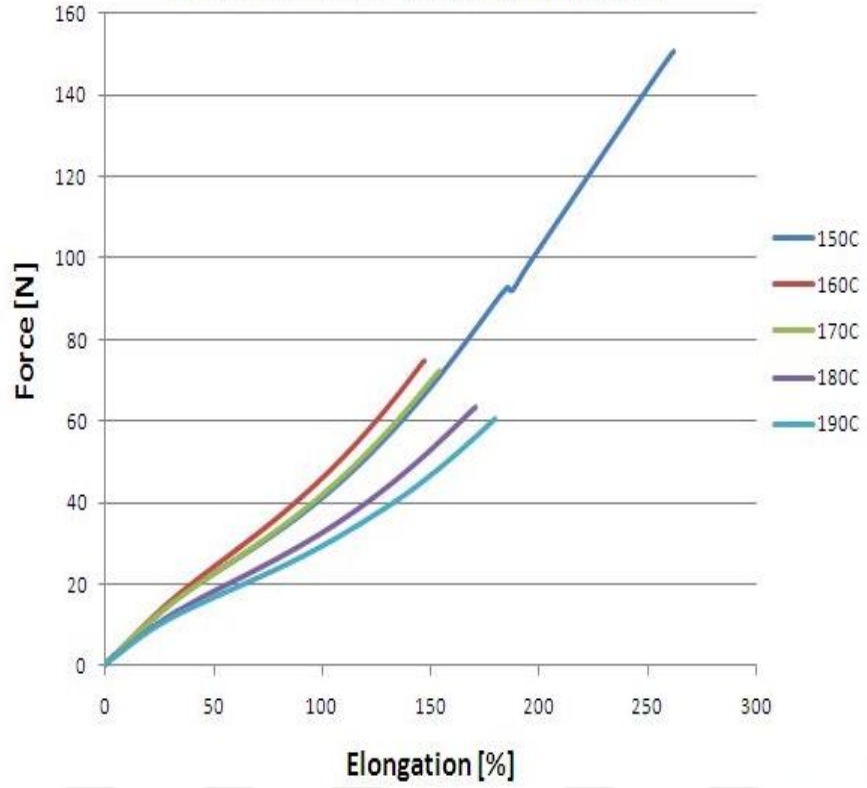
**şekil 4. 25.** 190°C’de C tipi yırılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 35.**190°C’de C tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	Force(N)	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{150}$ (Mpa)	$\sigma_{175}$ (Mpa)
190°C- 8 dk	60,4	2,9	179,4	1,4	2,3	2,8
190°C- 10 dk	49,2	2,4	162,5	1,5	2,2	-
190°C- 12 dk	35,9	1,7	119,5	1,5	-	-
190°C- 14 dk	34,6	1,6	119,8	1,6	-	-
190°C- 16 dk	36,8	1,8	134,4	1,4	-	-

180°C’deki durum 190°C’de daha belirgin olarak gözükmemektedir. Grafikten görüldüğü gibi süre artışının etkisinin olmadığı görülmektedir. Grafiklerin neredeyse birbirleriyle aynı olduğu görülmektedir. Bu sıcaklıktan itibaren artık artan sürenin bir önemi kalmamıştır. Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuş ve artık mekanik özellikler sabit kalmış ve sıcaklığın etkisi nedeniyle en düşük değerlerde yırtılma gerçekleşmiştir.

### 8 dk'da, C Tipi Yırtılma Numunesinin Farklı Sıcaklıklardaki Yırtılma Grafikleri



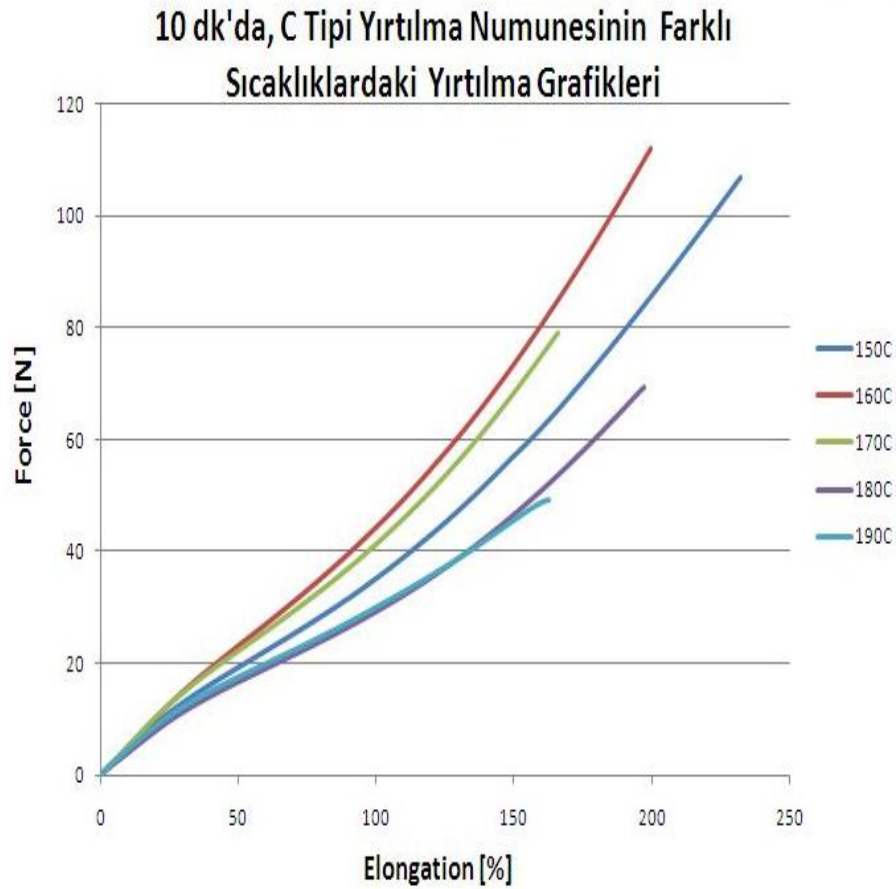
**Şekil 4. 26.** 8 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 36.8 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları**

Sıcaklık-Süre	Force(N)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{150}$ (Mpa)	$\sigma_{175}$ (Mpa)
8 dk -150°C	150,9	6,2	261,8	1,7	2,8	3,5
8 dk -160°C	74,6	3,6	147	2,2	-	-
8 dk -170°C	72,2	3,5	154,3	2	3,4	-
8 dk -180°C	63,2	3,1	170,8	1,6	2,6	-
8 dk -190°C	60,4	2,9	179,4	1,4	2,3	2,8

Burada sıcaklığın etkisi bariz olarak belli olmaktadır. %100 ve % 150 uzama değerleri baz alındığında 8 dk için 150°C için vulkanizasyon tam olarak gerçekleşmediği çapraz bağların oluşmadığı gözlenmektedir. Çapraz bağlanma tamamlanmadan vulkanizasyon işlemi kesildiğinden gerilme değerleri düşük çıkmıştır. %100 ve %150 uzama değerleri

incelendiğinde artan sıcaklığın büyük etkisiyle 160°C'den itibaren gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir. Bu durumu rheometre test sonuçlarında da görmekteyiz. Artan sıcaklıkla birlikte  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerleri hızlı bir azalış göstermiştir.

