



TARSUS  
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

TARSUS ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

MEZO GÖZENEKLİ SİLİSYUM DİOKSİT ( $\text{SiO}_2$ ) KATKILI  
ETİLEN PROPİLEN DİEN MONOMER (EPDM) KAUÇUKLARIN  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MEHMET CAN BİNGÖL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2024

**T.C.**  
**TARSUS ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**MEZO GÖZENEKLİ SİLİSYUM DİOKSİT (SiO<sub>2</sub>) KATKILI ETİLEN  
PROPİLEN DİEN MONOMER (EPDM) KAUÇUKLARIN ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**MEHMET CAN BİNGÖL**

**Danışman: Doç. Dr. SALİH HAKAN YETGİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TARSUS - 2024**

**Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;**

Bu çalışma, jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Başkan:** Doç. Dr. Salih Hakan YETGİN  
(Danışman)

**Üye:** Doç. Dr. Gökhan AÇIKBAŞ

**Üye:** Doç. Dr. Serdar COŞKUN

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../..../2024 tarih ve ...../.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**ONAY**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylıyorum.  
.../.../2024

Doç. Dr. Ayşe Ergin ÜNAL  
Enstitü Müdürü

**NOT:** Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

## ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. .... / .... / 2024

İMZA

Mehmet Can BİNGÖL

## ÖZET

# MEZO GÖZENEKLİ SİLİSYUM DİOKSİT (SiO<sub>2</sub>) KATKILI ETİLEN PROPİLEN DİEN MONOMER (EPDM) KAUÇUKLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MEHMET CAN BİNGÖL

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Salih Hakan YETGİN

Temmuz 2024, 62 sayfa

Bu çalışmada, mezo gözenekli silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) katkı malzemesinin etilen propilen dien monomer (EPDM) kauçuğunun reolojik, termal, elektriksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. EPDM hamuru ve 5, 11 ve 22 phr (per hundred of rubber) oranlarında mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> nano partikülleri, üretim reçetelerine uygun olarak 1.5 lt'lik laboratuvar tipi mini banbury ile açık mil kullanılarak hazırlanmıştır. Sonrasında, preste 180 °C'de 20 veya 40 dakika boyunca vulkanize edilerek test plakaları elde edilmiştir. Pres öncesi hareketli kalıp reometresi (MDR) ve Mooney viskozite testleri ile EPDM kauçuğun reolojik ve akışkanlık özellikleri incelenmiştir. Vulkanizasyon sonrası özelliklerin belirlenmesi için çekme testi ve kalıcı deformasyon testi, fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yoğunluk ve Shore A sertlik testleri, EPDM kauçuğunda mevcut olan katkıların dağılımı için ise dispersiyon analizi yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda, mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerinin, katkı içermeyen EPDM kauçuğu numunelerine oranla mooney viskozite değerlerinde ve optimum pişme sürelerinde (T90) artış, pişme hız indeksi (CRI), pişme genliği (CE) ve maksimum tork (MH) değerlerinde azalış gözlemlenmiştir. Katkı miktarının artmasıyla numunelerin sertlik değerlerinde bir miktar artış gerçekleşmiş ve sertlik değerleri 58-63 Shore A arasında tespit edilmiştir. Yoğunluk değerleri ve kül miktarları, mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkı miktarı artışıyla oranlı şekilde artmış ve EPDM kauçuğuna oranla EPDM/22MSiO<sub>2</sub> kauçuk numunesinde %4,1 yoğunluk artışı ile %135 kül miktarı artışı tespit edilmiştir. EPDM kauçuğuna kıyasla, mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile kopma mukavemeti ve çekme modülü (M100, M200, M300) değerlerinde önce artış daha sonra azalış, kopma uzaması değerlerinde ise önce azalış daha sonra artış gerçekleşmiştir. Kopma mukavemeti değerlerinde %3,8 artış ve %35,4 azalış gözlemlenmiş ve %497-%655 aralığında kopma uzaması değerleri tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** EPDM, Mezo gözenekli Silisyum dioksit, SiO<sub>2</sub>, Mekanik özellikler, Reolojik özellikler.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF MESOPOROUS SILICON DIOXIDE (SiO<sub>2</sub>) FILLED ETHYLENE PROPYLENE DIENE MONOMER (EPDM) RUBBER

MEHMET CAN BİNGÖL

Master Thesis, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Salih Hakan YETGİN

July 2024, 62 pages

The purpose of this study is to find out how mesoporous silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) affects the mechanical, thermal, electrical and rheological properties of EPDM rubber. Using 1.5 lt of laboratory-type mini banbury and open shafts, the SiO<sub>2</sub> particles at 5, 11, and 22 phr (per hundred of rubber) ratios were prepared, following production prescriptions. Subsequently, test plates were obtained by vulcanizing at 180° for 20 or 40 minutes. The rheological and fluidity properties of the EPDM rubber were studied with pre-press motion mold rheometry (MDR) and Mooney viscosity tests. There were tensile tests and permanent deformation tests to determine post-vulcanization properties, density and Shore A hardness tests to determine physical characteristics, and dispersion analysis for the distribution of additives existing in EPDM rubber. It was found that the mooney viscosity values and optimal cure times (T<sub>90</sub>) increased, but the curing rate index (CRI), cure extent (CE), and maximum torque (MH) decreased compared to EPDM rubber samples that had no additives added. Increasing the amount of additives led to a slight increase in the samples' hardness values, which ranged from 58 to 63 Shore A. As the amount of mesoporous SiO<sub>2</sub> increased, so did the density and ash content. In EPDM/22MSiO<sub>2</sub> rubber samples, the ash content increased by 135% and the density also increased by 4.1% compared to EPDM rubber samples. When mesoporous SiO<sub>2</sub> was added to EPDM rubber, the breaking strength and tensile module values (M<sub>100</sub>, M<sub>200</sub>, and M<sub>300</sub>) increased and then decreased, and the breaking elongation values decreased and then increased. An increase of 3.8% and a decrease of 35.4% in breaking strength values were observed, and breaking elongation values ranging from 497% to 655% were detected.

**Keywords:** EPDM, mesoporous silicon dioxide, SiO<sub>2</sub>, mechanic properties, rheological properties.

## ÖNSÖZ

Bilgi birikimini esirgemedен yardım eden, cesaretlendiren ve rehberlik eden yaklaşımlarıyla bana her zaman destek olan saygıdeğer danışmanım Sayın Doç. Dr. Salih Hakan YETGİN' e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında, imkanlarını kullanımımıza sunan Seçil Kauçuk San. ve Tic. A.Ş. firmasına ve bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen Sayın İlker KÖPRÜ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu tez çalışmasında kullanılan mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> üretimini yaparak çalışmayı destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Fatma ULUSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında olduğu gibi bu tez çalışması sürecinde de beni bir an olsun yalnız bırakmayan; bana sonsuz destek, güler yüz, ve anlayış gösteren, huzur kaynağım sevgili eşim Zeynep CEYHAN BİNGÖL'e en derin sevgi ve teşekkürlerimi sunmak isterim. Ayrıca en sıkıntılı süreçlerde dahi yüzümü güldürebilen, ruhumu ve zihnimi arındıran, tarifsiz duygularla bağlı olduğum canım kızım Sezgi Aden'e sevgilerimi iletiyorum. Ve son olarak benim için varolan zamanın başlangıcından bu yana, bu günlere gelebilmem için koşulsuz destek ve sevgileriyle ellerinden gelen tüm imkanı seferber eden değerli annem, babam ve kardeşime minnetlerimi sunarım.

Mehmet Can BİNGÖL

Temmuz - 2024

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGE ve KISALTMALAR .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
GİRİŞ.....	1

### BÖLÜM I

#### TEORİK BİLGİLER

1.1. Polimerler.....	2
1.1.1. Termoplastikler.....	2
1.1.2. Termosetler.....	2
1.1.3. Elastomerler .....	3
1.2. Kauçuklar .....	3
1.3. Kauçuk Çeşitleri.....	4
1.4. Kauçuk Hamur Karışımındaki Maddeler.....	7
1.5. Vulkanizasyon .....	9

### BÖLÜM II

#### LİTERATÜR TARAMASI

### BÖLÜM III

#### MATERYAL VE METOD

3.1. Karışımı Oluşturan Bileşenler (Hammadde).....	15
3.2. Karışımın Hazırlanması .....	18
3.3. Karışımın Reolojik Özelliklerinin Tayini .....	19
3.3.1. Reometre Analizi .....	19
3.3.2. Mooney Viskozite Testi.....	20

3.4. Test Plakalarının Hazırlanması .....	21
3.5. Vulkanizasyon Sonrası Uygulanan Testler.....	23
3.5.1. Sertlik Ölçümü .....	23
3.5.2. Yoğunluk Tayini.....	23
3.5.3. Çekme Testi.....	24
3.5.4. Kalıcı Deformasyon Testi .....	25
3.5.5. Dispersiyon Testi.....	25
3.5.6. Abrasif Aşınma Testi .....	26
3.5.7. Kül Testi .....	27
3.5.8. Karışımın Yanmazlık Tayini (U194 Yanmazlık Testi).....	27
3.5.9. Elastikiyet (Geri Sekme) Testi.....	28
3.5.10. Elektriksel İletkenlik Testi .....	29
3.5.11. EDS ve SEM Analizleri.....	29

## **BÖLÜM IV**

### **BULGULAR VE TARTIŞMA**

4.1. Reometre Test Sonuçları.....	31
4.2. Mooney Viskozite Test Sonuçları.....	36
4.3. Sertlik Ölçümü Test Sonuçları .....	37
4.4. Yoğunluk Ölçümü Test Sonuçları .....	37
4.5. Çekme Testi Sonuçları .....	38
4.6. Kalıcı Deformasyon ve Yırtılma Dayanımı Test Sonuçları .....	42
4.7. Dispersiyon Testi Sonuçları.....	43
4.8. Abrasif Aşınma Testi Sonuçları .....	46
4.9. Kül Testi Sonuçları .....	47
4.10. Yanmazlık Tayini Testi Sonuçları (UL94 Yanmazlık Testi).....	48
4.11. Elastikiyet (Geri Sekme) Testi Sonuçları .....	49
4.12. Elektriksel İletkenlik Test Sonuçları .....	49
4.13. EDS ve SEM Analizleri Sonuçları .....	50

<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>53</b>
-------------------------------	-----------

<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>56</b>
----------------------	-----------



## SİMGE ve KISALTMALAR

<b>BR</b>	: Bütadien Kauçuğu
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	: Kalsiyum Karbonat
<b>CE</b>	: Pişme Genliği
<b>CR</b>	: Kloropren Kauçuğu
<b>CRI</b>	: Pişme Hız İndeksi
<b>C-Siyahı</b>	: Karbon Siyahı
<b>EPDM</b>	: Etilen Propilen Dien Monomer
<b>EPM</b>	: Etilen-Propilen Monomer
<b>FT-IR</b>	: Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrometresi
<b>HCl</b>	: Hidroklorik Asit
<b>HNT</b>	: Halosit
<b>IIR</b>	: Butil Kauçuğu
<b>IR</b>	: İzopren Kauçuğu
<b>MBT</b>	: 2-merkaptobenzotiyazol
<b>MDR</b>	: Hareketli Kalıp Reometresi
<b>MH</b>	: Maksimum Tork Değeri
<b>ML</b>	: Minimum Tork Değeri
<b>NBR</b>	: Akrilonitril Bütadien Kauçuğu
<b>PEG</b>	: Polietilen Glikol
<b>Phr</b>	: Per Hundred Rubber
<b>SBR</b>	: Stiren-Bütadien Kauçuğu
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>SiO<sub>2</sub></b>	: Silisyum Dioksit
<b>SiR</b>	: Slikon Kauçuk
<b>T<sub>90</sub></b>	: Optimum pişme süresi
<b>TEM</b>	: Geçirimli Elektron Mikroskobu
<b>TEOS</b>	: Tetraetil ortosilikat
<b>TMTD</b>	: Tetrametiltiuram disülfür
<b>Ts<sub>2</sub></b>	: Scorch süresi
<b>ZnO</b>	: Çinko Oksit

## TABLULAR LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 1.1. Vulkanize Edilmiş ve Vulkanize Edilmemiş Kauçukların Temel Farkları .....	4
Tablo 3.1. EPDM Kauçukların Numunelerinde Kullanılan Reçeteler .....	15
Tablo 4.1. EPDM Hamur Karışımların Reolojik Özellikleri.....	34
Tablo 4.2. Mooney Viskozite Test Sonuçları .....	36
Tablo 4.3. Yırtılma Dayanımı Test Sonuçları.....	43
Tablo 4.4. Dispersiyon Test Sonuçları.....	45
Tablo 4.5. Kül Testi Sonuçları.....	47
Tablo 4.6. Yanmazlık Tayini Testi Sonuçları.....	49
Tablo 4.7. Elastikiyet (Geri Sekme) Testi Sonuçları .....	49
Tablo 4.8. Elektriksel İletkenlik Testi Sonuçları .....	50

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Kalsine İşlemi Sonucu Elde Edilen Mezo Gözenekli SiO <sub>2</sub> Tozu.....	16
Şekil 3.2. PEG35000 Kullanılarak Elde Edilen Mezo Gözenekli SiO <sub>2</sub> 'nin XRD Kırınım Desenleri .....	17
Şekil 3.3. Mezo Gözenekli SiO <sub>2</sub> Partikülleri a) SEM Görüntüsü b) TEM Görüntüsü ...	17
Şekil 3.4. 1,5 Lt'lik Laboratuvar Tipi Mini Banbury .....	18
Şekil 3.5. Laboratuvar Tipi Açık Mil .....	19
Şekil 3.6. Reometre Test Cihazı .....	19
Şekil 3.7. Mooney Viskozite Test Cihazı .....	20
Şekil 3.8. Hidrolik Pres.....	21
Şekil 3.9. Kalıplar ve Test Plakaları .....	22
Şekil 3.10. a) Kesme Cihazı, b) Kesme Bıçakları, c) Testler İçin Uygun Geometride Kesilen Örnekler .....	22
Şekil 3.11. Sertlik Ölçüm Cihazı .....	23
Şekil 3.12. Yoğunluk Ölçüm Cihazı.....	24
Şekil 3.13. Çekme Test Cihazı.....	24
Şekil 3.14. Kalıcı Deformasyon Testi Aparatı.....	25
Şekil 3.15. Dispersiyon Test Cihazı.....	25
Şekil 3.16. Aşınma Test Cihazı .....	26
Şekil 3.17. Kül Testi Fırını .....	27
Şekil 3.18. a) FTT-01 Yanmazlık Test Cihazı, b) Yanma Testi Anı .....	28
Şekil 3.19. Elastikiyet Test Cihazı.....	28
Şekil 3.20. Hypotmax 7700 Yüksek Gerilim Test Cihazı .....	29
Şekil 3.21. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	30
Şekil 4.1. Karışımların MDR ile elde edilen pişme eğrileri a) EPDM, b)EPDM/5MSiO <sub>2</sub> , c) EPDM/11MSiO <sub>2</sub> , d) EPDM/22MSiO <sub>2</sub> .....	33
Şekil 4.2. Hamur Karışımlarının CRI, Minimum Değerlerinin Grafik Hali.....	35
Şekil 4.3 Hamur Karışımlarının (CE) Pişme Genliği Değerlerinin Grafik Hali.....	35
Şekil 4.4. Hamur Karışımlarının Mooney Viskozite Değerleri Grafiği .....	36
Şekil 4.5. Hamur Karışımlarının Sertlik Ölçümü Değerlerinin Grafik Hali.....	37
Şekil 4.6. EPDM Kauçuk Numunelerine Ait Yoğunluk Ölçümü Test Sonuçları Grafiği .....	38
Şekil 4.7. Numunelere Ait Kopma Mukavemeti Değerleri Grafiği.....	39

Şekil 4.8. Numunelere Ait Kopma Uzaması Değerleri Grafiği .....	40
Şekil 4.9. EPDM Kauçuğu ve Mezo Gözenekli SiO <sub>2</sub> Katkılı EPDM Kauçuklarında %100, %200 ve %300 (M100, M200, M300) Uzama Değerlerinde Oluşan Gerilim ....	41
Şekil 4.10. EPDM Kauçuk Numuneleri Kalıcı Deformasyon (%) Test Sonuçları Grafiği .....	42
Şekil 4.11. EPDM Kauçuğu ve Mezo Gözenekli SiO <sub>2</sub> Katkılı Kauçuk Numunelerine Ait Dispersiyon Testi Görüntüleri .....	44
Şekil 4.12. EPDM Kauçuk Numunelerinin Aşınma Testi Grafiği .....	47
Şekil 4.13. Hamur Karışımlarının Yanmazlık Testi Grafiği.....	48
Şekil 4.14. Mezo Gözenekli SiO <sub>2</sub> Katkısının EPDM Kauçuğunun Mikro Yapısı Üzerindeki Etkisi. a) 0 phr b) 5 phr c) 11 phr d) 22 phr .....	52



## GİRİŞ

Günümüzde gelişen, değişen bireysel ve teknolojik ihtiyaçlar, endüstriyel uygulamalarda malzemelerin özellikleri ve işlevselliğine dair yeni talepler ve beklentiler doğurmakta ve gelişimi önemli hale getirmektedir. Bu bağlamda, hayatın ve endüstrinin farklı alanlarında polimer esaslı kauçuk malzemelerde dikkat çekmektedir. Doğal kauçuk alternatiflerinden EPDM (etilen propilen diyen monomer) kauçukları, mükemmel fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, dayanıklılığı ve esnekliği sayesinde otomotiv, elektrik, inşaat ve diğer birçok endüstriyel sektörde yaygın olarak tercih edilmekte ve geniş bir kullanım alanına sahip olduğu bilinmektedir. EPDM kauçukların kullanım alanlarına örnek olarak; araç lastikleri, otomotiv contaları, yakıt ve hidrolik sistem hortumları, borular, çatı membranları, sızdırmazlık elemanları, o-ringler, elektrik yalıtım malzemeleri, kimyasal direnç gerektiren laboratuvar ekipmanları, yüksek elastikiyet gerektiren tıbbi cihaz parçaları, vibrasyon yalıtım takozları ve konveyör bantları gibi birçok örnek verilebilmektedir. Beklentilerin her geçen gün artması ve EPDM kauçuklarının kullanımlarında karşılaşılan bazı sınırlamalar, farklı mühendislik disiplinlerinde yeni arayışların doğmasına sebebiyet vermektedir. Bu kapsamda EPDM kauçukların mekanik, reolojik, termal ve kimyasal özellikleri gibi birtakım kabiliyetlerini geliştirebilmek adına çalışmalar yürütülmektedir.

Bu tez çalışmasında, farklı sektörlerin EPDM kauçuklarına dair beklentilerine istinaden, endüstriyel bir EPDM kauçuk reçetesine farklı oranlarda mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> (silisyum dioksit) eklenmiş ve yeni elde edilen EPDM kauçuk numunelerinin mekanik, reolojik ve termal özellikleri incelenmiştir. Bu bağlamda, mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> partiküllerinin EPDM matrisine etkisi üzerine yapılan deneysel çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aktarılmıştır.

# BÖLÜM I

## TEORİK BİLGİLER

### 1.1. Polimerler

Polimerler, çok sayıda tekrarlayan küçük birimlerin kimyasal bağlarla birbirine ısı ve sıcaklık tesirinde bağlanarak oluşturduğu büyük moleküllerdir. Bahsi geçen küçük birimlere monomer adı verilmektedir. Monomerler polimerizasyon tepkimesi geçirerek birbirleri arasında kimyasal bağlar oluştururlar ve polimer moleküllerine dönüşürler. Selüloz, nişasta ve doğal kauçuk gibi sadece doğal yollarla elde edilebilen polimerlerin yanı sıra, polietilen (PE), polistiren (PS) ve polipropilen (PP) gibi sentetik yollarla üretilen polimerler ve yarı sentetik polimerler de hayatımızda yer almakta ve çeşitli kullanım alanlarında karşılaşılmaktadır. Polimerler kimyasal yapılarına, bileşiklerinin kaynağına, zincir şekillerine, monomer şekillerine, sentez yöntemlerine, morfolojilerine ve ısıya karşı davranışlarına göre olmak üzere birçok şekilde sınıflandırılabilir. Isıya karşı gösterdikleri davranışlarına göre, termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere 3 başlık altında sınıflandırılmaktadır.

#### 1.1.1. Termoplastikler

Termoplastik malzemeler ısı ve basınç altında yumuşayarak şekil değiştiren, akıcı hale gelen, ısı ve basınç tesiri kaldırılarak soğutulduklarında ise konuldukları kalıbın şeklini kendi şekli olarak koruyan polimer malzeme çeşitleridir. Uzun zincir yapılarına sahip doğrusal moleküllere sahiptirler. Termoplastikler, genellikle oda sıcaklığının üzerinde olan camsı geçiş sıcaklıklarına sahiptirler ve camsı geçiş sıcaklıklarında ısı ve basınç etkisiyle kolayca şekillendirilirler. Bu sebeple oda sıcaklıklarında genellikle rijit ve kullanılabilir formlarında bulunurlar. Bununla birlikte, defalarca yeniden ısıtılabilir ve yeniden şekillendirilebilirler. Geri dönüşüme uygun malzemeler olduklarından tekrar tekrar dönüştürülüp kaynak olarak kullanılabilirler. Polietilen (PE) ve Polistiren (PS) örnek olarak verilebilmektedir.

#### 1.1.2. Termosetler

Termoset malzemeler, ısı işlemiyle yalnız bir defa şekillendirilebilen ve geri dönüşüme ya da yeniden şekillendirmeye uygun olmayan polimer çeşitleridir. Polimerizasyon reaksiyonları sırasında zincirleri arasında genellikle çapraz bağ yapısında

kovalent bağlar meydana gelir. Bu bağlar bir kere oluşturulduklarında nihai formlarına kavuşurlar ve ısı, solventler gibi koşullara dayanıklı hale gelirler. Termosetlerin boyutsal stabilite ve darbe dirençleri yüksektir. Polimerizasyonları sırasında şekillendirilmeleri gerekmektedir. Termosetler genellikle kırılğan ve sağlam yapıları, yüksek darbe dayanımları, yüzey düzgünlükleri, renklendirilebilmeleri ve yüksek ısı dayanıklılıkları gibi özellikleri ile ön plandadırlar. Epoksi ve fenol formaldehit reçineler örnek olarak verilebilmektedir.

### **1.1.3. Elastomerler**

Elastomer malzemeler, oda sıcaklığında uygulanan bir kuvvet tesirinde orijinal uzunluğunun en az iki katına uzayabilen ve kuvvet kaldırıldığında hızla orijinal uzunluğuna dönererek kuvvet tesiri öncesi haline dönen polimer malzeme grubudurlar. Elastomer malzemeler kopma uzamalarının yüksek olması, kabul edilebilir düzeyde kopma mukavemetine sahip olmaları, aşınma dirençleri, solvent dayanımları ve dış hava şartlarına dayanım gibi bir takım önemli özellikleri ile bilinmektedirler.

Bir polimer; yüksek molekül ağırlığına, düşük zincirler arası kuvvete, gelişigüzel zincir yapısına ve çapraz bağlanabilme özelliğine sahip olursa ancak elastomer olarak nitelendirilebilir (Tepebağ,2007). Kauçuk malzemeler, elastomer malzemelerin alt grubunda yer almaktadır.

## **1.2. Kauçuklar**

Tarihte ilk olarak doğal kauçuklar, “ağlayan ağaç” manasına gelen "caochu" olarak adlandırılan ağaçlardan elde edilmiştir. Daha sonra bu ağaç, Amerika'nın keşfinden sonra Avrupalı botanikçiler tarafından verilen “Hevea brasiliensis” adı ile anılmıştır. Hevea brasiliensis ağacının gövdesinden elde edilen beyaz renkte bir süt yani doğal lateks, lateksin kurutulması yoluyla ise doğal kauçuklar (NR) elde edilmiştir. 1824 yılında İngiliz Thomas Hancock, doğal kauçuğun mastikasyonu keşfetmiş ve "mastikasyon makinesi" adı verilen tarihteki ilk yoğurma makinesini yapmıştır. 1839 yılında Amerikalı kimyager Charles Goodyear, kauçuk endüstrisinin geleceğini tamamen değiştirecek olan keşfi yapmıştır. Bu keşif doğal kauçuğun kükürt ile karıştırılması ve ısıya maruz bırakılması yani kükürt vulkanizasyonudur. Bu durum, karışımın çok daha yüksek performansa sahip bambaşka bir malzemeye dönüşmesine imkân tanımış ve doğal kauçuk ürünlerin geleneksel dezavantajlarının önüne geçmiştir. 1879 yılında Fransız

Gustave Bouchardat, sentetik kauçuğun nasıl üretileceğini göstermiştir. 1909'da Fritz Hofmann'ın ilk kullanılabilir sentetik kauçuğu (SR) icat etmiştir. EPDM (Etilen propilen dien) kauçuğuna katkıları ile bilinen K.Ziegler ve G.Natta, 1963'te polimerler dünyasına katkıları dolayısıyla ortaklaşa Nobel Kimya Ödülü'nü almaya hak kazanmışlardır. (Erbek Cömez,2023).

Lateksten üretilen kauçuklar doğal kauçuk (NR) olarak adlandırılırken petrol türevi malzemelerden üretilen kauçuklar ise sentetik kauçuk (SR) olarak adlandırılmaktadır. Kauçuklar çapraz bağlanmamış, ama üç boyutlu olarak çapraz bağlanabilme özelliğine sahip polimerlerdir. Bu üç boyutlu olarak çapraz bağlanabilme durumu vulkanizasyon olarak adlandırılmaktadır. Vulkanizasyon tipleri genellikle kullanılan vulkanize edici adı ile anılmaktadır. Vulkanizasyon öncesi yüksek plastik özellikler sergileyen kauçuklar, vulkanizasyon sonrası yüksek elastik özelliklere sergilemektedirler. Vulkanize edilmemiş kauçuk malzemeler ile vulkanize edilmiş kauçuk malzemeler arasındaki temel farklılıklar Tablo 1.1'de verilmiştir.

**Tablo 1.1.** Vulkanize Edilmiş ve Vulkanize Edilmemiş Kauçukların Temel Farkları

Vulkanize Edilmemiş Kauçuk	Vulkanizasyonu Tamamlanmış Kauçuk
Yapışkan ve yumuşak dokudadır. Mukavemet, aşınma direnci ve yırtılma dayanımı gibi mekanik özellikleri daha düşüktür.	Sert ve yapışkan olmayan yapıdadır. Daha yüksek aşınma direnci ve yırtılma dayanımı gibi özelliklere sahiptir. Vulkanizasyon sonrası mukavemeti daha yüksektir.
Elastikiyeti daha düşüktür.	Elastikiyeti daha yüksektir.
Dar bir sıcaklık aralığında kullanılabilir.	Daha geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilir.

Temel kauçuklar için polimer zincirinin kimyasal bileşimine göre kodlandırılması (R, M, Q) anlatılmıştır. Ana zincirde doymamışlık olan kauçuk malzemeler "R" kauçukları, ana zincirde doymamışlık olmayan kauçuk malzemeler "M" kauçukları, ana zincirde silisyum (Si) ve oksijen (O) olan kauçuk malzemeler ise "Q" kauçukları olarak kodlandırılmıştır. (ASTM,2021).

### 1.3. Kauçuk Çeşitleri

Kauçuk malzemeler genel itibari ile doğal kauçuklar ve sentetik kauçuklar olarak sınıflandırılmaktadır. Kauçukların nihai özelliklerinin belirlenmesinde en önemli faktör

bileşiminde kullanılan polimer tipi ve ihtiva ettiği katkı tipi ile miktarıdır. Sık kullanılan kauçuk tipleri aşağıdaki gibidir.

- Doğal kauçuk (NR),
- Stiren-bütadien kauçuk (SBR),
- Kloropren kauçuk (CR),
- Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR),
- Etilen-propilen-dien kauçuğu (EPDM).

**Doğal Kauçuklar (NR):** İnsan oğlunun tanıştığı ilk elastomer türü malzeme olarak bilinmektedir. Doğal kauçuklar çeşitli bitki ve ağaçlardan elde edilebilirken, ticari anlamda yoğun olarak Hevea brasiliensis ağacından elde edilmektedir. Ağacın gövdesine açılan kesiklerden akan beyaz lateks sıvısının kaplara akıtılarak biriktirilmektedir. Elde edilen lateks %30-40 aralığındaki katı madde içeriğiyle değişik kompozisyonlarda elde edilmektedir. Sonrasında karıştırma ve kurutma gibi işlemlerinden geçerek ticari hali kazandırılmaktadır. Doğal kauçukların ampirik formülü  $C_5H_8$  olarak bilinmektedir. Doğal kauçuklar yüksek çekme mukavemeti, yırtılma dayanımları, aşınma dirençleri, darbe sönümleme ve şok emici özellikleri ile ön plaka çıkmakta ve bu özelliklerin arandığı uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Ancak atmosferik oksijen, ozona ve oksitleyici kimyasallara karşı dirençlerinin zayıf olduğu bilinmektedir. (Ciullo vd.,1999).

**Stiren Bütadien Kauçuklar (SBR):** Stiren ve bütadien monomerlerinin polimerizasyon reaksiyonu sonucunda ortaya stiren bütadien kauçuklar (SBR) çıkmaktadır. 75/25 Bütadien/Stiren oranlarında karışımı gerçekleştirilen yapı doğal kauçuk benzeri bir kopolimer oluşturmaktadır. Bu sebeple çoğu zaman doğal kauçukların yerine kullanılmaktadır. Stiren bütadien kauçuklar mükemmel aşınma direnci, yüksek ısı dayanımları, yüksek yırtılma dayanımları ve polar olmayan çözücüler ile seyreltilmiş asitlere ve bazlara dayanıklılıkları gibi özellikleri ile bilinmektedirler. Ancak yakıt ve yağlara dayanıklı değildirler. Kopma mukavemetleri ve elastikiyetleri doğal kauçuklardan düşük olmakla birlikte, uygun kauçuk türü katkıları ve dolgu maddeleri ile yükseltilebilmektedir. (Köleli,2016). Yol tutuş kabiliyetleri sayesinde lastik dışı kaplamalarda ve V kayışlarında ile konveyör bantlarında gibi kullanım alanları bulunmaktadır. (Yasin vd.,2003).

**Kloropren Kauçuklar (CR):** Kloropren kauçukları 2-kloro-1,3-bütadien'in emülsiyon polimerizasyonundan elde edilmektedir. Birçok farklı kloropren kauçuğu polimerizasyon sırasında kullanılan katkı maddesine çeşitlendirilebilmektedir. Yanmaya karşı dirençleri oldukça yüksektir ve yapışma kuvvetlerinin yüksekliği sebebiyle yapıştırıcı imalatında kullanılmasına olanak sağlanmaktadır. (Saraç,2013). Kloropren kauçukların en yaygın vulkanizasyonu sülfürle yapılanıdır. Ancak magnezyum oksit veya çinko oksit kullanarak vulkanizasyon yapılabilir. Kloropren kauçuklar, karbon siyahı katkı ihtivası olmadan da kuvvetli çekme dayanımı değerlerine sahiptir. İhtiyaca binaen çekme dayanımı, yırtılma dayanımı ve aşınma dayanımı gibi parametrelerin kuvvetlendirmek amacı ile kloropren kauçuk hamurlarına karbon siyahı ya da diğer katkı maddeleri ilave edilebilmektedir. (Vahapoğlu,2006).

**Akrilonitril Bütadien Kauçuklar (NBR):** Akrilonitril bütadien kauçukları (NRB) akrilonitril ve bütadienin emülsiyon polimerizasyonu ile ilk olarak 1930'lu yıllarda üretilebilmiştir. Akrilonitril bütadien kauçukları bileşenlerinden nitril oranı değiştirilmek kaydı ile bu kauçuk grubuna farklı özellikler kazandırarak farklı kullanım alanlarına hizmet eden kauçuk ürünleri hazırlanabilir. Örnek olarak bileşendeki nitril miktarının artması, akrilonitril bütadien kauçuklarının yağ ve çözücülere karşı gösterdiği direncinde artış sağlarken diğer polimerlerle karışma özelliği artırır, gaz geçirgenliği artırır ve kopma dayanımı yükseltir. (Vahapoğlu,2006). Yakıt hortumları, contalar, özel amaçlı ayakkabı tabanları, gıda ile temas eden yüzeylerdeki parça uygulamaları genel kullanım alanlarındandır.

**Etilen Propilen Dien Kauçuklar (EPDM):** Etilen propilen dien kauçukları (EPDM) üretiminin öncesinde, ticari anlamda ilk olarak 1963 senesinde etilen-propilen'in (EPM) üretilmesi ile başlamıştır. EPM kauçukları, katalizör varlığında etilen ve propilenin kopolimerizasyon tepkimesi sonucunda elde edilmektedir. Elde edilen bu polimer zinciri tamamen doymuş durumdadır. 'M' harfi ISO 1629 standardına göre doymuş polimer ana zincirine sahip polimerlere verilmektedir. Polimer zincirinin bu doymuş hali EPM kauçuklarını ozon ve oksidasyona karşı dayanıklı hale getirmektedir. Ancak EPM kauçukları yalnızca organik peroksitle vulkanize edilebilirler ve başka polimerlerle karıştırılması mümkün değildir. (Durmuş vd.,2005). Etilen ve propilenin katalizör tesirindeki kopolimerizasyonu sırasında üçüncü bir monomerin yani dien'in ihtivası ile yapı, üç monomerden oluşan yeni bir kopolimer halini almaktadır. Elde edilen bu yeni kauçuğa etilen-propilen-dien-monomer yani EPDM adı verilmektedir. EPDM

kauçukların polimerizasyonunda yer alan dien monomeri sayesinde bu kauçuk türü doymamış bağlara da sahip olmuştur. Bu sayede EPDM kauçukları, başka polimerlerle karıştırılabilir ve peroksit dışında kükürtle de vulkanize olabilmektedirler. (Savran,1997). EPDM kauçuklarının genel özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir.

- Isı, ışık ve oksidasyona karşı oldukça yüksek bir dayanıklılıkları vardır.
- Yüksek dolgu ve yağ alabilme özelliğine sahiptirler. Böylece endüstriyel üretimlerde maliyet düşürücü karışımlar elde edilebilmektedir.
- Asit ve alkalilere karşı dayanıklılıkları vardır.
- Düşük özgül ağırlıkları sebebiyle hafif malzemeler üretilebilmesine imkân tanımaktadırlar.
- İyi dielektrik özellikleri sergilemektedirler.
- Yüksek oranda doymamış bağ yapıları içerdikleri için NR, SBR, NBR gibi diğer kauçuklarla karıştırılabilmektedirler.

EPDM kauçukları otomotiv, inşaat, beyaz eşya, elektrik endüstrilerinde ve bazı teknik parça imalatlarında tercih edilen ve yoğun şekilde kullanılan kauçuk türüdür. Örnek olarak otomotiv sektöründe radyatör hortumları, fren ekipmanları, silecek lastikleri, paspaslar ve benzeri ürünler imalatlarında kullanılmaktadır; inşaat sektöründe pencere kapı profil sistemleri, yer ve çatı kaplama malzemeleri imalatlarında kullanılmaktadır; beyaz eşya sektöründe makine körükleri, contalar, hortumlar, vibrasyon takozlarında kullanılmaktadır; elektrik endüstrisinde koruyucu kap ve kablo imalatında kullanılmaktadır; teknik parça olarak hortumların, konveyör bant ve kayışların ve keçelerin imalatlarında kullanılmaktadırlar. (Köleli,2016). EPDM kauçukları her geçen gün daha fazla kullanım alanında tercih edilmektedir.

#### **1.4. Kauçuk Hamur Karışımındaki Maddeler**

Kauçuk hamur karışımlarında ana bileşen olan elastomerlerin yanı sıra dolgu maddeleri, aktivatörler, proses kolaylaştırıcılar, yumuşatıcılar ve hızlandırıcılar gibi başka bileşenler de yer almaktadır. Bu bileşenler her yüz birimlik kauçuk için phr (per hundred of rubber) cinsinden reçetelendirilerek karışıma alınmaktadır.

**Dolgu Maddeleri:** Kauçuk karışımlarında kauçuğu güçlendirmek, işlenebilme özelliklerini geliştirmek, renklendirebilmek, ekonomik üretim reçeteleri oluşturmak ve vulkanizasyon sonrası özellikleri geliştirmek gibi çeşitli amaçlar doğrultusunda reçetelere

dahil edilerek kullanılan kuru toz formundaki maddelerdir. Kullanılan dolgu maddesinin miktarı, boyutu ve yapısı kauçukların özelliklerini belirleyen en önemli etmenlerdendir. Tane boyutunun küçülmesi demek, dolgu maddesinin kauçuğu güçlendirme yetisinin artması manasına gelmektedir. (Edge vd.,1999). Dolgu maddeleri genellikle siyah ve beyaz dolgu maddeleri olarak iki sınıfa ayrılmakta ve karbon siyahı, silika, kalsiyum karbonat, talk ve kaolin gibi örnekler verilebilmektedir. Karbon siyahları gibi dolgu maddelerinin hem renklendirme hem de kauçuk yapısını güçlendirici etkisi varken kalsiyum karbonat gibi dolgu maddeleri maliyeti düşürücü etkileri sebebi ile tercih edilmektedir. Karbon siyahlarının en iyi güçlendiriciler olarak bilinmektedir. Bununla beraber silikalar, karbon siyahlarından sonra en iyi güçlendirici tesire sahip, beyaz renkli dolgulardır. Bu özellikleri sayesinde beyaz ya da farklı renklerde üretilecek kauçuk ürünlerin üretimlerine uygundur. (Savran,2001).