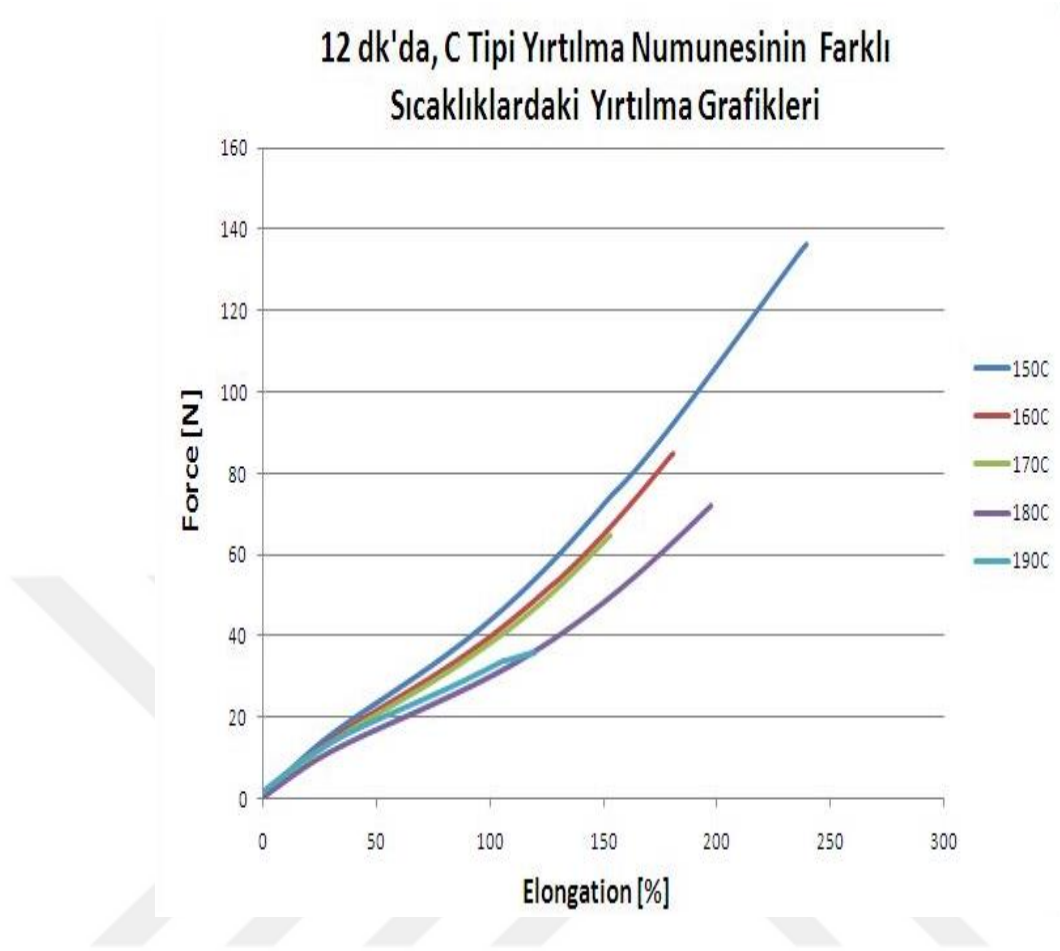


**Şekil 4. 27.** 10 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4.** 37.10 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	Force(N)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{150}$ (Mpa)	$\sigma_{175}$ (Mpa)
10 dk -150°C	106,9	5,1	232,2	1,7	2,7	3,3
10 dk -160°C	112	5,4	199,6	2,2	3,6	4,4
10 dk -170°C	79	3,8	166,1	2	3,3	-
10 dk -180°C	69,3	3,4	197,6	1,4	2,3	2,8
10 dk -190°C	49,2	2,4	162,5	1,5	2,2	-

Burada da 8 dk'daki durumla aynı şekilde gerçekleşmiş ve artan sıcaklıkla malzemenin mekanik özelliklerinde azalmalar meydana gelmiştir. %100 ve % 150 uzama değerleri baz alındığında 10 dk'da 150°C için vulkanizasyon tam olarak gerçekleşmediği çapraz bağların oluşmadığı gözlenmektedir. Çapraz bağlanma tamamlanmadan vulkanizasyon işlemi kesildiğinden gerilme değerleri düşük çıkmıştır. Sıcaklığın bariz etkisiyle 160°C'den itibaren oluşan polisülfür bağları parçalanmaya ve bağ uzunluğu kısaltmaya başlamış, bunun sonucu olarak artan sıcaklıkla gerilmeler düşmüştür.

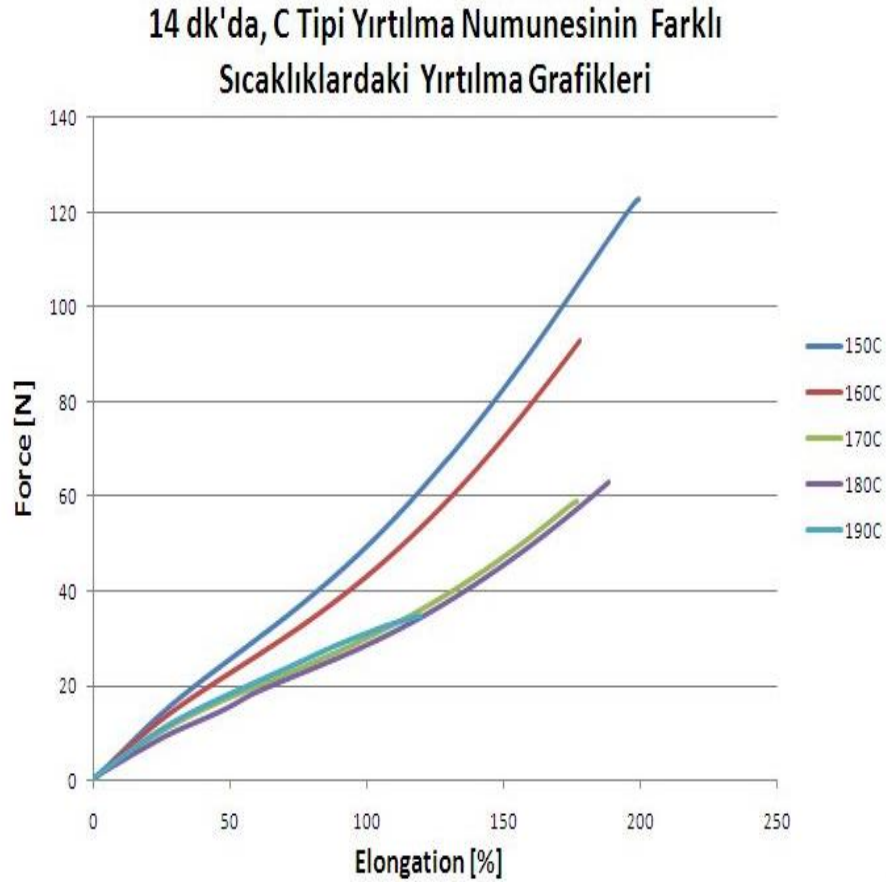


**Şekil 4. 28.** 12 dk'da C tipi yırılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 38.** 12 dk'da C tipi yırılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	Force(N)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{150}$ (Mpa)	$\sigma_{175}$ (Mpa)
12 dk -150°C	136,5	6,7	239,6	2,2	3,6	4,3
12 dk -160°C	85	4,2	180,8	1,9	3,2	4
12 dk -170°C	64,9	3,2	153	1,9	3,1	-
12 dk -180°C	10,76	1,84	2	1,03	-	-
12 dk -190°C	35,9	1,7	119,5	1,5	-	-

Burada sürenin etkisiyle ilk defa 150°C'deki gerilme değerinin 160°C'den fazla olduğu görülmektedir. Bu süreden itibaren 160°C'deki numunelerde tersine çevrim olayı gerçekleşmeye başlamıştır. Artan süre sonucunda oluşan polisülfür bağlarında kırılma yaşanmaya ve sonucunda malzemenin fiziksel özelliklerinde düşme meydana gelmiştir. %100 ve %150 uzama değerleri incelendiğinde artan sıcaklığın büyük etkisiyle gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Burada istisnai durum olarak 190°C-12 dk'da düşmesi beklenen gerilme değeri artmıştır. Bunun nedeni kauçuk içerisinde dolgu malzemesinin farklı bölgelerde topaklanması, homojen dağılmaması, ya da diğer kimyasalların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasıdır. Bu toplanma sonucunda malzeme beklenen fiziksel özellikleri göstermemektedir.