**Hızlandırıcılar (Akseleratörler):** Kauçukların vulkanizasyon hızlarını arttırarak nihai kauçuk özelliklerine ve üretim proseslerine olumlu tesir etmesi için hamur karışımlarında kullanılan maddelerdir. Günümüzde farklı hızlandırıcı kombinasyonlar ve oranları kullanılabilir. Dithio karbamatlar, ksantatlar, thiuramlar, tiazoller, aldehid aminler ve guanidinler başlıca hızlandırıcı madde gruplarıdır.

**Aktivatörler:** Vulkanizasyonda hızlandırıcı olarak kullanılan katkıların görevlerini tam olarak yapabilmeleri ve tesirli olabilmeleri için farklı katkılara ihtiyaç duymaktadırlar. Kauçuk hamur reçetelerinde yer alan hızlandırıcıların aktivasyonunu sağlayan yani kükürt vulkanizasyonunda kükürdün hızlandırıcı ile bağ kurmasını sağlayan bu maddeler aktivatör olarak adlandırılmaktadır. En çok tercih edilen aktivatörler genellikle metal oksitleri ve yağ asitleridir. Kurşun, magnezyum, çinko gibi metal oksitleri ve yağ asitleri bir arada kullanılabilir. Bu türevler içerisinde ise en çok tercih edilen aktivatörler ise çinko oksit ve stearik asittir. (Saraç,2013).

**Yumuşatıcılar:** Yumuşatıcılar kauçuk hamuru reçetelerinde dolgu maddeleri kadar yaygın olarak tercih edilerek kullanılmaktadırlar. Yumuşatıcılar yağlar ya da plastikleştiriciler olarak da anılabilmektedir. Yumuşatıcılar genel itibari ile elastomer-dolgu maddesi arasındaki sürtünmeyi azaltıp, karışımın viskozitesini düşürmektedir. Böylece proste karıştırma için harcanacak enerji miktarını düşürmekte ve dolgu maddesinin hamur karışımları içerisinde kolayca iyi dağılım göstermesini sağlamaktadır. Yumuşatıcılar karışımın akışkanlığını arttırarak işlenebilirliği kolaylaştırmakta, sürtünme

kaynaklı ısı oluşumunu azaltmakta ve ön vulkanizasyon riskini de azaltmaktadır. Kimyasal ve fiziksel yumuşatıcılar bulunmaktadır. Fiziksel yumuşatıcılara parafinik, naftenik ve aromatik gibi petrol türevli yağlar, pamuk, ay çiçek, fındık türü bitkisel yağlar ile don yağı türü hayvansal yağlar gibi doğal türevli yağlar ile çeşitli fosfat, eter, ester gruplarından sentetik yağlar örnek gösterilebilmektedir. (Erkek,2007).

### 1.5. Vulkanizasyon

Tarihte ilk olarak Charles Goodyear tarafından keşfedilen vulkanizasyon, kauçuk hamurunun mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirmek amacı ile gerçekleştirilen üç boyutlu çapraz bağlanma işlemidir. Vulkanizasyon, kürlenme ya da pişirme olarak tabir edilebilmektedir. Kauçuk hamuru dolgu ve katkı maddeleri ile karıştırıldığında, vulkanizasyon öncesinde plastik bir yapıdayken, vulkanizasyon sonrasında elastik davranış gösteren bir yapı elde edilmektedir. Vulkanizasyon ile atomlar arasındaki çapraz bağ köprülerini sağlayabilmek için genellikle, bilinen en eski ve yaygın pişirici olan kükürt (S) kullanılmaktadır. Bununla birlikte genel itibari ile kauçuklar için kullanılan pişirici sistemler 3 gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar şu şekildedir.

- Kükürt pişiriciler
- Organik peroksit pişiriciler
- Diğer pişiriciler

Vulkanizasyon yani çapraz bağlanmanın gelişimi, çapraz bağlanma yoğunluğu ya da vulkanizasyon derecesi olarak da anılabilmektedir. Bahsi geçen bu çapraz bağlanma yoğunluğu ya da vulkanizasyon derecesi pişirici ve katkı maddelerinin cinsine, miktarına ve reaksiyon sürelerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Kauçuk hamuru karışım reçeteleri, her yüz birim kauçuk üzerinden ifade edilerek phr (per hundred of rubbers) cinsinden hesaplanmaktadır. Vulkanize edilmiş kauçuğun nihai özellikleri büyük oranda bu çapraz bağlanma şekli ve yoğunluğuyla ilişkilidir. Bu vulkanizasyon işlemleri temelde basınç ve sıcaklık altında gerçekleştirilmekle birlikte en sık kullanılan metotlar; pres vulkanizasyonu, açık vulkanizasyon, sürekli vulkanizasyon ve soğuk vulkanizasyon şeklinde sıralanabilmektedir. (Erkek, 2007). Yapı içerisinde oluşan çapraz bağların yoğunlukları ve uzunlukları, mekanik özelliklerin değişmesine sebep olmaktadır. (Gupta vd.,2013). Halen en eski ve en çok kullanılan vulkanizasyon kükürt ile yapılandır. (Başdemir,2022). Vulkanizasyona girmemiş kauçuklar bir deformasyon

kuvveti altında şekil değiştirdikleri ve sakızımsı yapışkan bir hale büründükleri için çoğunlukla kürlenmesini tamamlamış kauçukların kullanılmaları tercih edilmektedir. (Coran,2013).

Kükürt ile yapılan vulkanizasyonlarda kükürt tek başına kullanılmamaktadır. Aktivatörler ve kükürt – hızlandırıcı kombinasyonları hamur karışımına ilave edilerek vulkanizasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir. Aktivatörler, pişiriciler ve akseleratörler optimum çapraz bağlanmayı etkilemektedirler. (Başdemir,2022). Bu çalışmada vulkanizasyon ajanları; çinko oksit ve stearik asit aktivatörleri, kükürt pişirici ve MBT (2-merkaptobenzotiyazol) ve TMTD (Tetrametiltiuram disülfür) hızlandırıcıları tercih edilerek çalışma yürütülmüştür. Vulkanizasyonda kullanılan hızlandırıcılar, karışım içerisindeki serbest kükürdü polimer zincirine taşır ve polimer zinciri ile kükürt arasındaki reaksiyonu tetiklerler. Bu sayede vulkanizasyon hızı artmakta ve vulkanizasyon süreci kayda değer şekilde düşmektedir. (Kılıç,2018).

## BÖLÜM II

### LİTERATÜR TARAMASI

#### 2.1. Önceki Çalışmalar

Khan ve ark. (Khan vd.,2016) yaptıkları çalışmada etilen propilen dien monomer (EPDM) ve silikon kauçuk (SiR) kauçuklara SiO<sub>2</sub> katkısı ihtiva etmiştir. Mikro boyutlu tanecikli SiO<sub>2</sub>, nano boyutlu tanecikli SiO<sub>2</sub> ve %15 mikro boyutlu tanecikli ile %5 nano boyutlu tanecikli SiO<sub>2</sub>'nin karıştırılmasıyla elde edilen hibrit SiO<sub>2</sub>, EPDM ve SiR kauçuk hamurlarına eklenmiş ve mekanik, termal ve elektriksel özellikler üzerindeki değişimler gözlemlenmiştir. SiO<sub>2</sub> katkısı ihtiva eden kauçuk hamuru karışımları banbury ve çift milli açık mil ile yapılmıştır. Uygulanan testler sonucunda, EPDM ve SiR kauçuklarının mekanik, termal ve elektriksel özelliklerinin, hibrit SiO<sub>2</sub> katkılarıyla harmanlanmasıyla önemli ölçüde arttırılabileceği anlaşılmıştır. Hibrit SiO<sub>2</sub> katkısı ile çekme mukavemeti değeri ile sertlik değerinin arttığı, kopma uzaması değerinin azaldığı, termal stabilitenin arttığı gözlemlenmiştir. EPDM kauçuğuna ilave edilen hibrit SiO<sub>2</sub> katkılarından elde edilen numuneler, saf EPDM, mikro ve nano SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM ve SiR kauçuk karışımı numunelerine göre daha yüksek dielektrik mukavemeti göstermiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda Khan ve ark. geleneksel seramik dış mekân izolatörlerinin yerine SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM ve SiR kauçuklarından elde edilebilecek izolatörlerin kullanılabileceğinin gelecek vaat ettiğini düşünmüşlerdir.

Khan ve ark. (Khan vd.,2017) yaptıkları çalışmada silikon kauçuk (SiR), epoksi ve EPDM kauçuklarına eklenen 3 µm'lik mikro ve 10 nm'lik nano boyutlu SiO<sub>2</sub> katkısının mekanik, termal ve elektriksel özellikler üzerindeki tesirlerini incelemişlerdir. SiR, epoksi ve EPDM kauçukları ağırlıkça %20 mikro boyutlu SiO<sub>2</sub> ve ağırlıkça %5 nano boyutlu SiO<sub>2</sub> ayrı ayrı ilave edilerek farklı numuneler elde edilmiştir. Yapılan testler sonucunda mikro boyutlu ve nano boyutlu SiO<sub>2</sub> katkısı ile çekme mukavemeti ve sertlik değerlerinde artış ve kopma uzaması değerlerinde ise azalış gözlemlenmiştir. Özellikle EPDM kauçuğu için katkısız, mikro SiO<sub>2</sub> katkılı ve nano SiO<sub>2</sub> katkılı numuneler için çekme mukavemeti değerleri sırasıyla 1,11 MPa, 1,9 MPa ve 2,04 MPa olarak elde edilmiştir. EPDM kauçuğuna ilave edilen nano katkı ile çekme mukavemetinin %83,8 arttığı gözlemlenmiştir. Benzeri şekilde EPDM kauçuğunun katkısız, mikro SiO<sub>2</sub> katkılı ve nano SiO<sub>2</sub> katkılı numuneleri için sertlik değerleri sırasıyla 48,4 Shore A, 57,3 Shore

A ve 58,1 Shore A olarak ölçülmüş ve sertlik değerinin %20 arttığı tespit edilmiştir. Kopma uzaması (%) değerleri ise EPDM kauçuğunda %244,5, mikro SiO<sub>2</sub> katkılı numunede %223,4 ve nano katkılı numunede ise %220,2 şeklinde ölçülmüş ve kopma uzaması değerindeki azalış nano katkılı numune için %9,9 olarak hesaplanmıştır. Kauçuklara uygulanan mikro ve nano SiO<sub>2</sub> katkısı ile dielektrik dayanımlarının artışlar gözlemlenmiştir. EPDM için bu oranlar sırasıyla 19 kV/mm 20,5 kV/mm ve 22,3 kV/mm olarak tespit edilmiştir. Benzeri şekilde SiR, epoksi ve EPDM kauçuklarına eklenen mikro ve nano SiO<sub>2</sub> katkısı ile termal özelliklerin geliştiği gözlemlenmiştir

Erbek Cömez ve ark. (Erbek Cömez vd.,2024) grafit tozunun EPDM kauçuk hamurlarına eklenmesinin mekanik özellikler üzerindeki tesirlerini incelemek amacı ile bu çalışmayı yürütmüşlerdir. Bu çalışmada saf EPDM kauçuğu ile 10 phr katkılı EPDM kauçuk numunesi arasındaki reoloji, mukavemet, viskozite, sertlik, uzama, yoğunluk ve kül özellikleri gibi özellikleri gözlemlenmişlerdir. Grafit tozu katkısının EPDM kauçuğunun mekanik özellikleri üzerinde olumlu tesirinin bulunduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kauçuk numunesindeki grafit tozu katkısının kauçuğun yanma eğilimini de azalttığı ve yatay yanma değeri katkı öncesi 28,13 mm/dk iken katkı sonrasında 25,79 mm/dk olarak gözlemlenmiştir. EPDM ve grafit tozu katkılı test numuneleri için kopma mukavemetleri sırasıyla 9,8 MPa ve 11,4 MPa, uzama (%) miktarları ise sırasıyla %542 ve %575 olarak tespit edilmiştir.

Acharya ve Srivastava (Acharya ve Srivastava,2017) EPDM ve organik olarak modifiye edilmiş mezo gözenekli nanokompozitlerin mekanik, termo-mekanik, termal ve şişme özellikleri ile ilgili bir çalışma yürütmüşlerdir. Hazırladıkları karışımı TEM, SEM ve XDR incelemelerine tabi tutup mezo gözenekli hidrofobik SiO<sub>2</sub> katkısının EPDM içerisinde homojen dağıldığını yapısını koruyabildiğini gözlemlenmişlerdir. Yapılan testler sonucunda EPDM hamuruna ilave edilen SiO<sub>2</sub> katkısının mekanik ve termal özelliklerde önemli artışlara sebebiyet verdiği belirlenmiştir. Ağırlıkça düşük oranlardaki katkı miktarlarının bile çekme mukavemetinde yaklaşık olarak %200 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Mokhothu ve ark. (Mokhothu vd.,2014) sol-jel yöntemi ile silika nano partikülleri yerinde sentez yöntemiyle EPDM kauçuğunda üretmişlerdir. Numuneler EPDM, ağırlıkça 90/10 EPDM/SiO<sub>2</sub> karışımı, ağırlıkça 80/20 EPDM/SiO<sub>2</sub> karışımı ve ağırlıkça 70/30 EPDM/SiO<sub>2</sub> karışımı şeklinde hazırlanmıştır. Numunelere SEM, FTIR, TGA,

dispersiyon analizi ve çekme testi, şişme testi gibi testler uygulanmıştır. Yapılan analiz ve testler neticesinde numune yapılarında özellikle yüksek SiO<sub>2</sub> katkı oranlarında bazı aglomer yapıları olmasına ve bu aglomer yapılarının artan katkı oranı ile artmasına rağmen katkının kauçuk hamuru içinde iyi dispers edildiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte SiO<sub>2</sub> nano partiküllerinin varlığına istinaden vulkanize kauçuğun çapraz bağlanma oranlarında azalma tespit edilmiştir. Ayrıca sert silika nano partiküllerinin varlığının mekanik özellikler üzerinde iyileştirici etki gösterdiği belirlenmiştir. Mokhothu ve ark. yaptığı bu çalışmada SiO<sub>2</sub> nano partiküllerinin EPDM kauçuğunun termal stabilitesi üzerinde kayda değer bir tesiri tespit edilememiştir.

Alber ve ark. (Alber vd.,2022) yaptıkları çalışmada mikro silika katkılı EPDM/SiR kompozitlerinin mekanik ve elektriksel özelliklerini incelemişlerdir. Dış mekân yalıtımlarında bu kompozitleri güçlendirmek için alümina trihidrat ve silika gibi çeşitli dolgu maddeleri kullanılabilir. Bu çalışmada farklı oranlardaki EPDM/SiR kauçuk karışımına farklı oranlarda mikro SiO<sub>2</sub>'nin karıştırılması ile elde edilen test numuneleri incelenmiştir. Kauçuklar ağırlıkça %25 EPDM- %75 SiR, ağırlıkça %50 EPDM - %50 SiR ve ağırlıkça %75 EPDM - %25 SiR şeklinde hazırlanmıştır. Nihai kauçuk numuneleri belirtilen farklı kauçuk oranları içerisinde ayrı ayrı 10, 20, 30 ve 40 phr mikro SiO<sub>2</sub> katkısı eklenerek elde edilmiştir. Yapılan testler sonucunda tüm kauçuk oranlarına eklenen 10 phr mikro silika katkısının maksimum çekme mukavemeti değeri verdiği 10 phr'nin üzerinde katkının çekme mukavemeti değerlerinde düşümlere sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Çekme mukavemeti için optimum bir katkı oranı olduğu söylenmiştir. Tüm kauçuk karışımı ve katkı miktarları için kopma uzamasının mikro SiO<sub>2</sub> katkısı ile %68'leri bulan oranlarda düştüğü gözlemlenmiştir.

Ali ve Choudhry (Ali ve Choudhry,2015) EPDM kauçuğuna farklı oranlarda mikro boyutlu, nano boyutlu ve hibrit boyutlu SiO<sub>2</sub> ilave ederek test numuneleri üretmişlerdir. Numuneler katkısız EPDM, 23 phr mikro silika katkılı, 6 phr nano silika katkılı ve hem 23 phr mikro silika hem de 6 phr nano silika katkılı EPDM kauçukları şeklindedir. Ali ve Choudhry ürettikleri kauçuk numunelerinde mekanik, termal ve elektriksel özelliklerdeki değişimleri gözlemlenmiştir. Kopma mukavemeti saf EPDM, 23 phr mikro katkılı, 6 phr nano katkılı ve hem 23 phr mikro hem de 6 phr nano katkılı numuneler için sırasıyla 1110,2 kPa, 1901,2 kPa, 2042,7 kPa ve 2345,2 kPa olarak ölçülmüştür. Katkı boyutunun ve miktarının ile kopma mukavemeti üzerinde önemli tesire sahip olduğu görülmektedir. Uzama miktarları ise saf EPDM, 23 phr mikro katkılı,

6 phr nano katkılı ve hem 23 phr mikro hem de 6 phr nano katkılı numuneler için sırasıyla %244,5, %223,4, %220,2 ve %216,1 olarak elde edilmiştir. Çeşitli boyutlarda ve miktarlardaki SiO<sub>2</sub> katkısının sertlik değerlerini arttırdığı görülmüş ve saf EPDM için 48,4 Shore A, hibrit katkılı EPDM numunesi için 59,2 Shore A sertlik değerleri elde edilmiştir. Numunelerin dielektrik dayanımları benzeri şekilde sırasıyla artış göstermiştir. Dielektrik dayanımları saf EPDM, 23 phr mikro katkılı, 6 phr nano katkılı ve hem 23 phr mikro hem de 6 phr nano katkılı numuneler için sırasıyla 19 kV/mm, 20,5 kV/mm, 22,3 kV/mm ve 23,4 kV/mm olarak elde edilmiştir. Benzeri şekilde yapılan çalışmada termal dayanımların da arttığı gözlemlenmiştir.

Sin ve ark. (Sin vd.,2023) EPDM nano kompozitlerinin üretiminde Titanyum Dioksit 'in (TiO<sub>2</sub>) katkısının mekanik ve termal özellikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada EPDM kauçuğu içerisine ağırlıkça %1, %3 ve %5 TiO<sub>2</sub> karıştırmışlardır. Deney sonuçları incelendiğinde hamur karışımı içerisinde yer alan ağırlıkça %1 TiO<sub>2</sub> katkısının çekme mukavemetini, sertliği ve young modülünü arttırdığı ve kopma uzamasını düşürdüğünü yani mekanik özellikleri olumlu etkilediğini tespit etmişlerdir. Saf EPDM kauçuğu, ağırlıkça %1, %3 ve %5 TiO<sub>2</sub> katkılı kauçuk numuneleri için çekme mukavemeti değerleri sırasıyla 4,41 MPa, 4,47 MPa, 2,57 MPa ve 3,21 MPa olarak elde etmişlerdir. Sin ve ark. Çekme mukavemeti değerlerinde bir tutarsızlık olduğunu düşünmüşlerdir. EPDM, ağırlıkça %1, %3 ve %5 oranında katkı içeren kauçuk numuneleri için kopma uzaması değerleri sırasıyla %170,17, %157,56, %69,42 ve %86,94 olarak belirlemişlerdir. Özellikle ağırlıkça %5'lik TiO<sub>2</sub> katkılı numunede elde edilen test sonuçlarını, nano katkılı numune üretiminde yaşadıkları topaklaşma ve homojen olmayan parçacık dağılımı sebebiyle yaşadıklarını düşünmüşlerdir.

## BÖLÜM III

### MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Karışımı Oluşturan Bileşenler (Hammadde)

Bu çalışmada, ticari olarak piyasada kullanılan bir EPDM (etilen propilen dien monomer) kauçuğu kullanılmıştır. EPDM kauçuğu ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkıli kauçuk numuneleri üretiminde kullanılan katkıları ve oranları ise phr (per hundred of rubber) biriminden hesaplanarak Tablo 3.1.'de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** EPDM Kauçukların Numunelerinde Kullanılan Reçeteler

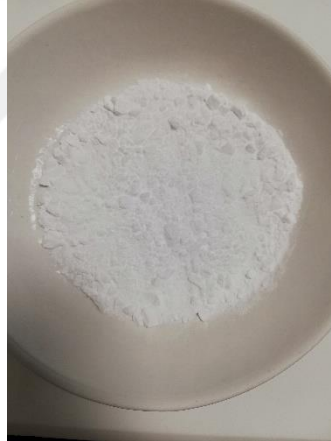
İçindekiler	EPDM (phr)	EPDM/5MSiO <sub>2</sub> (phr)	EPDM/11MSiO <sub>2</sub> (phr)	EPDM/22MSiO <sub>2</sub> (phr)
EPDM	100	100	100	100
Karbon siyahı	50	50	50	50
Beyaz dolgu (Kalsiyum Karbonat)	20	20	20	20
Yağ	40	40	40	40
ZnO (Çinko Oksit)	4	4	4	4
Stearik asit	2	2	2	2
Sülfür	1	1	1	1
MBT (2-mercaptobenzotiyazol)	0.5	0.5	0.5	0.5
TMTD (Tetramethyl tiuram disülfür)	1	1	1	1
Mezo Gözenekli SiO <sub>2</sub>	0	5	11	22

Nano partikül üretimi için Hidroklorik Asit (HCl) (Sigma-Aldrich, ACS reaktifi, %37), Tetraetil Ortosilikat (TEOS) ( $\geq$ %99, Sigma-Aldrich), Polietilen Glikol (PEG) (Sigma-Aldrich), Silikon Dioksit (SiO<sub>2</sub>) (Sigma-Aldrich) ve Etil Asetat (susuz, %99,8) (Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. Ortalama ağırlığı 35000 kDa olan pul formunda PEG35000 Polietilen Glikol kullanılmıştır.

**Mezo Gözenekli SiO<sub>2</sub> Hazırlanması:** Mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> hazırlamak amacıyla one-por / one step sol-gel sentez tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla, polietilen glikolün 35000 kDa molekül ağırlığına sahip (PEG35000) bileşiminden nihai çözelti miktarının

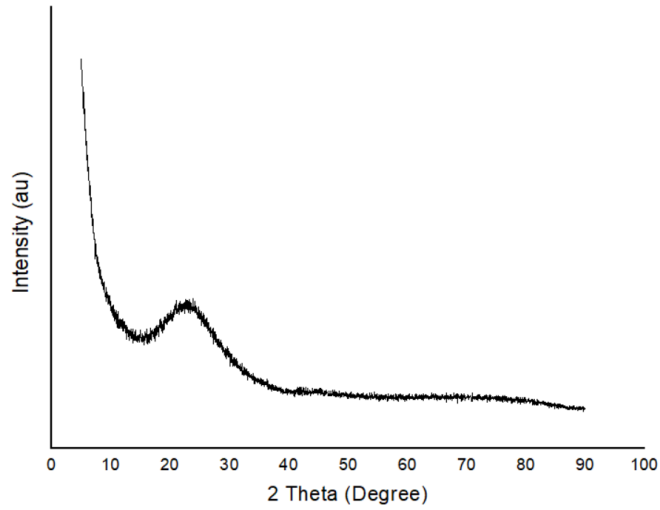
%3,2'si oranında olacak şekilde alınarak 75 mL HCl ve 625 mL saf su içeren HCl çözeltisine eklenerek karıştırılmıştır. Karışımın sıcaklığı 40 °C ye getirilmiş ve tamamen şeffaf bir görünüm kazanana kadar manyetik karıştırıcı yardımı ile karıştırılmıştır. Daha sonra kullanılan PEG bileşiği kütesinin 2,3 katı oranında tetraetil ortosilikat (TEOS) çözeltiye eklenerek 60 °C'de 24 saat ve sonrasında 80 °C'de 60 saat ters akış altında karıştırılmıştır. Bu süre sonunda karışım oda sıcaklığına getirilmiştir. Santrifüj yapılarak oluşan ürün asidik olması dolayısı ile pH 7 değerine ulaşmaya kadar distile su ile yıkanmıştır. 70 °C'de etüvde 12 saat kurutulduktan sonra dakikada 15 °C artışlarla 550 °C'ye ısıtılan kül fırınında 6 saat boyunca kalsine edilmiştir. Bu şekilde nano boyutlu mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> toz halinde elde edilmiştir. (Ulusal vd.,2023).

Şekil 3.1.'de kalsine işlemi sonrasında elde edilen beyaz renkli toz formunda mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> fotoğrafı verilmiştir. Elde edilen malzemenin XDR analizleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve geçirimli elektron mikroskobu (TEM) görüntülemeleri yapılmıştır.



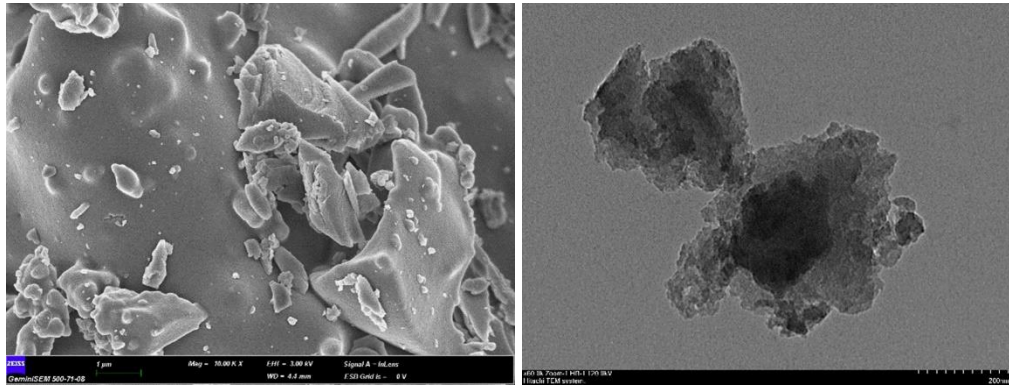
**Şekil 3.1.** Kalsine İşlemi Sonucu Elde Edilen Mezo Gözenekli SiO<sub>2</sub> Tozu

Şekil 3.2'de verilen PEG35000 kullanılarak hazırlanan mezo gözenekli SiO<sub>2</sub>'e ait XRD kırınım desenleri incelendiğinde 2θ: 13-38° aralığında amorf özelliğe sahip SiO<sub>2</sub>'nin temel pikleri elde edilmiştir. XRD spektrumunda pikler keskinleştikçe ve şiddet değeri arttıkça bu maddenin kristal yapıya doğru gittiğini göstermektedir. Bu çalışmada mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> sentezi gerekli olduğundan kristal SiO<sub>2</sub>'den ziyade amorf yapıdaki SiO<sub>2</sub> varlığı tercih edilmektedir.



**Şekil 3.2.** PEG35000 Kullanılarak Elde Edilen Mezo Gözenekli SiO<sub>2</sub>'nin XRD Kırınım Desenleri

Mezo gözenekli SiO<sub>2</sub>'in yüzey morfolojisini ve parçacık boyutunu araştırmak için SEM ve HR-TEM analizleri yapıldı. Şekil 3.3.'de PEG35000 kullanılarak sentezlenen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> partiküllerine ait nihai ürünün SEM ve TEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinden mezo gözenekli SiO<sub>2</sub>'nin süngerimsi ve gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu gözenekli yapı sayesinde daha hacimli ve daha düşük yoğunluğa sahip malzemeler hazırlanabilecektir. Ayrıca daha geniş bir yüzey alanına sahip olacak, bu sayede SiO<sub>2</sub> ile EPDM arasındaki temas yüzeyi artacak ve yapı içerisinde daha homojen bir dağılım sağlanacaktır. Bu duruma ek olarak görüntülemelerden, partiküllerin oldukça küçük olduğu ve küçük kümeler oluşturduğu, hedeflenen malzemenin üretilebildiği görülmektedir.



**Şekil 3.3.** Mezo Gözenekli SiO<sub>2</sub> Partikülleri a) SEM Görüntüsü b) TEM Görüntüsü

### 3.2. Karışımın Hazırlanması

EPDM hamurları için kullanılacak hammaddeler, belirlenen reçeteler doğrultusunda hazırlanmıştır. EPDM hamuru hazırlama işlemlerinde Şekil 3.4.'de fotoğrafı verilen 1,5 litre hacimli laboratuvar tipi mini banbury sistemi kullanılmıştır. EPDM kauçuğuna ilk öncelikle çinko oksit ve stearik asit aktivatörleri ilave edilerek 35 rpm rotor devrinde, 60 N/cm<sup>2</sup> çekiç basıncında uygun viskoziteye getirilmek üzere 40 sn süreyle mastikasyon işlemi uygulanmıştır. Daha sonrasında kademeli olarak yağ, karbon siyahı, beyaz dolgu gibi dolgu ve katkı elemanları ilave edilerek 40 sn süreyle daha karıştırılmıştır. Sonrasında ise 5, 11 ve 22 phr oranlarında mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> ilave edilerek sıcaklık değeri 100 °C' ye gelene kadar karıştırılmıştır. Karışım sırasında sıcaklığın kontrollü bir şekilde yükselmesi için rotor devri kademeli olarak artırılmıştır. İstenilen sıcaklığa erişen karışıma sülfür, MBT (2-merkaptobenzotiyazol) ve TMTD (Tetrametiltiuram disülfür) gibi pişirici ve hızlandırıcılar eklenerek karışım 110-115 °C' ye ulaşınca kadar 40 sn süreyle karıştırılmaya devam edilmiştir.



Şekil 3.4. 1,5 Lt'lik Laboratuvar Tipi Mini Banbury

Hazırlanan EPDM hamur karışımı, karışımın sıcaklığının düşürülmesi ve mümkün mertebe daha homojen bir yapıya kavuşabilmesi için açık mile aktarılmıştır. Bu aşamada kullanılan açık mil fotoğrafı Şekil 3.5.'te verilmiştir.

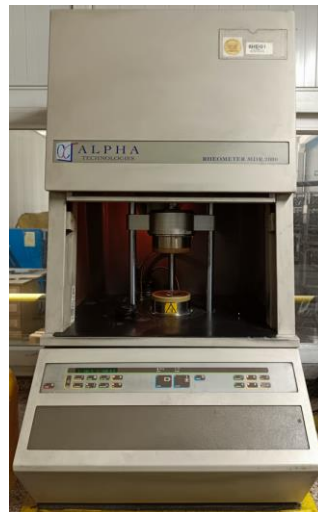


**Şekil 3.5.** Laboratuvar Tipi Açık Mil

### **3.3. Karışımın Reolojik Özelliklerinin Tayini**

#### **3.3.1. Reometre Analizi**

Üretilen EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk hamuru numunelerinin reometre testleri, Şekil 3.6'da fotoğrafı verilen ve Seçil Kauçuk A.Ş. firmasında bulunan Alpha MDR 2000 marka reometre test cihazında yapılmıştır. Uygulanan testler ASTM D 5289 standardına uygun olarak yapılmıştır. Testler 200 °C ve 5 dakikada yapılmıştır. Testler sonucunda, karışımların Minimum tork (ML), maksimum tork (MH), TS2, T50, T90, pişme genliği (cure extent, CE) ve pişme hız indeksi (cure rate index, CRI) gibi reolojik özellikleri belirlenmiştir.



**Şekil 3.6.** Reometre Test Cihazı

Her karışımdan üçer numune test edilmiş ve sonuçların ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Reometre testleri sonucunda elde edilen veriler dahilinde hidrolik preste uygulanacak parametreler belirlenmiştir. Pişme genliği (cure extent, CE) ve pişme hız indisi (cure rate index, CRI) değerleri ise sırasıyla Denklem 3.1 ve 3.2'ye göre hesaplanmıştır. (Avcı,2019).

$$CE = MH - ML \quad (3.1)$$

$$CRI = \frac{100}{(T_{90}-T_2)} \quad (3.2)$$

### 3.3.2. Mooney Viskozite Testi

Mooney viskozitesi, bir malzemenin elastomerik özelliklerini ölçmek için kullanılan bir testtir. Bu testin birimi "Mooney Units" veya "MU" olarak ifade edilmektedir. Mooney viskozitesi, bir malzemenin birkaç farklı sıkıştırma kuvveti altında deformasyonunu ölçer ve elastomerik özelliklerini belirlemektedir. EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM hamurların mooney viskozite testleri Şekil 3.7.'de fotoğrafı verilen ve Seçil Kauçuk A.Ş. firmasında bulunan Alpha MV 2000 marka viskozite cihazında ISO 289 standardına uygun olarak yapılmıştır. Testler 100°C de (1+4) kriterlerine göre yapılmıştır.



Şekil 3.7. Mooney Viskozite Test Cihazı

### 3.4. Test Plakalarının Hazırlanması

EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM hamur ürünlerden Şekil 3.8.'de fotoğrafı verilen hidrolik pres yardımıyla test plakaları hazırlanmıştır. Hidrolik preste test numunelerini hazırlamak için kullanılan basınç, sıcaklık ve süre parametreleri daha önce kauçuk hamuruna uygulanan reometre testleri sonuçlarına göre belirlenmiştir.



**Şekil 3.8.** Hidrolik Pres

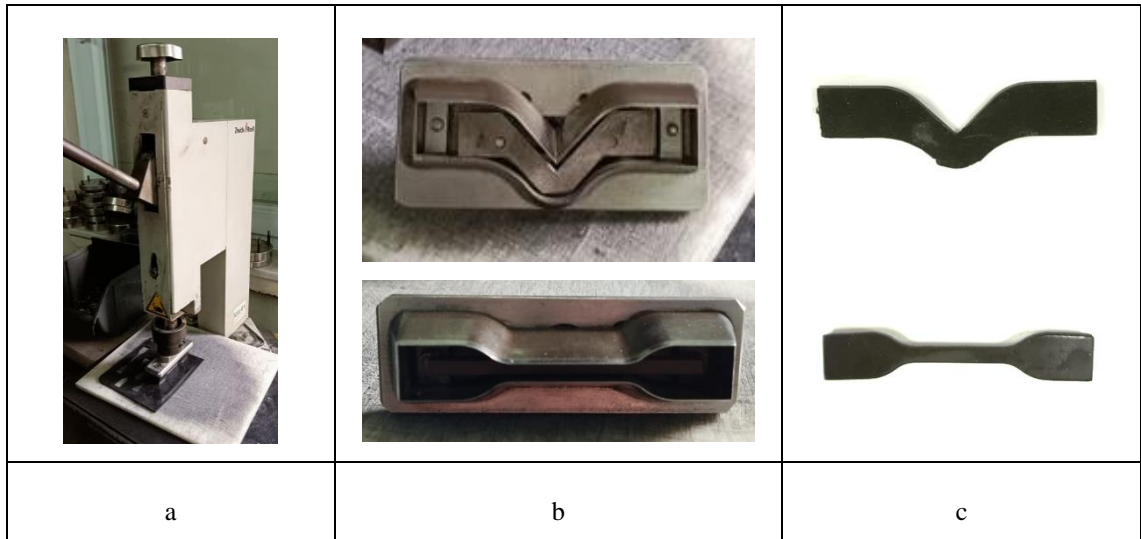
Bu bağlamda kalıcı deformasyon, elastikiyet ve aşınma testleri için EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM hamurları 180 °C ve 40 dakika boyunca kükürt ajanı ile vulkanize edilerek 12 mm kalınlığındaki test plakaları elde edilmiştir. Çekme testleri, ısıl yaşlandırma, kül testi, yırtılma testi ve yanmazlık testleri için EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM hamurları 180 °C ve 20 dakika boyunca kükürt ajanı ile vulkanize edilerek 2 mm kalınlığındaki test plakaları elde edilmiştir. Ayrıca, Shore A sertlik testleri, yoğunluk testleri ve dispersiyon testleri için EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM hamurları yine 180 °C ve 20 dakika boyunca kükürt ajanı ile vulkanize edilerek 6 mm kalınlığındaki test plakaları elde edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında EPDM hamurların üretimlerinde kullanılan kalıplar ve üretim sonrası elde edilen test plakaları Şekil 3.9.'da verilmiştir.



**Şekil 3.9.** Kalıplar ve Test Plakaları

Üretilen test plakaları 23 °C’de 16 saat boyunca vulkanizasyon işleminin tamamlanması için şartlandırmaya tabi tutulmuştur. Şekil 3.10’da fotoğrafları verilen kesme cihazı ve kesme bıçakları ile testler için uygun geometride örnekler kesilmiştir.



**Şekil 3.10.** a) Kesme Cihazı, b) Kesme Bıçakları, c) Testler İçin Uygun Geometride Kesilen Örnekler

### 3.5. Vulkanizasyon Sonrası Uygulanan Testler

#### 3.5.1. Sertlik Ölçümü

Sertlik testleri DIN 53505 standardına uygun olarak yapılmış olup Shore A cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde, numunelerin dispersiyon durumları göz önünde bulundurularak her bir test numunesi üzerinden 10 sertlik ölçümü yapılmıştır. Elde edilen Shore A sertlik değerlerinin ortalaması alınarak veriler elde edilmiştir. Sertlik ölçümlerinde firma bünyesinde bulunan ve Şekil 3.11.'de fotoğrafı verilen sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Sertlik Ölçüm Cihazı

#### 3.5.2. Yoğunluk Tayini

EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerine DIN 53479 standardına göre yoğunluk testi uygulanmıştır. İlgili test Şekil 3.12'de fotoğrafı verilen yoğunluk test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk tayini sırasında, sertlik testinden çıkan numuneler kullanılmıştır. Test sırasında standart numunenin havadaki ve sıvıdaki (saf su) ağırlıkları ölçülerek Arşimet prensibine göre yoğunluk tayini yapılmıştır.



**Şekil 3.12.** Yoğunluk Ölçüm Cihazı

### 3.5.3. Çekme Testi

Çekme testleri, DIN 53504 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Testler, Zwick marka Z020 model bir çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri 200 mm/dakika çekme hızında gerçekleştirilmiştir. EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçukların yırtılma testleri ise yine çekme cihazı yardımıyla DIN 53507 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerine uygulanan çekme ve yırtılma testleri Şekil 3.13'te fotoğrafı verilen çekme test cihazı ile yapılmıştır. Her bir çekme test numunesi için en az 3 ölçüm yapılmış ve ortalaması alınmıştır.