**Şekil 4. 29.** 14 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

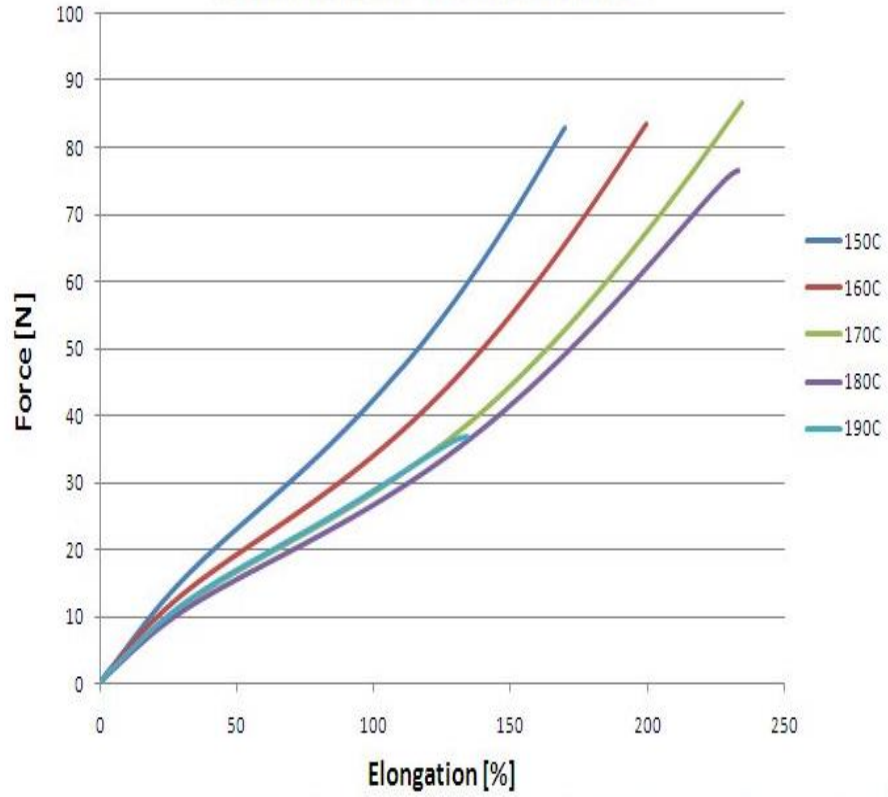


**Çizelge 4.** 39.14 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	Force(N)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{150}$ (Mpa)	$\sigma_{175}$ (Mpa)
14 dk -150°C	122,9	5,9	199,2	2,4	4	5
14 dk -160°C	93	4,7	177,7	2,2	3,7	4,6
14 dk -170°C	59,1	2,9	176,8	1,5	2,3	2,9
14 dk -180°C	62,9	3,1	188,4	1,4	2,2	2,8
14 dk -190°C	34,6	1,6	119,8	1,6	-	-

12 dk'daki durum devam etmiş fakat artan süre nedeniyle 12 dk'ya göre 170°C'deki numunede oluşan çapraz bağlarda geri çevrim oluşmuş ve malzemenin fiziksel özelliklerinde düşme meydana gelmiştir. Grafik beklenen durum gibi gerçekleşmiştir. Süre optimum değeri aştığı için her bir sıcaklık artışında malzemenin fiziksel özelliklerinde azalma meydana gelmiştir. Burada malzeme artık sert bir malzeme yapısına dönüştüğü için malzeme yapısında ihmal edilebilecek düzeyde sıcaklık artışında mekanik özelliklerde azalma beklenirken artmalar görülebilmektedir. Örnek olarak 190°C'deki gerilme değeri 180°C'deki gerilme değerinden düşük olması beklenirken yüksek gerçekleşmiştir. Bunun nedeni 180°C'deki kauçuk içerisinde dolgu malzemesinin farklı bölgelerde toplanması, homojen dağılmaması, ya da diğer kimyasalların yoğun olarak belirli bölgelerde toplanmasıdır. Bu toplanma sonucunda malzeme beklenen fiziksel özellikleri göstermemektedir.

### 16 dk'da, C Tipi Yırılma Numunesinin Farklı Sıcaklıklardaki Yırılma Grafikleri



**Şekil 4. 30.** 16 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

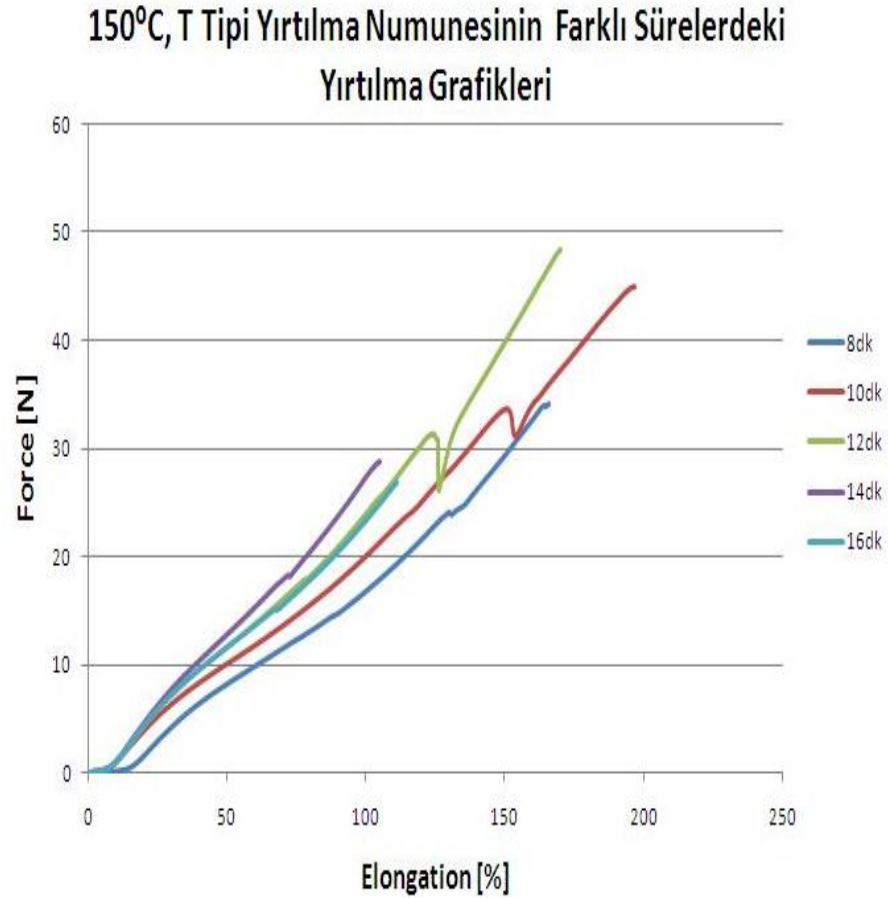
**Çizelge 4. 40.** 16 dk'da C tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık-Süre	Force(N)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{150}$ (Mpa)	$\sigma_{175}$ (Mpa)
16 dk -150°C	82,9	4	169,8	2	3,3	-
16 dk -160°C	83,5	4,2	199,9	1,7	2,7	3,4
16 dk -170°C	86,8	4,3	234,8	1,4	2,2	2,7
16 dk -180°C	76,5	3,8	233,4	1,3	2	2,5
16 dk -190°C	36,8	1,8	134,4	1,4	-	-

Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuştur. Bu durum sıcaklığın

yüksekliği nedeniyle kauçuk karışımının çok erken piştiğini yani kavrulma meydana geldiğini gösterir. Rheometrede test sonuçlarından da görüleceği gibi artan sıcaklık sonucu  $t_{s2}$ ve  $t_{90}$ değerlerinde ani bir azalış meydana gelmiştir.