**Şekil 3.13.** Çekme Test Cihazı

### 3.5.4. Kalıcı Deformasyon Testi

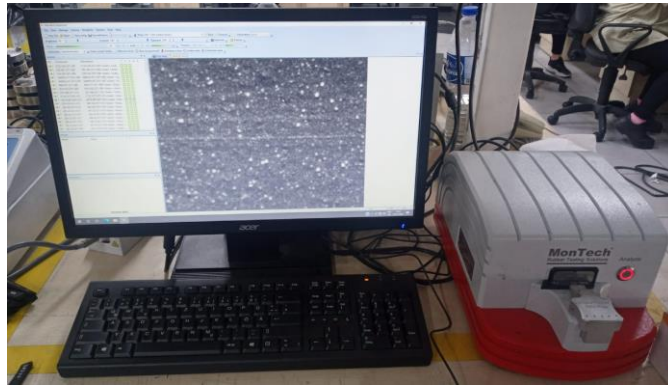
EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerine uygulanan kalıcı deformasyon testleri 100 °C’de 22 saat ve %25 oranında sıkıştırma ile DIN 53517 standardına göre Şekil 3.14’de fotoğrafı verilen aparat yardımı ile yapılmıştır.



Şekil 3.14. Kalıcı Deformasyon Testi Aparatı

### 3.5.5. Dispersiyon Testi

EPDM kauçuk numunelerinin içerisinde mevcut olan karbon siyahı, diğer dolgu parçacıklarının ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının dağılımını belirlemek için dispersiyon testi yapılmıştır. Aglomerasyon sayısı ve büyüklüğüne bağlı olarak 1-10 arasında değişen dispersiyon kalitesi ölçümleri ISO 11345 standardına göre Şekil 3.15’te fotoğrafı verilen cihaz ile yapılmıştır.



Şekil 3.15. Dispersiyon Test Cihazı

### 3.5.6. Abrasif Aşınma Testi

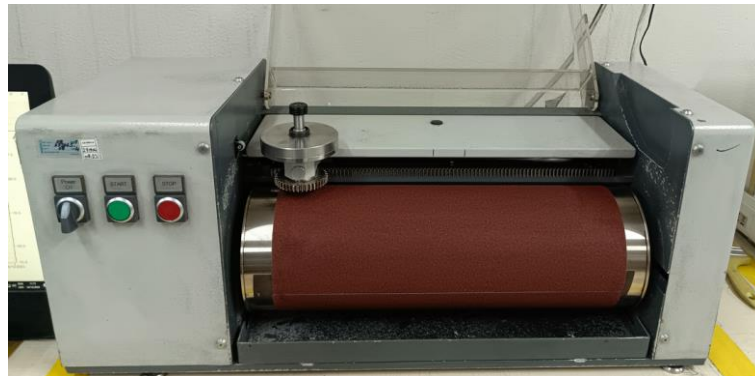
7.5 N yük ve 200 mm kayma yolu kullanılarak EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerine aşınma testi uygulanmıştır. Aşınma testi uygulaması yapılan test cihazı fotoğrafı Şekil 3.16.'da verilmiştir. Aşınma testleri DIN ISO 4649 (DIN 53516- ASTM D5963) standardına uygun olarak silindir aşınma testi gerçekleştirilmiştir.

Aşınma sonuçları, denklem (3.3)' deki gibi hesaplanmaktadır. Denklem (3.3)'de yer alan  $C_{fk}$  sabiti ise denklem (3.4)'deki gibi hesaplanmaktadır. (Topçu,2021).

$$dV = \frac{(M_1 - M_2)}{d} * C_{fk} * 1000 \quad (3.3)$$

$$C_{fk} = \frac{200}{S_1 - S_2} \quad (3.4)$$

- dV: Aşınma miktarı, (mm<sup>3</sup>)  
M<sub>1</sub>: Numunenin başlangıç ağırlığı, (g)  
M<sub>2</sub>: Numunenin son ağırlığı, (g)  
d: Numunenin yoğunluğu, (g/cm<sup>3</sup>)  
C<sub>fk</sub>: Düzeltme faktörü  
S<sub>1</sub>: Standart numunenin başlangıç ağırlığı, (g)  
S<sub>2</sub>: Standart numunenin son ağırlığı, (g)



Şekil 3.16. Aşınma Test Cihazı

### 3.5.7. Kül Testi

Kül testi karışımdaki inorganik madde miktarının tayini için uygulanmaktadır. EPDM kauçuk numunelerine uygulanan kül testi DIN 53568 standartlarına uygun olarak yapılmış olup, Seçil Kauçuk A.Ş. bünyesinde yer alan Nabertherm marka ısı kademeli kül fırınında gerçekleştirilmiştir. Kül testi 950 °C ve 4 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Testlerde kullanılan fırının fotoğrafı Şekil 3.17.'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Kül Testi Fırını

EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerine uygulanan kül testi neticesinde kül yüzdesi, Denklem 3.5.' te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Kül (\%)} : \left( \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \right) * 100 \quad (3.5)$$

m<sub>0</sub>: Boş krozenin ağırlığı, (g)

m<sub>1</sub>: Numune eklenmiş kroze ağırlığı, (g)

m<sub>2</sub>: Etüvden çıktıktan sonraki dolu kroze ağırlığı, (g)

### 3.5.8. Karışımın Yanmazlık Tayini (UI94 Yanmazlık Testi)

EPDM kauçuk numunelerin yanma özelliklerini karşılaştırmak için yatay yanma testleri yapılmıştır. Testler, Fire Testing Technology - FTT-01 test cihazında yapılmıştır. Seçil Kauçuk A.Ş. bünyesinde bulunan bu test cihazının fotoğrafı Şekil 3.18. (a)'da ve

yanma testi anı fotoğrafı ise Şekil 3.18. (b)'de verilmiştir. Yatay yanma testleri DIN 4102-2 (UL94/ISO 3795) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18. a) FTT-01 Yanmazlık Test Cihazı, b) Yanma Testi Anı

### 3.5.9. Elastikiyet (Geri Sekme) Testi

EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçukların elastikiyet özelliklerini belirlemek amacıyla Seçil Kauçuk A.Ş. bünyesinde bulunan Zwick Roell marka 5109 model numaralı geri sekme test cihazı kullanılmıştır. İlgili test DIN 53512 standardına uygun olarak yapılmıştır. Geri sekme elastikiyet test cihazı fotoğrafı Şekil 3.19.'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Elastikiyet Test Cihazı

### 3.5.10. Elektriksel İletkenlik Testi

Seçil Kauçuk A.Ş. test laboratuvarında bulunan Associated Research firmasının Hypotmax 7700 model numaralı yüksek gerilim test cihazı ile EPDM kauçuğu ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuklar için 60 saniye süreyle 5000 Volt (V) uygulanarak test gerçekleştirilmiştir. Hypotmax 7700 yüksek gerilim test cihazı Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Hypotmax 7700 Yüksek Gerilim Test Cihazı

### 3.5.11. EDS ve SEM Analizleri

EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçukların çekme deneyi sonrasında ortaya çıkan kırık yüzeylerinin mikroyapı incelemeleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır. Topografik, kompozisyon ve gölgeleme görüntüleme sistemine sahip Quanta 650 Field Emission marka cihaz kullanılmıştır. Numunelerin kırık yüzeyleri Baltec SCD005 Sputter Coater marka altın kaplama cihazında 30 mA’lık akımla altın tabakası ile kaplanmıştır. SEM analizleri Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı (ÇÜMERLAB)’ta yapılmıştır. İlgili taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı Şekil 3.21.’de verilmiştir.



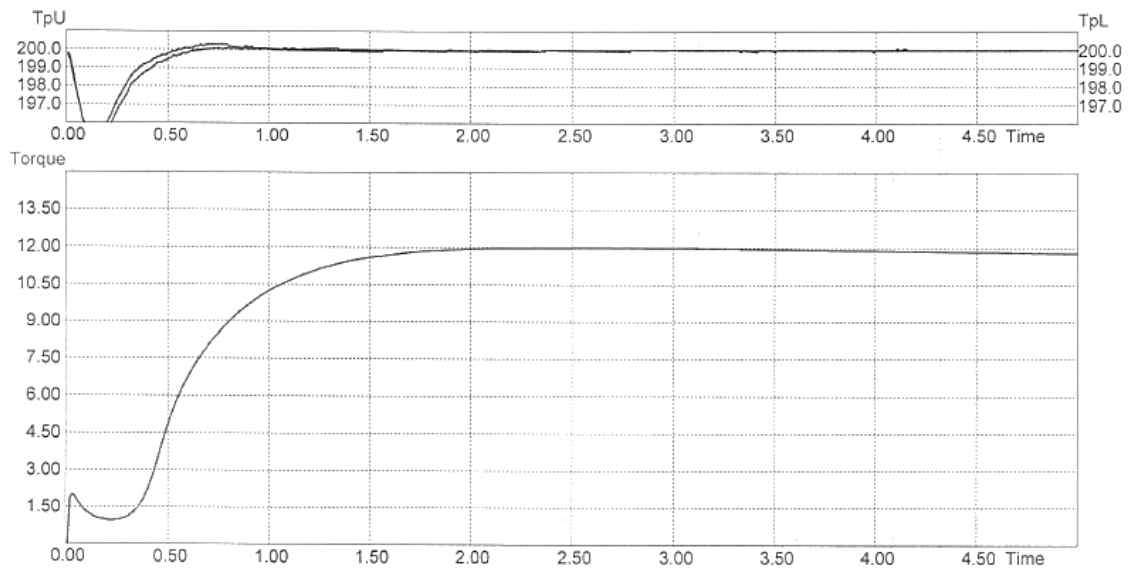
**Şekil 3.21.** Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

## BÖLÜM IV

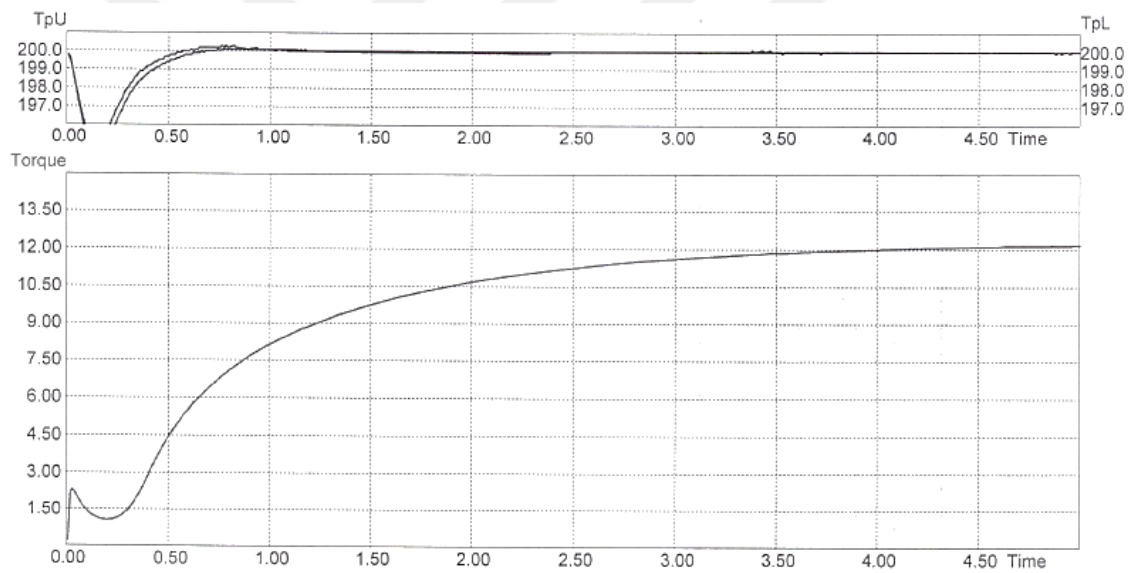
### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1. Reometre Test Sonuçları

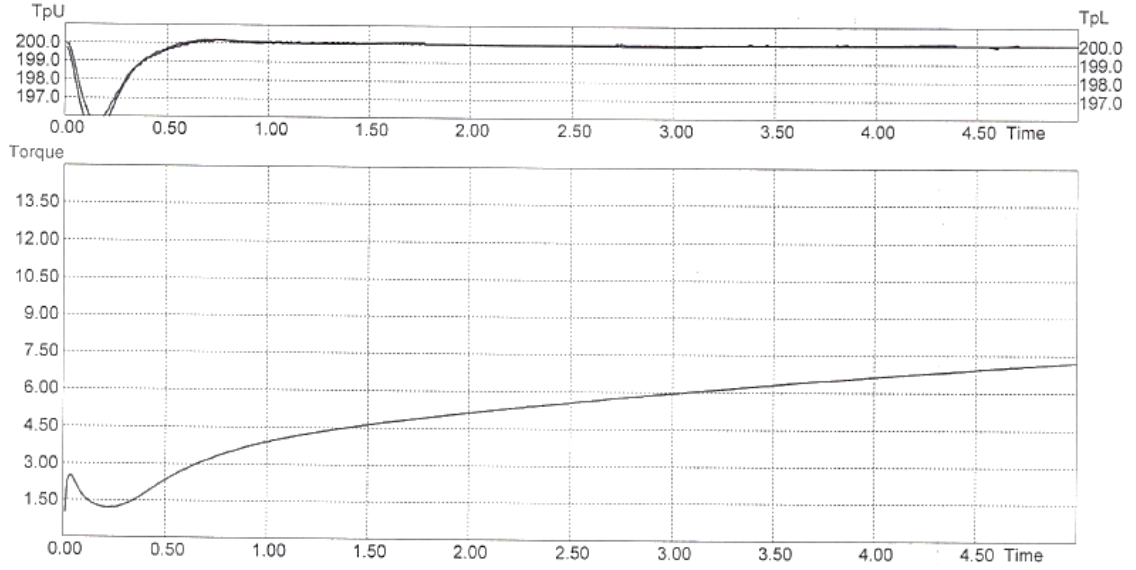
EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk hamuru numunelerine 200°C sıcaklık ve 5 dakika süresince uygulanan reometre testi sonucunda elde edilen pişme eğrileri Şekil 4.1 (a-d)'de, ortalama sonuçlar ise Tablo 4.1'de verilmiştir. Hareketli kalıp reometresi (MDR) testi hamurların viskozite, pişmeye başlama ve pişirme süresi hakkında bilgi vermektedir. Minimum tork değeri (ML), maksimum tork değeri (MH) ve TS2 değerleri, pişirme öncesi proseslerdeki işleme bilgisini verdiği gibi T90 değeri de pişirme sisteminde ne kadar kalması gerektiğinin bilgisini vermektedir. Bu nedenle kauçuk sektöründe en çok kullanılan ve yararlanılan test parametreleridir. (Altundal vd,2022). ML yani minimum tork, testin uygulandığı sıcaklıkta başlangıç evresinde hamurun yumuşayarak en düşük tork değerini verdiği noktayı ifade etmektedir. ML olarak isimlendirilen minimum tork değerinin iki birim artması ile TS2 değeri elde edilir. TS2 (scorch zamanı) vulkanizasyonun yani kürleşmenin başladığı süre değerini ifade etmektedir. MH yani maksimum tork, testin uygulanma süresi içerisinde ulaşılan en yüksek tork değerini ifade etmektedir. T90, optimum vulkanizasyon süresi olarak kullanılmaktadır ve hamur karışımının toplam vulkanizasyon oranının %90'a ulaştığı nokta olarak kabul edilmektedir. CE ise pişme genliği yani tork farkı (MH-ML) değerini ifade etmektedir. Kauçuk kür derecesi ise (cure rate index-CRI) pişme oranı olarak da bilinen pişme hızıdır.



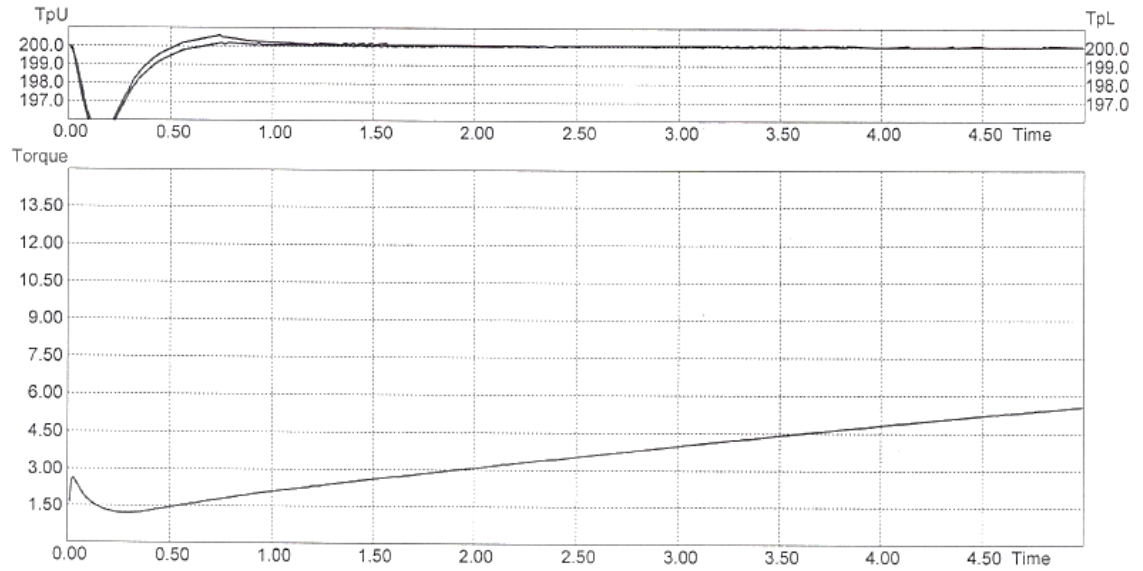
a)



b)



c)



d)

**Şekil 4.1.** Karışımların MDR ile Elde Edilen Pişme Eğrileri a) EPDM, b)EPDM/5MSiO<sub>2</sub>, c) EPDM/11MSiO<sub>2</sub>, d) EPDM/22MSiO<sub>2</sub>

Tablo 4.1’de EPDM hamur karışımı numunelerinin reolojik özellikleri verilmiştir. İlgili tablo incelendiğinde artan mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile, minimum tork (ML) değerlerinin arttığı, maksimum tork (MH) değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir. Minimum tork (ML) değeri için bu artış oranı 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren EPDM/22MSiO<sub>2</sub> hamur numunesinde %40 olarak hesaplanmıştır. Maksimum tork (MH) değeri için ise bu azalış oranının EPDM/22MSiO<sub>2</sub> hamur numunesinde %67 olarak

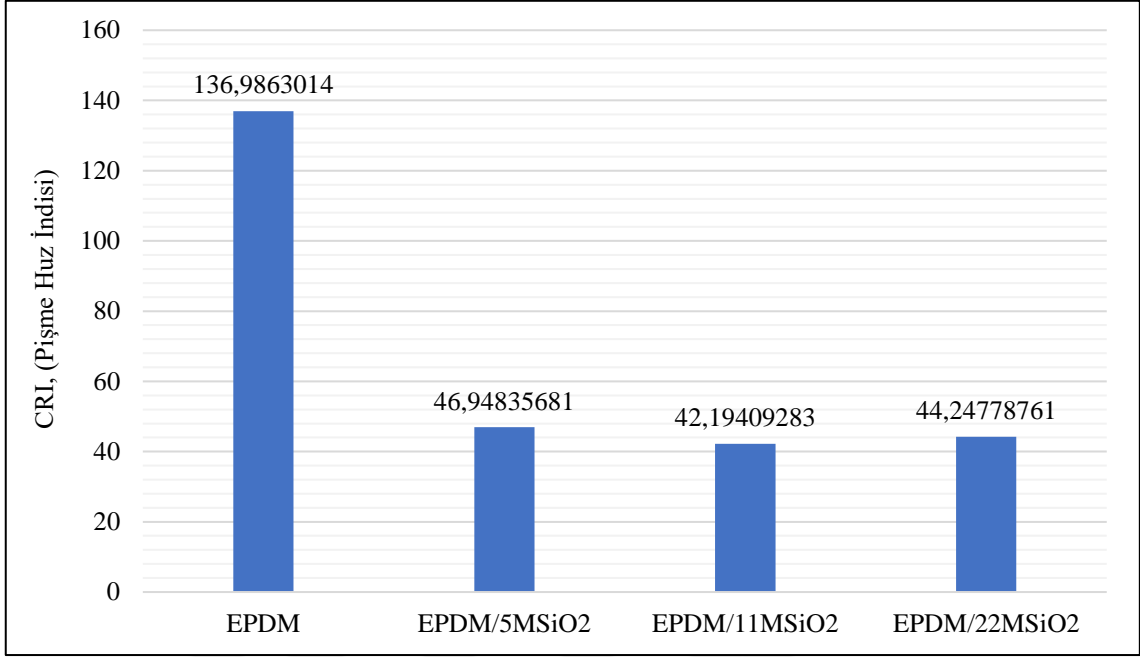
hesaplanmıştır. Maksimum tork oranlarının azalması mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının EPDM kauçuğunun çapraz bağlanma miktarını düşürdüğü ve kürleşmenin olumsuz etkilendiği şeklinde yorumlanmıştır. Hamurun ilk pişme zamanının (scorch time, TS2) ve hamurun maksimum pişmeye ulaştığı zamanın (T90), artan mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile arttığı yani ilk pişme ve optimum pişme zamanlarının uzadığı gözlemlenmiştir. EPDM/22MSiO<sub>2</sub> için sırası ile TS2 ve T90 sürelerinin uzama oranı sırasıyla %395,3 ve %278,4 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 4.1.** EPDM Hamur Karışımların Reolojik Özellikleri

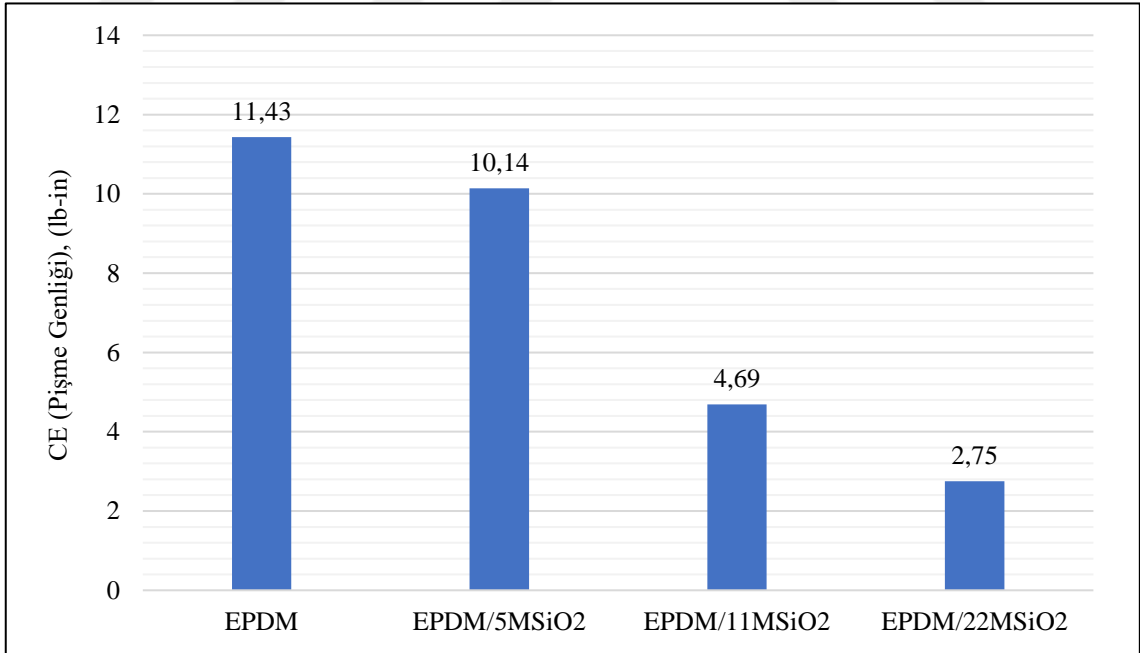
Numune Adı	EPDM	EPDM/5MSiO <sub>2</sub>	EPDM/11MSiO <sub>2</sub>	EPDM/22MSiO <sub>2</sub>
ML (lb-in)	0,95	1,15	1,27	1,33
MH (lb-in)	12,38	11,29	5,96	4,08
Pişme Genliği (CE)	11,43	10,14	4,69	2,75
TS2 (dk)	0,43	0,59	1,26	2,13
T90 (dk)	1,16	2,72	3,63	4,39
Pişme Hız İndeksi (CRI)	136,986	46,948	42,194	44,247

Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'te sırasıyla EPDM hamurlara ait pişme hız indeksi (cure rate index - CRI) ve pişme genliği (CE) grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde EPDM hamuruna ilave edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile CRI ve CE değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. 5 phr, 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numuneleri için CRI değerleri EPDM kauçuğuna göre sırasıyla %65,7, %69,2 ve %67,7 oranlarında azalmıştır. Katkı miktarının artmasıyla gerçekleşen CRI değerlerindeki düşüş, hamur numunelerinin pişmelerinin mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile olumsuz etkilendiğini göstermiştir. Pişme hız indeksinin düşmesi, T90 optimum pişme sürelerinin uzaması ve TS2 tarama zamanının uzaması mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının EPDM kauçuklarının pişmelerini olumsuz etkilediğini desteklemektedir. TS2, T90 ve CRI değerlerindeki bu değişimler EPDM kauçuğuna ilave edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> partiküllerinin miktarının artmasının kürlenmeyi yani EPDM hamurlarının pişmesini olumsuz etkilediği şeklinde yorumlanmıştır. Benzeri şekilde 5 phr, 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numuneleri için CE değerleri EPDM kauçuğuna göre sırasıyla %11,3, %59 ve %75,9 oranlarında azalmıştır. CE pişme genliği çapraz bağlanma yoğunluğu hakkında yorum yapılabilmesine imkân vermektedir. Pişme genliği yani kürleşme derecesini ifade eden CE değerlerindeki bu düşüş, EPDM kauçuğuna ilave

edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının çapraz bağlanma yoğunluğunu düşürdüğünü göstermektedir.



Şekil 4.2. Hamur Karışımlarının CRI, Minimum Değerlerinin Grafiği



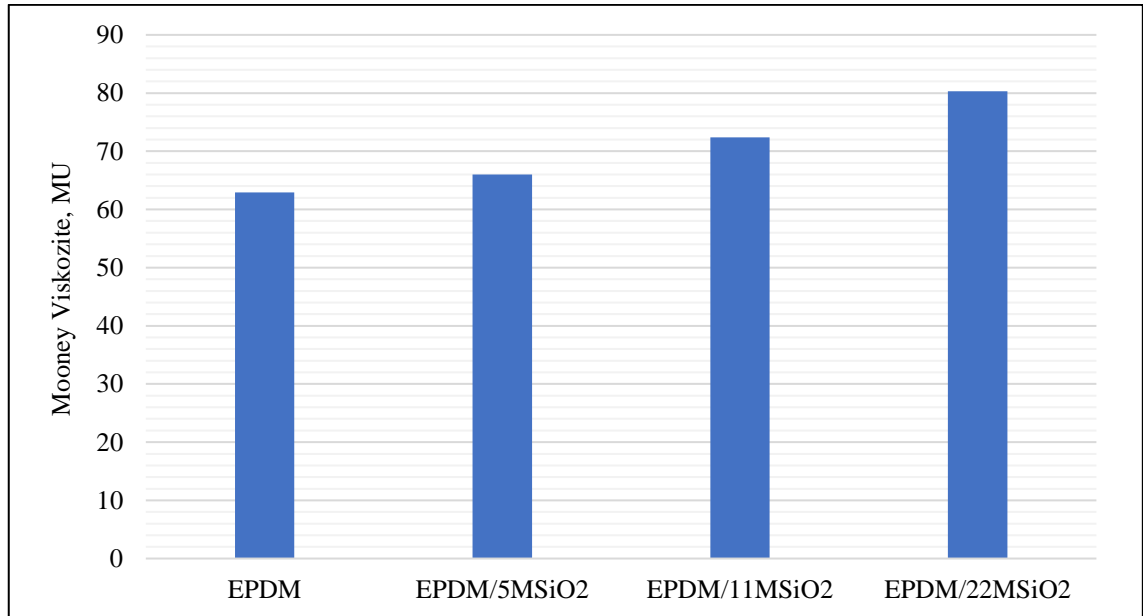
Şekil 4.3 Hamur Karışımlarının (CE) Pişme Genliği Değerlerinin Grafiği

#### 4.2. Mooney Viskozite Test Sonuçları

Mooney viskozitesi testi kauçuk hamurunun akış, hareket ve şekil alabilme özelliklerini incelemek ve kauçuk hamurunun akışkanlığını kontrol etmek amacıyla yapılmaktadır. (Erkek,2007). EPDM kauçuk numunelerine uygulanan Mooney viskozite test sonuçları Şekil 4.4 ve Tablo 4.2.'de verilmiştir. Şekil ve Tablo incelendiğinde EPDM hamurunun mooney viskozite değeri 62.9 MU olarak elde edilirken, EPDM hamuruna ilave edilen farklı oranlardaki mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> mooney viskozite değerini artırmıştır. Bu artış sırasıyla EPDM/5MSiO<sub>2</sub>, EPDM/11MSiO<sub>2</sub> ve EPDM/22MSiO<sub>2</sub> hamurları için %4,9, %15,1 ve %27, 6 oranlarında elde edilmiştir. Mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile yükselen mooney viskozite değerleri, artan katkı miktarının EPDM kauçuğunun akmaya karşı direncini arttırmaktadır.

**Tablo 4.2.** Mooney Viskozite Test Sonuçları

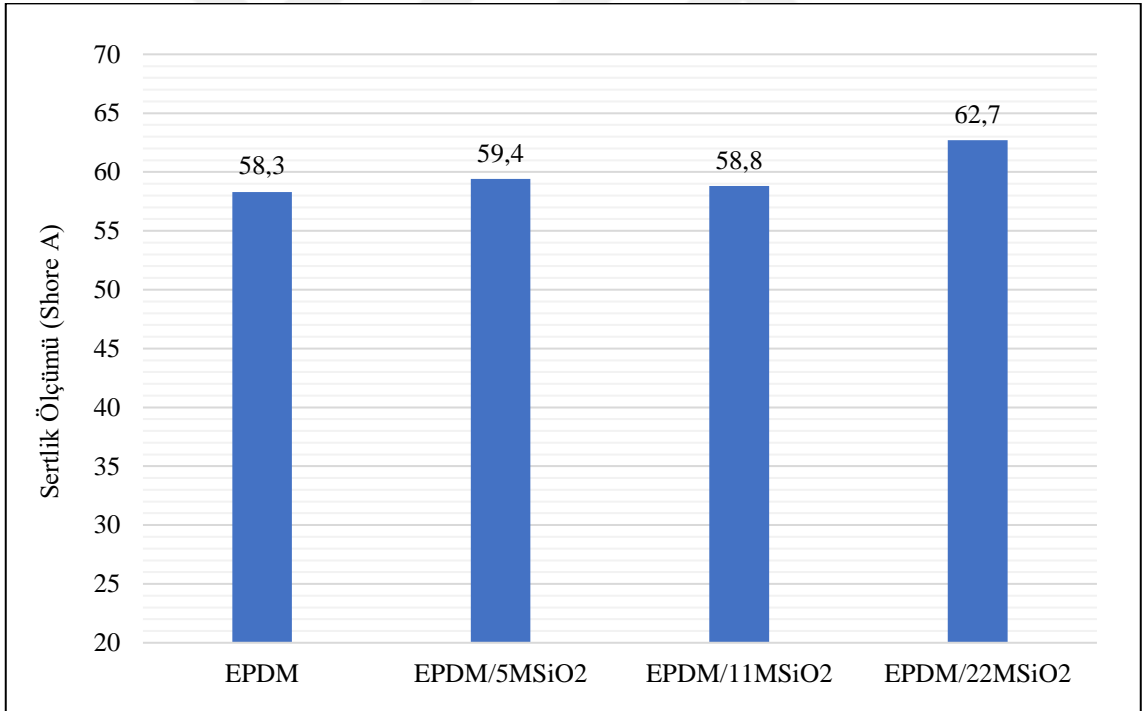
Numune Adı	Mooney Viskozite, (MU)
EPDM	62,9
EPDM/5MSiO <sub>2</sub>	66,0
EPDM/11MSiO <sub>2</sub>	72,4
EPDM/22MSiO <sub>2</sub>	80,3



**Şekil 4.4.** Hamur Karışımlarının Mooney Viskozite Değerleri Grafiği

### 4.3. Sertlik Ölçümü Test Sonuçları

Şekil 4.5'te EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerine ait Shore A sertlik sonuçları verilmiştir. Sertlik ölçümleri için her bir reçeteden üretilen kauçuklardan 10'ar adet numune alınarak ilgili test uygulanmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak test sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi EPDM kauçuklarının Shore A sertlik değerlerinin 58-63 Shore A arasında olduğu gözlenmiştir. EPDM kauçuğuna ilave edilen sert mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının beklediği üzere sertlik değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. EPDM kauçuğu, 5 phr, 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı numuneler için sırasıyla 58,3 Shore A, 59,4 Shore A, 58,8 Shore A ve 62,7 Shore A sertlik değerleri ölçülmüş ve EPDM kauçuğuna göre sertlik değerlerindeki artış oranı sırasıyla %1,9, %0,9 ve %7,5 olarak hesaplanmıştır. En yüksek sertlik artışı, en yüksek katkı oranı içeren 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM/22MSiO<sub>2</sub> numunesinde elde edilmiştir.

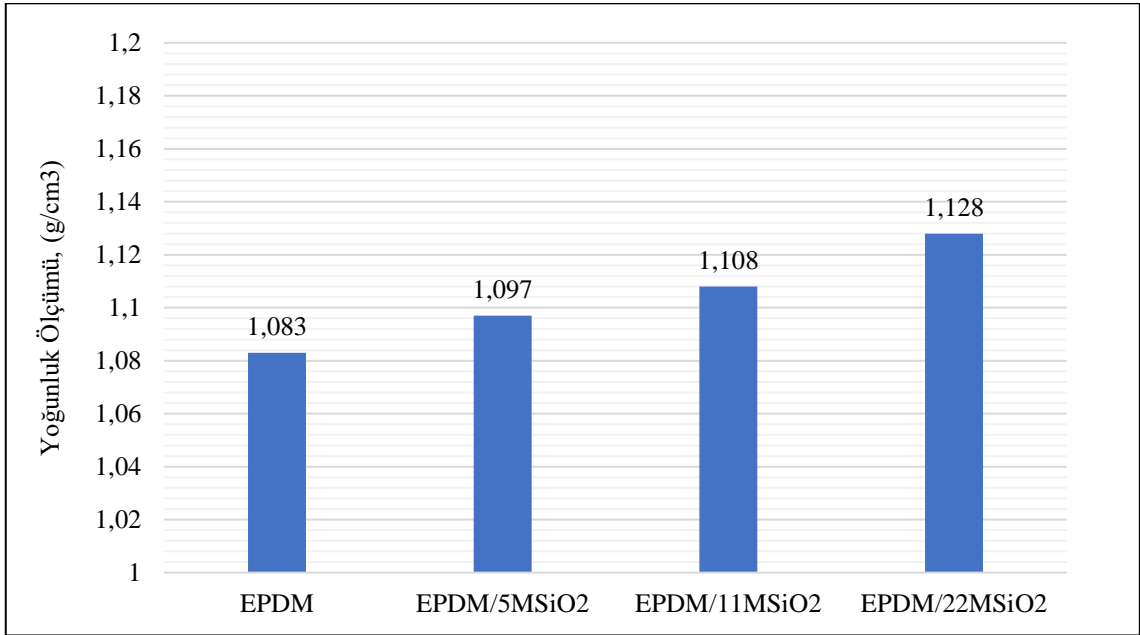


Şekil 4.5. Hamur Karışımlarının Sertlik Ölçümü Değerlerinin Grafiği

### 4.4. Yoğunluk Ölçümü Test Sonuçları

EPDM ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerine ait yoğunluk testi sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir. Yoğunluk ölçümleri için her bir reçeteden üretilen kauçuklardan 3'er adet numune alınarak ilgili test uygulanmış ve elde edilen sonuçların

ortalamaları alınarak test sonuçları verilmiştir. EPDM kauçuğun yoğunluk değeri  $1,083 \text{ g/cm}^3$  elde edilirken farklı oranlarda mezo gözenekli silisyum dioksit katkılı EPDM kauçukların yoğunluk değerlerinin beklenildiği üzere arttığı ve 22 phr mezo gözenekli  $\text{SiO}_2$  katkılı EPDM/22MSiO<sub>2</sub> kauçuğunda yoğunluk değerinin  $1,128 \text{ g/cm}^3$  elde edildiği gözlenmiştir. Yoğunluk değerlerindeki artışın, katkı oranlarındaki artışla orantılı şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