T tipi yırtılma numunesinin yırtılma test sonuçları



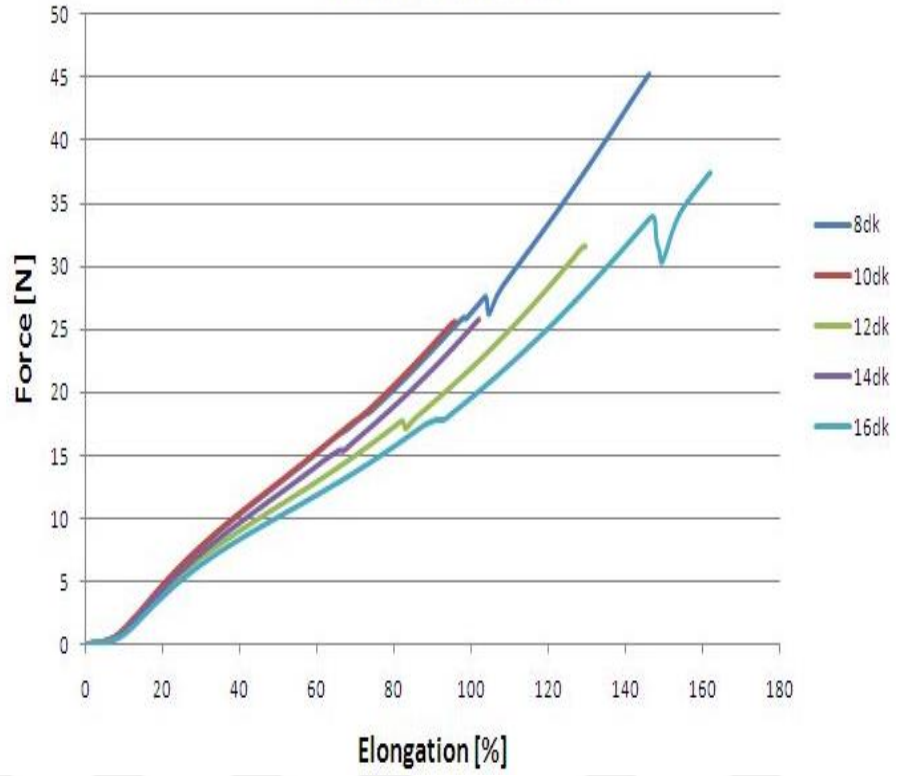
**Şekil 4. 31.** 150°C’de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 41.150°C’de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları**

Sıcaklık- Süre	Force(N)	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{50}$ (Mpa)	$\sigma_{75}$ (Mpa)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{120}$ (Mpa)
150°C- 8 dk	34,2	1,3	166,2	0,3	0,54	0,6	0,8
150°C- 10 dk	44,9	1,6	197	0,35	0,61	0,8	0,89
150°C- 12 dk	48,4	1,8	170,2	0,42	0,63	0,9	1,11
150°C- 14 dk	28,7	1,1	105	0,47	0,7	1	-
150°C- 16 dk	26,8	1	111,4	0,42	0,61	0,8	-

150°C’de farklı sürelerdeki T tipi yırtılma numuneleri incelendiğinde 150°C’deki çekme-kopma test sonuçlarıyla benzer bir gerilme değişimi olduğu gözlenmiştir. Burada doğru değerlendirme yapabilmek için yırtılma test sonuçları çekme-kopma ve rheometre test sonuçları yani pişme karakteristikleri ile birlikte ele alınacaktır. %75 ve %100 uzama değerlerindeki gerilme değerleri incelendiğinde 14.dk’ya kadar artan süreyle orantılı olarak gerilme değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi artan pişme süresiyle birlikte çapraz bağlanmanın daha çok gerçekleşmesidir. 16.dk’da %75 ve %100 uzama değerleri incelendiğinde 14. dk’ya göre gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji artan süre nedeniyle kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde düşme meydana gelmiştir.

### 160°C, T Tipi Yırılma Numunesinin Farklı Sürelerdeki Yırılma Grafikleri



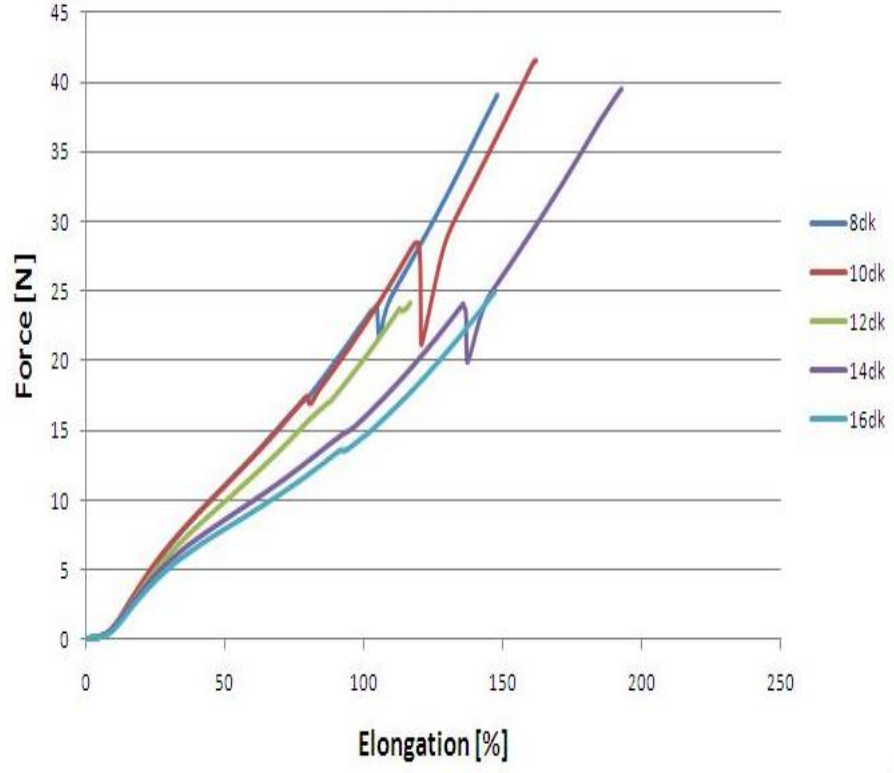
Şekil 4. 32. 160°C’de T tipi yırılma numunesinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 42.160°C’de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları**

Sıcaklık- Süre	Force(N)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{50}$ (Mpa)	$\sigma_{75}$ (Mpa)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{120}$ (Mpa)
160°C- 8 dk	45,3	1,7	146,3	0,47	0,69	0,96	1,22
160°C- 10 dk	25,6	0,9	96	0,47	0,69	-	-
160°C- 12 dk	31,5	1,2	129,6	0,4	0,6	0,81	1,05
160°C- 14 dk	25,8	1	102,1	0,45	0,67	0,96	-
160°C- 16 dk	37,5	1,4	162,1	0,37	0,56	0,72	0,92

Burada 160°C-10 dk’da en iyi sonucun elde edildiği durum olarak gerçekleşmiştir. 10.dk’dan itibaren %75 ve %100 uzama değerleri incelendiğinde göre gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir.

### 170°C, T Tipi Yırılma Numunesinin Farklı Sürelerdeki Yırılma Grafikleri



Şekil 4. 33. 170°C’de T tipi yırılma numunesinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri

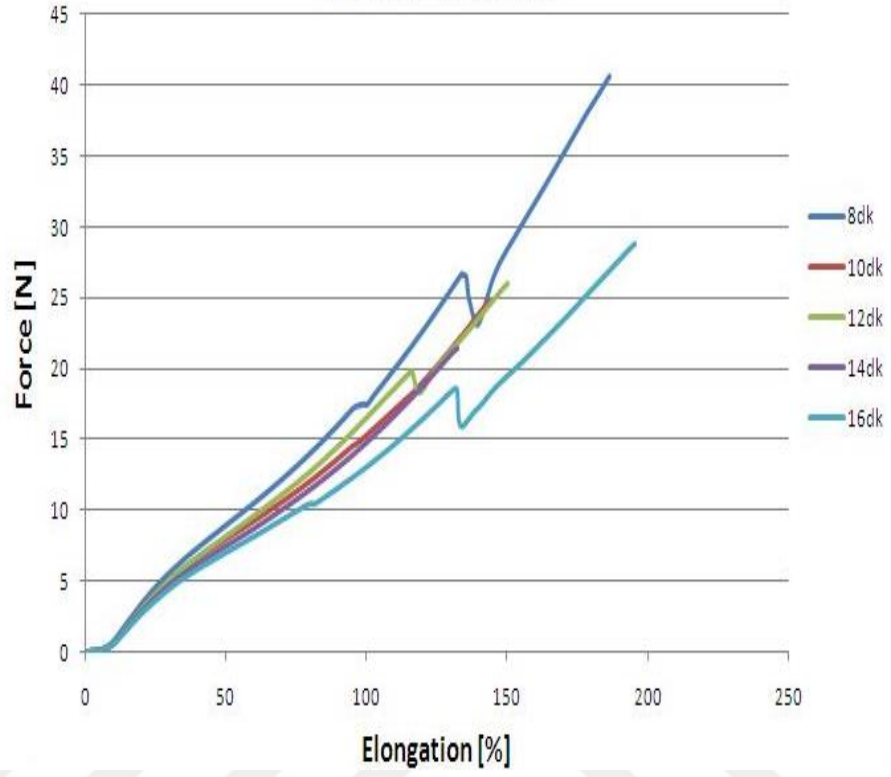
**Çizelge 4. 43.170°C’de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları**

Sıcaklık- Süre	Force(N)	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{50}$ (Mpa)	$\sigma_{75}$ (Mpa)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{120}$ (Mpa)
170°C- 8 dk	39,1	1,4	148	0,4	0,6	0,83	1,03
170°C- 10 dk	41,5	1,5	162	0,41	0,61	0,84	1,04
170°C- 12 dk	24,2	0,9	116,9	0,38	0,56	0,77	-
170°C- 14 dk	39,5	1,5	192,6	0,32	0,45	0,59	0,75
170°C- 16 dk	24,8	1	146,9	0,3	0,43	0,56	0,71

Burada çekme-kopma testleri ile hemen hemen aynı durum gerçekleşmiştir. 8 dk ve 10 dk’daki değerler birbirine çok yakın olduğundan iki sürede kauçuk numunesine verilen enerjinin T tipi yırtılma numunesinin yırtılma dayanımına etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. %75 ve %100 uzama değerleri incelendiğinde gerilme değerlerinde 10. dk’dan itibaren düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir.



### 180°C, T Tipi Yırılma Numunesinin Farklı Sürelerdeki Yırılma Grafikleri



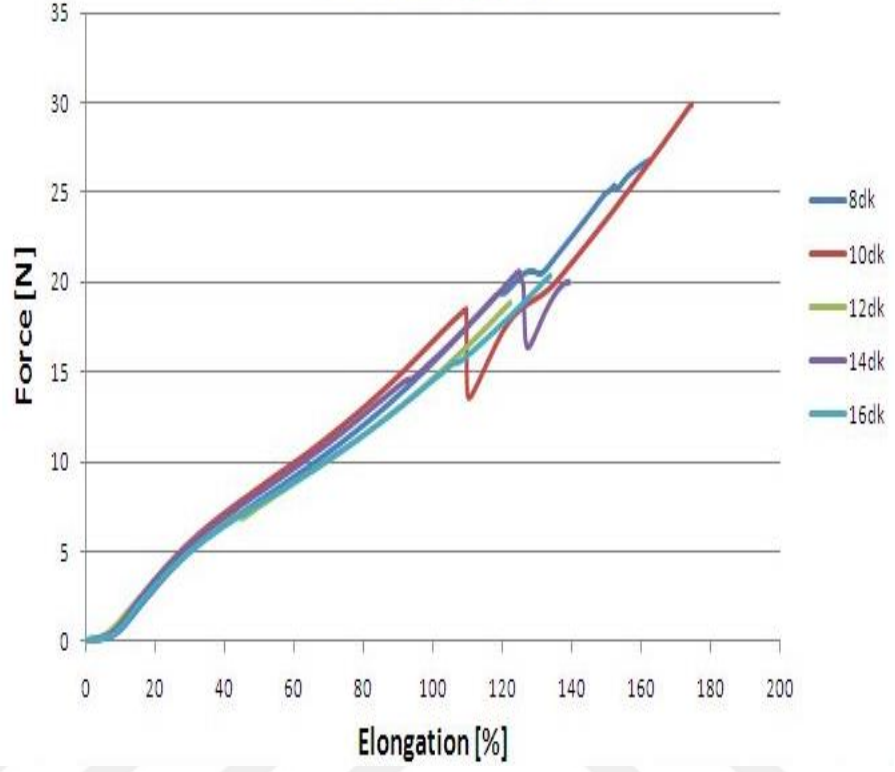
Şekil 4. 34. 180°C’de T tipi yırılma numunesinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 44.180°C’de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları**

Sıcaklık- Süre	Force(N)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{max}$ (%)	$\sigma_{50}$ (Mpa)	$\sigma_{75}$ (Mpa)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{120}$ (Mpa)
180°C- 8 dk	40,7	1,6	186,4	0,34	0,5	0,66	0,86
180°C- 10 dk	24,7	0,9	144,1	0,3	0,43	0,58	0,73
180°C- 12 dk	26	1	150,4	0,3	0,44	0,61	0,69
180°C- 14 dk	21,4	0,8	132,1	0,29	0,41	0,57	0,72
180°C- 16 dk	28,8	1,1	195,3	0,27	0,38	0,5	0,64

Bu sıcaklıktan itibaren artık artan sürenin bir önemi kalmamıştır. Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuş ve artık mekanik özellikler sabit kalmıştır. Bu durum sıcaklığın yüksekliği nedeniyle kauçuk karışımının çok erken piştiğini yani kavrulma meydana geldiğini gösterir. Grafikte değişiklikler ihmal edilebilir düzeydedir.

### 190°C, T Tipi Yırılma Numunesinin Farklı Sürelerdeki Yırılma Grafikleri



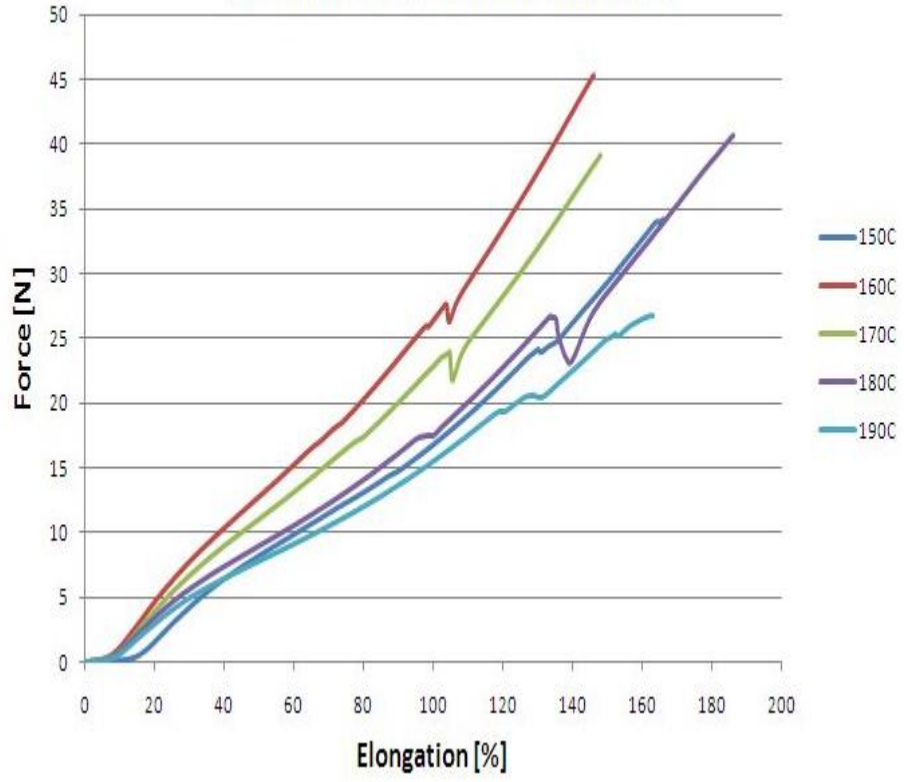
Şekil 4. 35. 190°C’de T tipi yırılma numunesinin farklı sürelerdeki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4. 45.190°C’de T tipi yırtılma numunesinin farklı sürelerdeki stress-elongation test sonuçları**