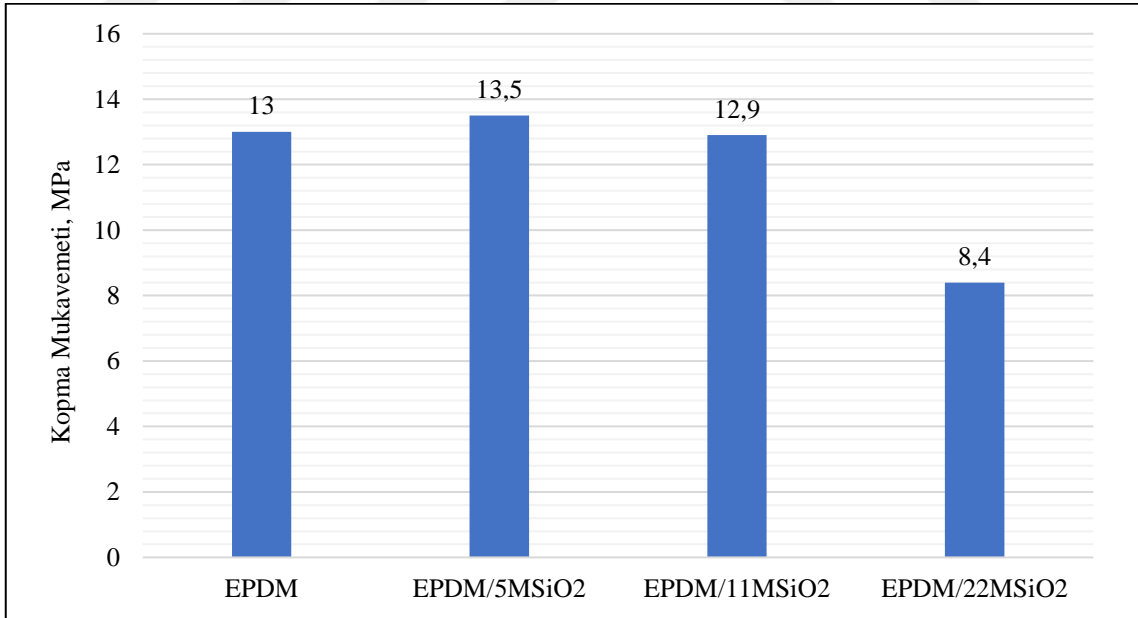


**Şekil 4.6.** EPDM Kauçuk Numunelerine Ait Yoğunluk Ölçümü Test Sonuçları Grafiği

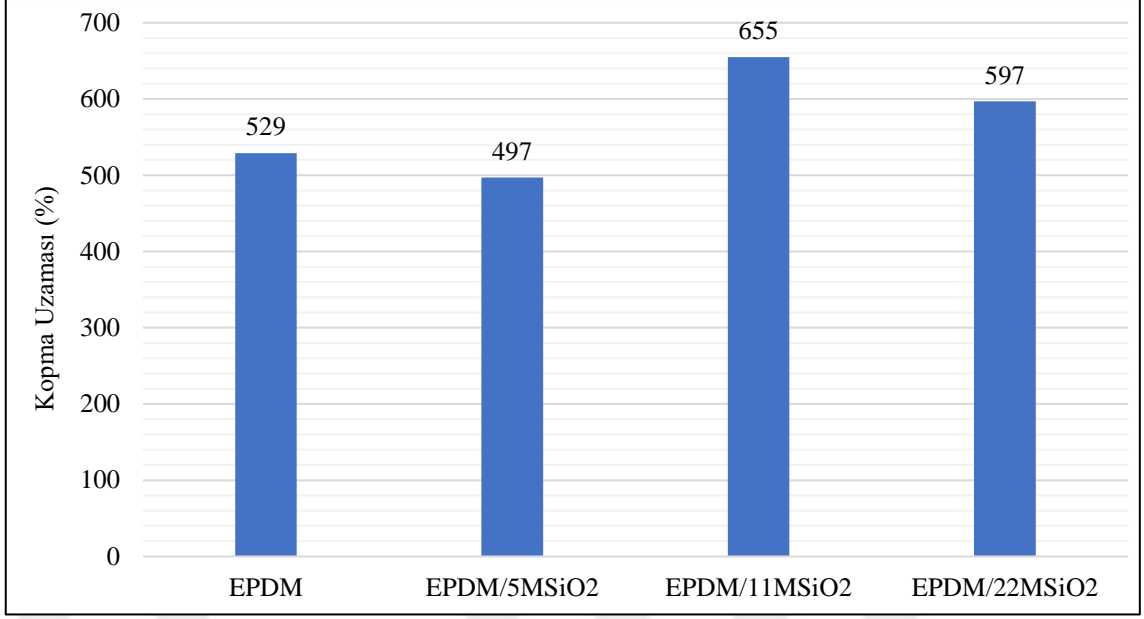
#### 4.5. Çekme Testi Sonuçları

Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de sırasıyla EPDM kauçuğu ile mezo gözenekli  $\text{SiO}_2$  katkılı EPDM kauçuk numunelerine uygulanan çekme testi sonrası elde edilen kopma mukavemeti ve kopma uzaması grafikleri verilmiştir. Ölçümler için her bir reçeteden üretilen kauçuklardan 3'er adet numune alınarak ilgili testler uygulanmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak test sonuçları verilmiştir. Kopma mukavemeti grafiği incelendiğinde EPDM kauçuğunun kopma mukavemetinin  $13,0 \text{ MPa}$  olduğu belirlenmiştir. 5 phr oranında mezo gözenekli  $\text{SiO}_2$  ilave edildiğinde kopma mukavemeti %3,85 oranında artmış ve  $13,5 \text{ MPa}$  değeri elde edilmiştir. 11 phr oranında mezo gözenekli  $\text{SiO}_2$  ilave edildiğinde ise kopma mukavemetinin azaldığı ve EPDM kauçuk değerine ulaştığı gözlenmiştir. Ancak 22 phr oranında mezo gözenekli  $\text{SiO}_2$  ilave edildiğinde kopma mukavemeti daha da azalmış ve  $8,4 \text{ Mpa}$  değeri elde edilmiştir. EPDM kauçuğu ile karşılaştırıldığında bu azalma %35,3 olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.8'deki kopma uzaması grafiği değerlendirildiğinde, EPDM kauçuğun %529 olan uzama miktarı ilave edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile değişiklik göstermiştir. 11 phr ve 22 phr oranlarında mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile kopma uzamasının sırasıyla %23,8 ve %12,8 oranlarında arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte 5 phr oranında mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren kauçuk numunesinin kopma uzaması değeri %6 azalarak %497 olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda, EPDM kauçuğu ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı kauçuk numunelerinin tamamının kabul edilebilir kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri toleransları dahilinde olduğu görülmektedir. Karbon siyahı ve silika gibi katkı & dolgu maddelerinin, çapraz bağlanmış kauçukların mekaniksel özelliklerini geliştirildiği bilinmektedir. (Payne 1962:Akt. Suzuki vd.,2005). Yüksek orandaki dolgu yüklemelerinin, polimer-dolgu etkileşimini artırarak yüksek oranda bağ oluşturabilmektedir. Bağlanma oranının yüksek olduğu kristal yapı oluşan bölgeler, ağ yapısı içine girişim yaparak ve kopma mukavemetini azaltabilirler. (Pal ve ark, 1983). Çapraz bağlanmanın yüksek olduğu alanlarda kristalleşme meydana gelir ve bu bölgelerin kuvvetlendirici etkisi olmadığı gibi kopma mukavemeti üzerine ters etki yaparak, kopma mukavemeti değerlerini azaltmaktadır. (Basfar vd.,2002; Yasin vd.,2002).



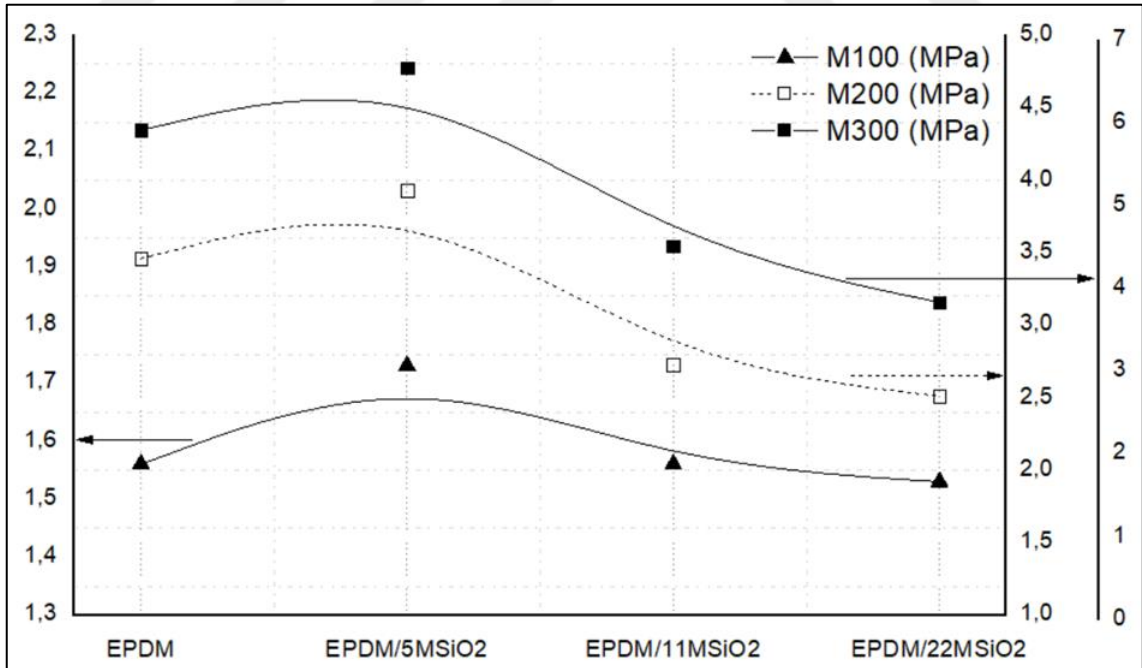
Şekil 4.7. Numunelere Ait Kopma Mukavemeti Değerleri Grafiği



**Şekil 4.8.** Numunelere Ait Kopma Uzaması Değerleri Grafiği

Şekil 4.9’de yer alan tabloda EPDM kauçuğu ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> partikülleri ilave edilmiş EPDM kauçuk numunelerine ait çekme modülü değerleri verilmiştir. Grafikte tüm numuneler için ayrı ayrı %100, %200 ve %300 uzama miktarı için gerilme değerleri yani M100 (%100 uzamadaki gerilme miktarı), M200 (%200 uzamadaki gerilme miktarı) ve M300 (%300 uzamadaki gerilme miktarı) değerleri verilmiştir. Modül değeri, numunenin belirli bir uzama değerinde üzerinde oluşan kuvvetin ölçümüdür. Genellikle psi (pounds per square inch, inç kare başına pound) ya da MPa cinsinden değerlendirilmektedir. Şekil 4.9. incelendiğinde M100, M200 ve M300 çekme modülü değerlerinin EPDM kauçuğuna ilave edilen 5 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile arttığı görülmektedir. EPDM kauçuğuna ilave edilen katkı miktarının 5 phr den daha fazla artması durumunda ise M100, M200 ve M300 çekme modülü değerlerinin düştüğü görülmüştür. M100 çekme modülü değeri 1,56 MPa olan EPDM kauçuğuna kıyasla, 5 phr katkılı EPDM/5MSiO<sub>2</sub> numunesinin M100 çekme modülü değeri %10,9 artmış ve 1,73 MPa olarak tespit edilmiştir. 5 phr katkılı EPDM/5MSiO<sub>2</sub> numunesinin M200 çekme modülü değeri 3,93 MPa ve M300 çekme modülü değeri ise 6,66 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu durum EPDM kauçuğu ile mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> partiküllerinin etkileşimlerinin 5 phr katkı miktarına kadar iyi olduğunu, katkının kauçuk içerisinde iyi dispers olduğunu fakat 5 phr katkı miktarının üzerindeki durumlarda yüksek katkı miktarının dispersiyon ve topaklanma sorunları dolayısıyla çekme modülü değerlerini düşürdüğü düşünülmektedir. EPDM kauçuğuna ilave edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub>

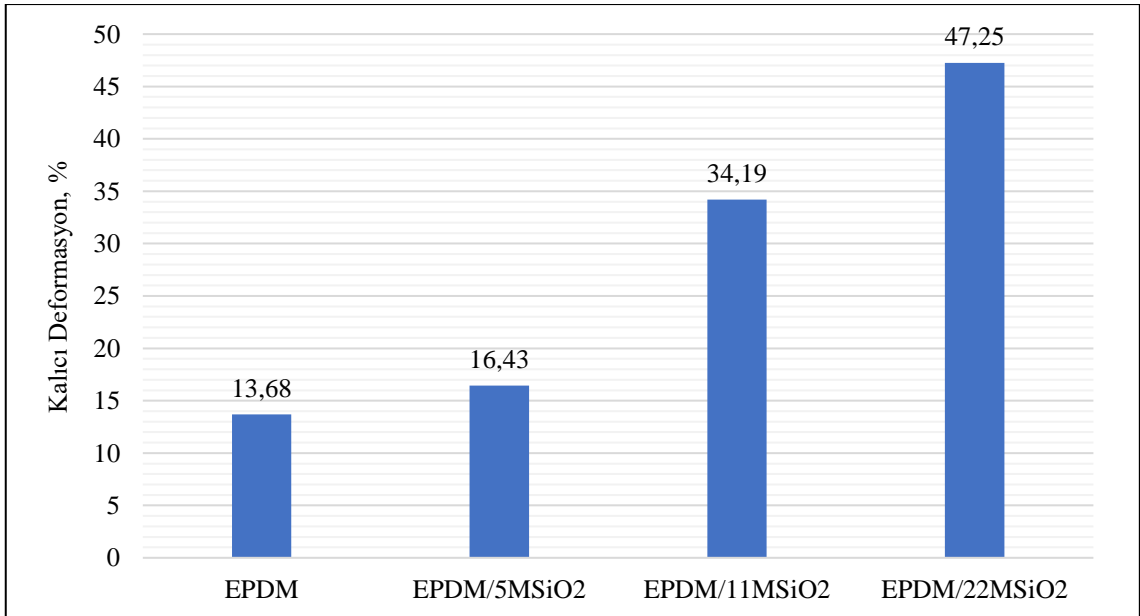
katkısının, çekme modülü değerini iyileştirmede bir optimum katkı miktarına ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda, farklı katkı miktarlarındaki EPDM kauçuğu numuneleri arasında, 5 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren EPDM/5MSiO<sub>2</sub> numunesinin çekme modülü için optimum katkı oranı içeren numune olduğu tespit edilmiştir. İsmail ve diğerleri yaptıkları çalışmada mezo SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçukların çekme modüllerinin iyileştirilmesinin dolgu/katkı maddesi ile EPDM matrisi arasındaki kuvvetli etkileşimlerle ilişkilendirmişlerdir. (İsmail vd.,2008; İsmail ve Shaari,2010). EPDM kauçuğu ile dolgu/katkı maddesi arasındaki bu güçlü etkileşim kauçuk zincirlerinin hareketlerini kısıtlayarak daha az elastik ve daha sert bir EPDM kauçuğu elde edilmesine sebebiyet vermektedir. (Surya vd.,2017; Mogy vd.,2020; Nair vd.,2021; İsmail vd.,2008; İsmail ve Shaari,2010; Mohamad vd.,2018). EPDM matrisi içerisindeki artan yüksek oranda dolgu/katkı maddesi miktarı, dolgu/katkı maddelerinin verimliliği negatif etkilemektedir. Benzeri bir şekilde başka bir çalışmada EPDM/HNT (EPDM/Halosit) nano kompozitlerinin %100 uzama değerindeki çekme modülü değerinin iyileştirilmesi, Halosit'ler (HNT), EPDM ve HNT'lerin yüzeyindeki ve iç duvarlarındaki diğer bileşenler arasındaki güçlü etkileşimlerin yanı sıra homojen ve ara katmanlı EPDM/HNT yapısıyla ilgili olduğu ifade edilmiştir. (İsmail vd.,2008).



**Şekil 4.9.** EPDM Kauçuğu ve Mezo Gözenekli SiO<sub>2</sub> Katkılı EPDM Kauçuklarında %100, %200 ve %300 (M100, M200, M300) Uzama Değerlerinde Oluşan Gerilim

#### 4.6. Kalıcı Deformasyon ve Yırtılma Dayanımı Test Sonuçları

EPDM kauçuğu ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerine uygulanan kalıcı deformasyon testi sonuçları Şekil 4.10.'da verilmiştir. Kalıcı deformasyon ölçümleri için her bir reçeteden üretilen kauçuklardan 3'er adet numune alınarak ilgili test uygulanmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak test sonuçları verilmiştir. Şekil 4.10. incelendiğinde, EPDM kauçuğu için kalıcı deformasyon oranı %13,68 iken, 5, 11 ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numuneleri için ise sırasıyla %16,43, %34,19, %47,25 değerleri elde edilmiştir. Farklı oranlardaki mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının kalıcı deformasyon (%) oranlarını arttırdığı görülmektedir. Artış oranları incelendiğinde, en yüksek kalıcı deformasyon artış oranı %245,4 artış ile 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM/22MSiO<sub>2</sub> numunesine ait olduğu belirlenmiştir. 5 phr ve 11 phr katkılı EPDM/5MSiO<sub>2</sub> ve EPDM/11MSiO<sub>2</sub> kauçuk numunelerinin kalıcı deformasyon (%) artış oranları ise sırasıyla %20,1 ve %149,9 şeklinde belirlenmiştir. Kalıcı deformasyon oranının yükselmesi, kürleşme sırasında çapraz bağ oluşumunun istenilen seviyelere çıkmadığı şeklinde düşünülmüştür. Üretilen EPDM esaslı malzeme numunelerinin sızdırmazlık elamanı olarak kullanımının uygun olduğu düşünülmektedir. Kalıcı deformasyon değerlerinin artmasının, EPDM kauçuğun elastikiyetini kaybetmesi ve kolay deforme olması anlamına geldiği belirtilmiştir. (Çiftçi vd.,2023).



Şekil 4.10. EPDM Kauçuk Numuneleri Kalıcı Deformasyon (%) Test Sonuçları Grafiği

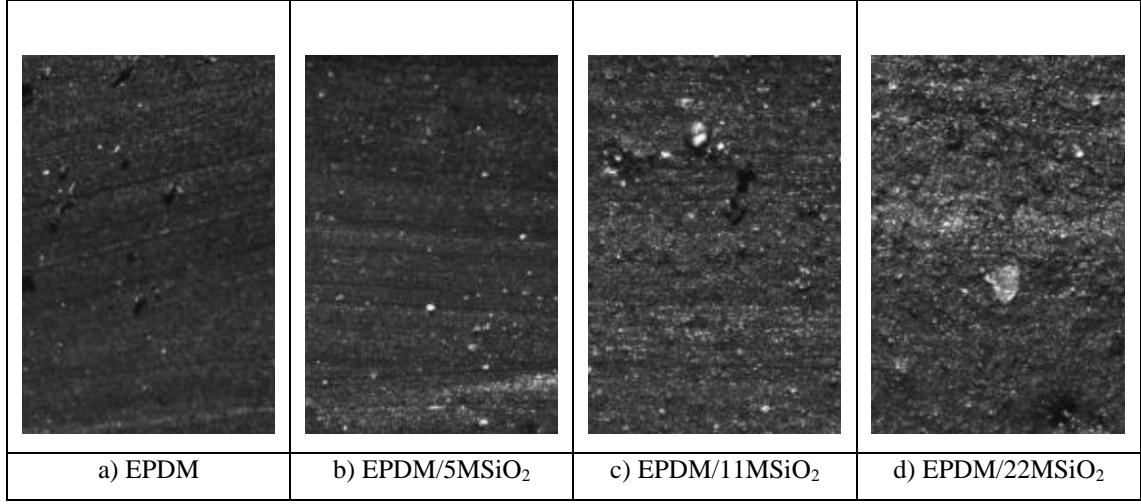
Kauçuk numunelerine uygulanan yırtılma dayanımı test sonuçları ise Tablo 4.3.'de verilmiştir. Yırtılma dayanımı ölçümleri için her bir reçeteden üretilen kauçuklardan 3'er adet numune alınarak ilgili test uygulanmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak test sonuçları verilmiştir. Yırtılma dayanımı test sonuçları incelendiğinde, artan mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının yırtılma dayanımını düşürdüğü görülmektedir. EPDM kauçuk numunesi için yırtılma dayanımı 35,44 N/mm iken 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM/22MSiO<sub>2</sub> kauçuk numunesinin yırtılma dayanımı değeri 31,91 N/mm olarak ölçülmüştür. Yırtılma dayanımı düşüşü %9,7 olarak hesaplanmıştır. 5 phr ve 11 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerinde ise yırtılma dayanımı düşüşü sırası ile %6,4 ve %9 olarak belirlenmiştir.