Sıcaklık- Süre	Force(N)	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{50}$ (Mpa)	$\sigma_{75}$ (Mpa)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{120}$ (Mpa)
190°C- 8 dk	26,8	1	162,8	0,29	0,42	0,58	0,73
190°C- 10 dk	29,9	1,1	174,7	0,3	0,44	0,6	0,62
190°C- 12 dk	18,8	0,7	122,4	0,27	0,39	0,53	0,67
190°C- 14 dk	20,6	0,7	139,2	0,3	0,43	0,56	0,71
190°C- 16 dk	20,3	0,7	133,8	0,28	0,39	0,53	0,65

Grafik incelendiğinde eğrilerin birbirine çok yakın olduğu ve artık sürenin bu sıcaklık için etkili bir parametre olmadığı görülmektedir. Bu sıcaklıkta sıcaklığın yüksek olması nedeniyle erken pışme gözlenmiştir. Yüksek sıcaklık nedeniyle bağ uzunluğu kısalmış yani kauçukta kavrulma meydana gelmiştir.

### 8 dk'da, T Tipi Yırılma Numunesinin Farklı Sıcaklıklardaki Yırılma Grafikleri

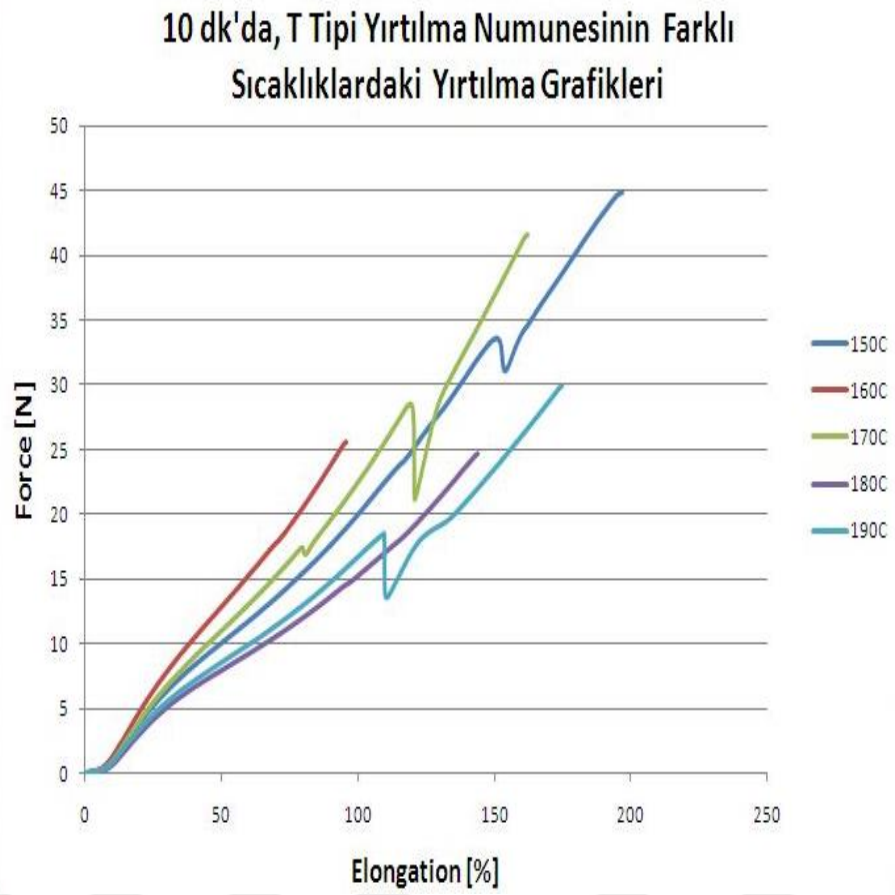


Şekil 4. 36. 8 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4.** 46.8 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık- Süre	Force(N)	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{50}$ (Mpa)	$\sigma_{75}$ (Mpa)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{120}$ (Mpa)
8 dk - 150°C	34,2	1,3	166,2	0,3	0,54	0,6	0,8
8 dk - 160°C	45,3	1,7	146,3	0,47	0,69	0,96	1,22
8 dk - 170°C	39,1	1,4	148	0,4	0,6	0,83	1,03
8 dk - 180°C	40,7	1,6	186,4	0,34	0,5	0,66	0,86
8 dk - 190°C	26,8	1	162,8	0,29	0,42	0,58	0,73

Burada sıcaklığın etkisi bariz olarak belli olmaktadır. %100 ve % 120 uzama değerleri baz alındığında 8 dk için 150°C için vulkanizasyon tam olarak gerçekleşmediği çapraz bağların oluşmadığı gözlenmektedir. Çapraz bağlanma tamamlanmadan vulkanizasyon işlemi kesildiğinden gerilme değerleri düşük çıkmıştır. %100 ve %120 uzama değerleri incelendiğinde artan sıcaklığın büyük etkisiyle 160°C'den itibaren gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun sebebi artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir. Bu durumu rheometre test sonuçlarında da görmekteyiz. Artan sıcaklıkla birlikte  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerleri hızlı bir azalış göstermiştir.



Şekil 4. 37. 10 dk'da T tipi yırılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

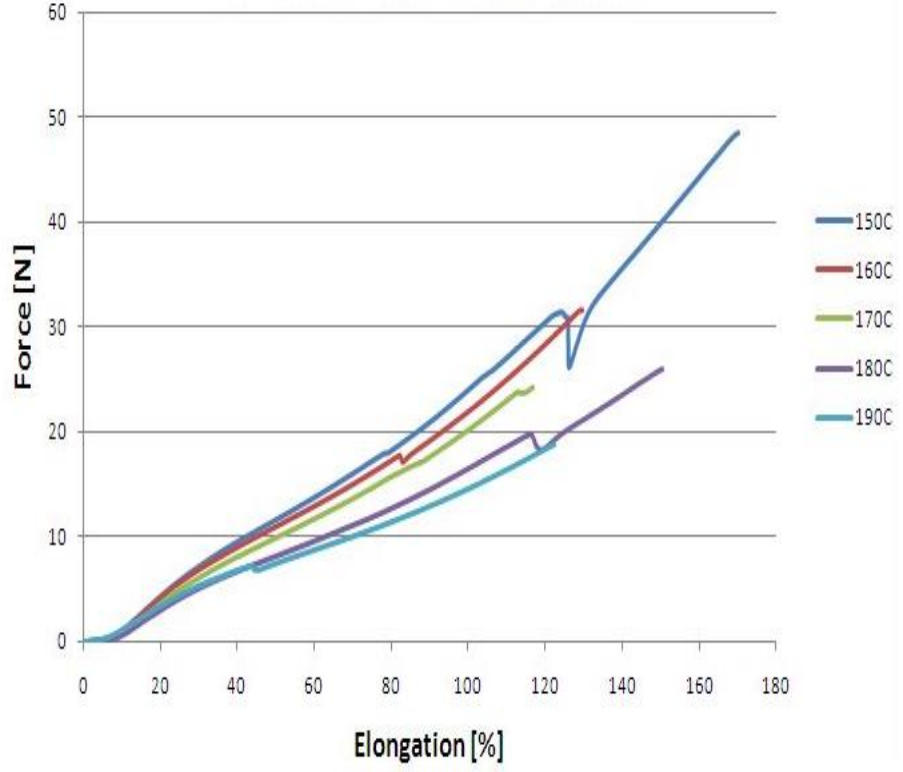
**Çizelge 4.47.10** dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık- Süre	Force(N)	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{50}$ (Mpa)	$\sigma_{75}$ (Mpa)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{120}$ (Mpa)
10 dk - 150°C	44,9	1,6	197	0,35	0,61	0,8	0,89
10 dk - 160°C	25,6	0,9	96	0,47	0,69	-	-
10 dk - 170°C	41,5	1,5	162	0,41	0,61	0,84	1,04
10 dk - 180°C	24,7	0,9	144,1	0,3	0,43	0,58	0,73
10 dk - 190°C	29,9	1,1	174,7	0,3	0,44	0,6	0,62

Burada da 8 dk'daki durumla aynı şekilde gerçekleşmiş ve artan sıcaklıkla malzemenin mekanik özelliklerinde azalmalar meydana gelmiştir. %50 ve % 75 uzama değerleri baz alındığında 10 dk için 150°C için vulkanizasyon tam olarak gerçekleşmediği çapraz bağların oluşmadığı gözlenmektedir. Bu durumu  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerlerinden görebiliriz. Çapraz bağlanma tamamlanmadan vulkanizasyon işlemi kesildiğinden gerilme değerleri düşük çıkmıştır. %50 ve %75 uzama değerleri incelendiğinde artan sıcaklığın büyük etkisiyle 160°C'den itibaren gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Artan sıcaklıkla birlikte daha fazla enerji kauçuğa iletildiğinden çapraz bağlanma çok hızlı gerçekleşmiştir.



### 12 dk'da, T Tipi Yırtılma Numunesinin Farklı Sıcaklıklardaki Yırtılma Grafikleri



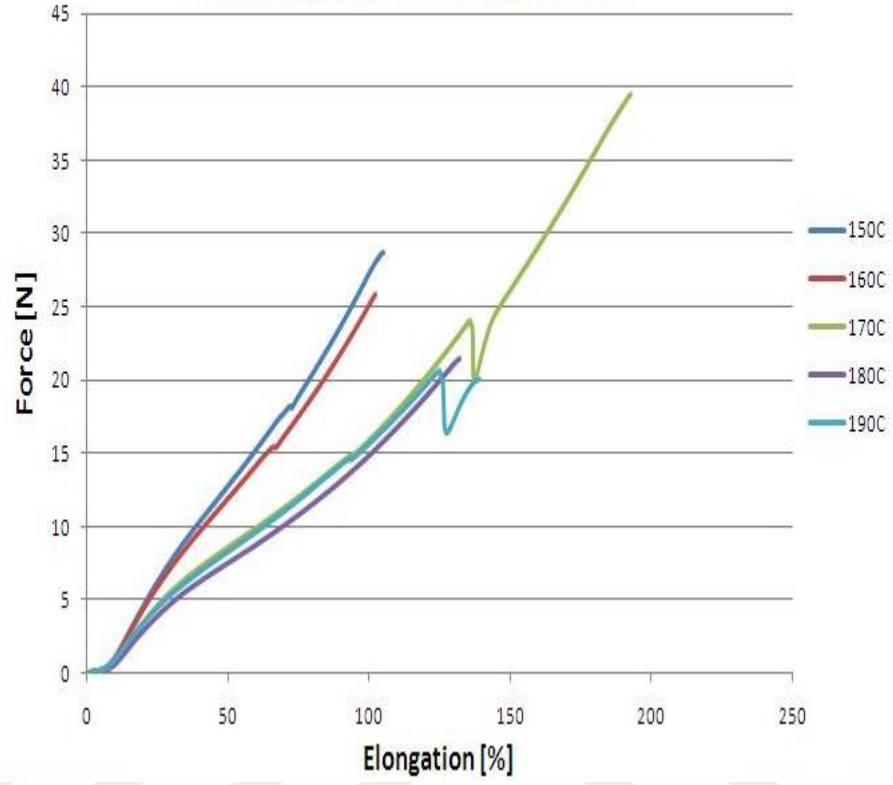
Şekil 4. 38. 12 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4.** 48.12 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık- Süre	Force(N)	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{50}$ (Mpa)	$\sigma_{75}$ (Mpa)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{120}$ (Mpa)
12 dk - 150°C	48,4	1,8	170,2	0,42	0,63	0,9	1,11
12 dk - 160°C	31,5	1,2	129,6	0,4	0,6	0,81	1,05
12 dk - 170°C	24,2	0,9	116,9	0,38	0,56	0,77	-
12 dk - 180°C	26	1	150,4	0,3	0,44	0,61	0,69
12 dk - 190°C	18,8	0,7	122,4	0,27	0,39	0,53	0,67

Burada sürenin etkisiyle ilk defa 150°C'deki gerilme değerinin 160°C'den fazla olduğu görülmektedir. Bu süreden itibaren 160°C'deki numunelerde tersine çevrim olayı gerçekleşmeye başlamıştır. %50 ve %75 uzama değerleri incelendiğinde artan sıcaklığın büyük etkisiyle gerilme değerlerinde düşme gözlenmiştir.

### 14 dk'da, T Tipi Yırtılma Numunesinin Farklı Sıcaklıklardaki Yırtılma Grafikleri



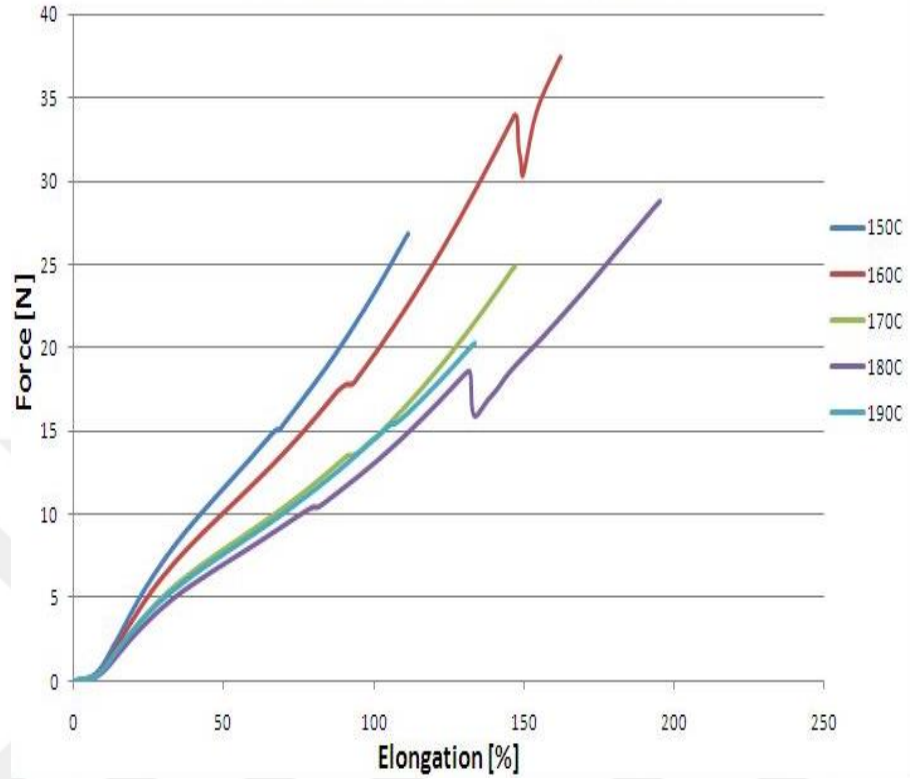
Şekil 4. 39. 14 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4.** 49.14 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık- Süre	Force(N)	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{50}$ (Mpa)	$\sigma_{75}$ (Mpa)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{120}$ (Mpa)
14 dk - 150°C	28,7	1,1	105	0,47	0,7	1	-
14 dk - 160°C	25,8	1	102,1	0,45	0,67	0,96	-
14 dk - 170°C	39,5	1,5	192,6	0,32	0,45	0,59	0,75
14 dk - 180°C	21,4	0,8	132,1	0,29	0,41	0,57	0,72
14 dk - 190°C	20,6	0,7	139,2	0,3	0,43	0,56	0,71

12 dk'daki durum devam etmiş fakat artan süre nedeniyle 12 dk'ya göre 170°C'deki numunede oluşan çapraz bağlarda geri çevrim oluşmuş ve malzemenin fiziksel özelliklerinde büyük oranda düşme meydana gelmiştir. Grafik beklenen durum gibi gerçekleşmiştir. Süre optimum değeri aştığı için her bir sıcaklık artışında malzemenin fiziksel özelliklerinde azalma meydana gelmiştir.

### 16 dk'da, T Tipi Yırılma Numunesinin Farklı Sıcaklıklardaki Yırılma Grafikleri



Şekil 4. 40. 16 dk'da T tipi yırılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki force-elongation test grafikleri

**Çizelge 4.** 50.16 dk'da T tipi yırtılma numunesinin farklı sıcaklıklardaki stress-elongation test sonuçları

Sıcaklık- Süre	Force(N)	$\sigma_{\max}$ (Mpa)	$\epsilon_{\max}$ (%)	$\sigma_{50}$ (Mpa)	$\sigma_{75}$ (Mpa)	$\sigma_{100}$ (Mpa)	$\sigma_{120}$ (Mpa)
16 dk - 150°C	26,8	1	111,4	0,42	0,61	0,8	-
16 dk - 160°C	37,5	1,4	162,1	0,37	0,56	0,72	0,92
16 dk - 170°C	24,8	1	146,9	0,3	0,43	0,56	0,71
16 dk - 180°C	28,8	1,1	195,3	0,27	0,38	0,5	0,64
16 dk - 190°C	20,3	0,7	133,8	0,28	0,39	0,53	0,65

Artık kauçuk karışımı vulkanizasyon sonrası sert bir malzeme haline gelmiş ve viskoelastiklik özelliğini kaybetmiştir. Çapraz bağ uzunluğu çok kısaldığı için her bir sürede sıcaklığın etkisi nedeniyle geri çevrim oluşmuştur. Bu durum sıcaklığın yüksekliği nedeniyle kauçuk karışımının çok erken piştiğini yani kavrulma meydana geldiğini gösterir.

## 5. SONUÇ (TARTIŞMA ve SONUÇ)

Bu çalışma temel olarak üç adımda gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci adımında karbon siyahı dolgululu kauçuk karışımı belirli formülasyon dahilinde hazırlanmıştır. Çalışmanın ikinci adımında hazırlanan kauçuk karışımının rheometre testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın üçüncü adımında kauçuk karışımı farklı sıcaklık ve sürelerde vulkanize edilip çekme-kopma ve yırtılma testleri gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşamada rheometre test sonuçları değerlendirildiğinde aynı süre içerisinde farklı sıcaklıklarda yapılan vulkanizasyon işlemlerinde sıcaklık arttıkça  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  değerleri azalmaktadır. Bu durum sıcaklığın etkisini ve takviyenin derişiminin kavurma süresine etkisini gösterir. Kavurma (Scorch time) süresinin NR için sıcaklığa bağlı olarak bir azalma eğilimi gösterdiği ve bu eğilimin karbon siyahı için de geçerli olduğu ortaya çıkmıştır.

Üçüncü adımda gerçekleştirilen çekme-kopma testleri sonucunda en yüksek dayanım  $160^{\circ}\text{C}-10$  dk'da gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu sıcaklıktan itibaren artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir.  $190^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa gelindiğinde artık sürenin bir önemi kalmamış ve malzememiz artan süreden etkilenmeden neredeyse aynı gerilme değerlerini elde etmiştir. Grafikler birbirine çok yakın olarak gerçekleşmiştir. Bu durum sürenin bu sıcaklıkta etkisinin olmadığını göstermektedir.

Üçüncü adımda gerçekleştirilen B, C ve T tipi yırtılma numuneleriyle gerçekleştirilen testler sonucunda en yüksek dayanım  $160^{\circ}\text{C}-10$  dk gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu sıcaklıktan itibaren artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya

başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir. 190°C sıcaklığa gelindiğinde artık sürenin bir önemi kalmamış ve malzememiz artan süreden etkilenmeden neredeyse aynı gerilme değerlerini elde etmiştir. Grafikler birbirine çok yakın olarak gerçekleşmiştir. Bu durum sürenin bu sıcaklıkta etkisinin olmadığını göstermektedir.

Her bir sıcaklık aralığında ufak dalgalanmalar olsa da genel anlamda tüm test grafikleri benzer sonuçlar göstermiştir. Bu durum her bir kauçuk testinde önemli parametrenin sıcaklık ve süre olduğunu bu sıcaklık ve sürelerdeki değişiminin malzemenin mekanik özelliklerine etkileri yukarıdaki grafiklerde değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak bu hazırlanan karışım için en iyi mekanik özelliklerin elde edildiği durum hem yırtılma hem de çekme-kopma testleri incelendiğinde 160°C-10 dk olduğu gözlenmiştir. Bu ürün körükte kullanıldığı zaman farklı tipte yırtılma testleri de şunu göstermiştir. Yırtılma ömrünü maksimum yapabilmek için hazırlanan kauçuk 160°C-10 dk'da vulkanize edilmelidir.



## KAYNAKLAR

- Annicelli, R., Balodis, R., Boyce, W., Coreau, A., Davis, C., Dvornek, J., Dvornek L., Gibbs, I., Gorman, D., Hogan, J., Price, R., Supp, G., Taylor, W., Waters, G., Wilson, W. 1990.** Vanderbilt Associates, Vanderbilt World Trade Corporation, Canada, 832s.
- Savran, H. 2001.** Elastomer Teknolojisi-1. Acar Matbaacılık, İstanbul, 136s.
- Hamed, G.2015.** Materials and Compounds, *Akron University Polymer Science Department*, Akron, Ohio 44325-3909, ABD
- 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 Kimya Anabilim Dalı*, Adana
- Kasım, H. 2018.** Karbon Esaslı Nano Katkılar ile Elektrik İletken Elastomer Nanokompozitler Geliştirilmesi: Statik ve Tekrarlı Dinamik Yükler Altında Elektriksel, Fiziksel ve Mekanik Karakterizasyonu ve Algılama Performansının Belirlenmesi,*Doktora Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa
- Brennan, J.J. and Lambert, D.H. 1972.** Rubber-black, interaction influence on the cure level of vulcanizates, *Rubber Chemistry and Technology*, 45-94
- Porter, M., Skinner, T. D., m. (A. Wheelans,** structural characterization of vulcanizates. Part viii. The n-cyclohexylbenzothiazole-2-sulfenamide-accelerated sulfur vulcanization of natural rubber at 140-180°C. And of synthetic cis-1,4-polyisoprene at 140°C, *Journal of Applied Polymer Science*, 11, 2271
- Chen, C. H., Collins E. A., Koenig, J. L. and Shelton, J. R. 1982. *Rubber Chem. Technol.*, 55,103
- Amram B., Bokobza, L., Queslel, J. P., Monnerie, L. 1986.** Fourier-transform infrared dichroism study of molecularorientation in synthetic high cis-1,4-polyisoprene and in natural rubber, 27, 877–882. [CrossRef]
- Huneau B., 2011.** Strain-induced crystallization of natural rubber: A review of X-ray diffraction investigations, *Rubber Chem. Technology*,84, 425–452. [CrossRef]

[http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Sentetik%20Kau%20C3%A7uk%20C3%96zellikleri%20Ve%20Testleri.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sentetik%20Kau%20C3%A7uk%20C3%96zellikleri%20Ve%20Testleri.pdf)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erdi AYRANCI  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 24.07.1992  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Eyüp Topçu Anadolu Lisesi, 2010  
Lisans : Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine  
Mühendisliği Bölümü, (2010- 2014)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Pega Otomotiv San. ve Tic. A.Ş.

İletişim (e-posta) : erdi\_ayranci92@hotmail.com