**Tablo 4.3.** Yırtılma Dayanımı Test Sonuçları

Numune Adı	Yırtılma Dayanımı (N/mm)
EPDM	35,44
EPDM/5MSiO <sub>2</sub>	33,16
EPDM/11MSiO <sub>2</sub>	32,25
EPDM/22MSiO <sub>2</sub>	31,91

#### 4.7. Dispersiyon Testi Sonuçları

Kauçukların hamur karışımlarında bulunan karbon siyahı, diğer dolgu ve katkı parçacıklarının dağılımını, boyutlarını ve miktarlarını belirlemek amacı ile dispersiyon testi yapılmaktadır. Bu tez çalışmasındaki EPDM kauçuğu ve farklı phr (per hundred of rubber) oranlarında mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren EPDM kauçuk numunelerine uygulanan dispersiyon testlerine ait görüntüler Şekil 4.11.'de verilmiştir.



**Şekil 4.11.** EPDM Kauçuğu ve Mezo Gözenekli SiO<sub>2</sub> Katkılı Kauçuk Numunelerine Ait Dispersiyon Testi Görüntüleri

EPDM ve 5 phr, 11 phr ve 22 phr oranlarında mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ihtiva eden kauçuk numunelerine uygulanan dispersiyon testleri sonucunda elde edilen beyaz alan (%), dispersiyon (%), ortalama aglomer boyutu ( $\mu\text{m}$ ) ve aglomer boyutu standart sapması ( $\mu\text{m}$ ) değerleri Tablo 4.4.'de verilmiştir. Beyaz alan (%), kauçuk numunelerinin karışımlarındaki beyaz dolgu maddelerinin diğer bileşenlerle homojen bir şekilde karışıp karışmadığı hakkında yorum yapılabilmesine imkân sağlamaktadır. Daha düşük bir beyaz alan yüzdesi, daha homojen bir dispersiyonun olduğunu gösterebilmektedir. Bu bağlamda EPDM numunesi ve 5 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren EPDM/5MSiO<sub>2</sub> numunesi arasında beyaz alan açısından kayda değer bir farklılık görülmemektedir. Bununla birlikte beyaz alan (%) değerleri %4,5 ölçülmüş olup ve diğer katkı oranlarındaki kauçuk numuneleri arasında en düşük beyaz alan oranına (%) sahiplerdir. 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> takviyesi içeren kauçuk karışımı numunelerindeki beyaz alan (%) oranları ise sırasıyla %7,88 ve %17,29 olarak belirlenmiştir. En yüksek beyaz alan (%) oranı 22 phr katkıli kauçuk numunesinde görülmektedir.

**Tablo 4.4.** Dispersiyon Test Sonuçları

	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Beyaz Alan, %</b>	<b>Dispersiyon, %</b>	<b>Ort. Agl. Boyutu, (µm)</b>	<b>Agl.Byt. Std. Sap. (µm)</b>
<b>EPDM</b>	3,30	9,49	87,09	4,52	95,48	3,04	3,37
<b>EPDM/5MSiO<sub>2</sub></b>	2,91	7,99	87,03	4,54	95,46	2,51	4,33
<b>EPDM/11MSiO<sub>2</sub></b>	1,65	9,35	77,49	7,88	92,12	3,33	3,64
<b>EPDM/22MSiO<sub>2</sub></b>	1,00	7,51	50,59	17,29	82,71	3,93	4,80

Dispersiyon oranı, EPDM kauçuğu numunelerindeki dağılımın yüzdesini temsil etmektedir. Daha yüksek bir dispersiyon oranı, malzeme yapısında daha homojen bir dağılımın olduğuna ve malzemenin iyi dispers olduğu şeklinde yorum yapılabilmesine imkân sağlamaktadır. Numunelerin dispersiyon oranları incelendiğinde, oranlarının %82-95 bandında olduğu ve artan mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının dağılımı olumsuz etkileyerek dispersiyon (%) oranında düşüşe sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. EPDM kauçuğu ve 5 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren EPDM/5MSiO<sub>2</sub> kauçuğunun %95,4 ile en iyi dispersiyon (%) oranına sahip numuneler olduğu görülmektedir. 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı kauçuk numunelerindeki dispersiyon (%) oranı düşüşü sırası ile %3,5 ve %13,4 olarak belirlenmiştir. 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM/22MSiO<sub>2</sub> %82,71 ile en düşük dispersiyon (%) oranına sahip kauçuk numunesi olarak belirlenmiştir.

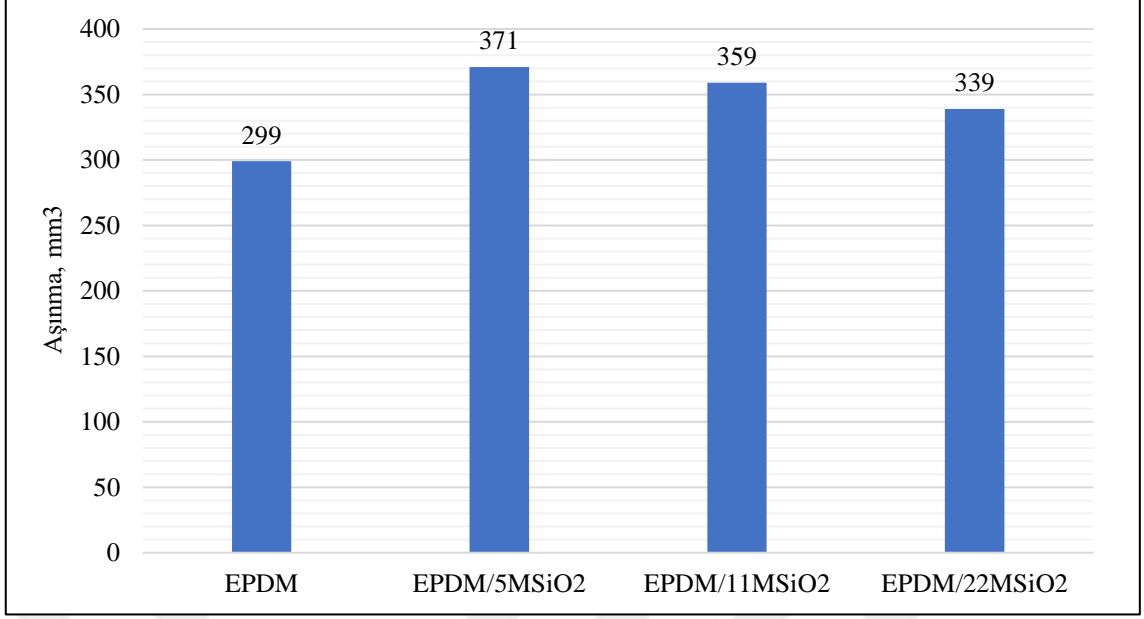
Ortalama aglomer boyutu (µm), EPDM kauçuğu numunelerindeki aglomerlerin ortalama boyutunu yani topaklanmaların boyutunu belirtmektedir. Daha küçük bir ortalama aglomer boyutu, malzeme yapısında daha homojen bir dağılımın olduğuna dair yorum yapılmasının imkân sağlamaktadır. Bu bağlamda 5 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren EPDM/5MSiO<sub>2</sub> numunesi en düşük ortalama aglomer boyutuna (µm) sahiptir. 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren EPDM/22MSiO<sub>2</sub> numunesinin ise 3.93 µm'lik bir değer ile en yüksek ortalama aglomer boyutuna sahip olduğu görülmektedir. Katkı ve dolgu maddelerindeki artışın karıştırmayı zorlaştırması sebebi ile artan mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının ortalama aglomer boyutu (µm) ve aglomer boyut standart sapması (µm) değerleri üzerinde yükselişe ve kötü dispersiyon oranlarına (%) sebebiyet verdiği yorumu yapılabilir.

Dispersiyon testine dair olarak, beyaz alan oranı (%) ne kadar düşük, dispersiyon oranı (%) ne kadar yüksek ve ortalama aglomer boyutları (µm) ne kadar küçük ise,

numune karışımlarındaki beyaz katkı ve dolguların o kadar homojen dağıldığı yani iyi dispers olduğu söylenebilmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda 5 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM/5MSiO<sub>2</sub> kauçuk numunesi, %4,54 beyaz alan, %95,46 dispersiyon oranı ve 2,51 µm ortalama aglomer boyutu ile dispersiyon test sonuçlarında en başarılı EPDM kauçuğu olduğu görülmektedir.

#### 4.8. Abrasif Aşınma Testi Sonuçları

EPDM kauçuk numunelerine uygulanan aşınma testi sonuçları Şekil 4.12.'de yer alan grafikte verilmiştir. Grafikte yer alan veriler mm<sup>3</sup> cinsinden aşınma miktarını belirtmektedir. Bu bağlamda aşınma miktarının yüksek olması, malzemenin aşınma direncinin düşük olması durumunu ortaya koymaktadır. Aşınma testi için her bir reçeteden üretilen kauçuklardan 3'er adet numune alınarak aşınma testi uygulanmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak test sonuçları verilmiştir. Veriler incelendiğinde mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile aşınma miktarının (mm<sup>3</sup>) arttığı ve katkı miktarının artmasıyla aşınma miktarının (mm<sup>3</sup>) bir miktar azaldığı ancak yine de EPDM kauçuk numunesinden daha yüksek bir aşınma sergilediği görülmektedir. En düşük aşınma miktarı EPDM kauçuk numunesine ait olup 299 mm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. Kauçuk karışımlarında ihtiva eden 5 phr, 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile aşınma miktarlarındaki (mm<sup>3</sup>) artış oranları sırası ile %24,1, %20,1 ve %13,4 şeklindedir. Uygulanan aşınma testi neticesinde en düşük aşınma direnci, EPDM/5MSiO<sub>2</sub> olarak adlandırılan, 5 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren numunede görülmektedir. En yüksek aşınma direncine ise EPDM kauçuk numunesinin sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ihtiva eden kauçuk numunelerinin dispersiyon oranları ile bağdaştırılmıştır. 5 phr, 11 phr ve 22 phr katkı oranlarına sahip kauçuk numuneleri için dispersiyon oranı sırasıyla %95,46, %92,12 ve %82,71 olarak tespit edilmiştir. Aşınma testi sırasında numune üzerine temas eden aşındırıcının numunenin yüzeyinden parçacıklar kopardığı, artan dispersiyon oranı ile bu yüzeyden parçacık kopması durumunun her noktadan gerçekleşerek arttırdığı ve iyi bir dispersiyon oranının aşınma miktarını arttırdığı şeklinde yorumlanmıştır.



**Şekil 4.12.** EPDM Kauçuk Numunelerinin Aşınma Testi Grafiği

#### 4.9. Kül Testi Sonuçları

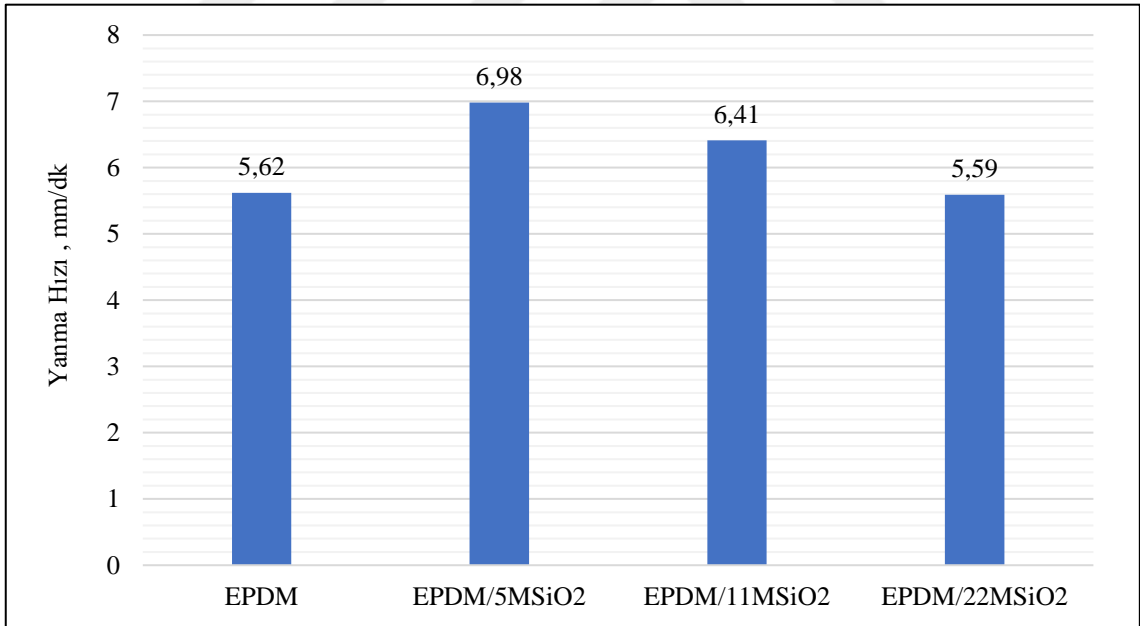
Bir malzemenin organik olmayan katı kalıntılarını belirlemek amacıyla kül testi yapılmaktadır. Bu amaçla EPDM kauçuğu ve farklı oranlarda mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ihtiva eden kauçuk numunelerine uygulanan kül testi sonuçları Tablo 4.5.'de verilmiştir. Tabloda yer alan kül miktarları (%) incelendiğinde, beklenildiği üzere mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının yanıcı olmayan katı kalıntı içeriğini artırdığını ve dolayısıyla kül miktarını (%) arttırdığı gözlemlenmektedir. Bu bağlamda EPDM kauçuğu en düşük kül miktarına (%) sahipken, 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM/22MSiO<sub>2</sub> numunesi ise en yüksek kül miktarına (%) sahip olduğu görülmektedir. EPDM kauçuğuna oranla 5 phr, 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı kauçuk numuneleri için kül miktarı artışı sırasıyla %32,5, %76,8 ve %135 olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 4.5.** Kül Testi Sonuçları

Numune Adı	Kül Miktarı (%)
EPDM	6,481
EPDM/5MSiO <sub>2</sub>	8,589
EPDM/11MSiO <sub>2</sub>	11,458
EPDM/22MSiO <sub>2</sub>	15,235

#### 4.10. Yanmazlık Tayini Testi Sonuçları (UL94 Yanmazlık Testi)

EPDM kauçuğu ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı kauçuk numunelerine uygulanan UL94 yanmazlık tayini testi sonuçları Tablo 4.6.'da ve Şekil 4.13.'te verilmiştir. Elde edilen yanmazlık tayini testi sonuçlarına göre, mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının yanma hızı üzerindeki tesirinin katkı oranına göre değişiklik gösterdiği, düşük oranlarda katkı miktarının yanma hızını (mm/dk) daha yüksek oranlarda arttırdığı görülmektedir. EPDM kauçuk numunesinin yanma hızı 5,62 mm/dk olarak ölçülmüştür. 5 phr, 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren kauçuk numunelerindeki yanma hızları ise sırası ile 6,89 mm/dk, 6,41 mm/dk ve 5,59 mm/dk şeklinde elde edilmiştir. Bu bağlamda 5 phr ve 11 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının yanma hızları sırası ile %22,6 ve %14,1 oranlarında arttırdığı hesaplanmıştır. 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının ise yanma hızı (mm/dk) üzerinde kayda değer bir tesiri olmadığı görülmektedir. EPDM kauçuklarına eklenen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının yanma hızını (mm/dk) arttırarak yanmazlık performansını olumsuz etkilediği ancak artan katkı miktarının yanma hızında bir miktar düşüşe sebebiyet verdiği yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 4.13. Hamur Karışımlarının Yanmazlık Testi Grafiği

**Tablo 4.6.** Yanmazlık Tayini Testi Sonuçları

Numune Adı	Yanmazlık (mm/dk)
EPDM	5,62
EPDM/5MSiO <sub>2</sub>	6,89
EPDM/11MSiO <sub>2</sub>	6,41
EPDM/22MSiO <sub>2</sub>	5,59

#### 4.11. Elastikiyet (Geri Sekme) Testi Sonuçları

EPDM kauçuk karışımları numunelerine uygulanan elastikiyet (geri sekme) testlerinin amacı malzemenin esnekliğinin basit ve hızlı bir şekilde ölçülmesidir. %100 elastik olan bir malzeme, uygulanan kuvvet enerjisini depolar ve uygulanan kuvvet serbest bırakıldığı anda depoladığı enerjiyi de serbest bırakır. Bu davranışın aksi olarak %100 plastik olan malzeme ise uygulanan kuvvet enerjisini tamamen emer. Bu özellikler geri tepme esnekliğini ölçmek için kullanılmaktadır. Bu bağlamda EPDM kauçuğu ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı kauçuk numunelerine uygulanan elastikiyet (geri sekme) testi sonuçları Tablo 4.7.'de verilmiştir. Ölçümler için her bir reçeteden üretilen kauçuklardan 3'er adet numune alınarak ilgili test uygulanmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak test sonuçları verilmiştir. Tabloda yer alan veriler incelendiğinde test numunelerinin elastikiyet değerlerinin %61-%65 aralığında olduğu görülmektedir. EPDM kauçuğuna ilave edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının elastikiyet değerleri üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

**Tablo 4.7.** Elastikiyet (Geri Sekme) Testi Sonuçları

Numune Adı	Elastikiyet (%)
EPDM	62,45
EPDM/5MSiO <sub>2</sub>	64,81
EPDM/11MSiO <sub>2</sub>	62,81
EPDM/22MSiO <sub>2</sub>	61,61

#### 4.12. Elektriksel İletkenlik Test Sonuçları

EPDM kauçuğu ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı kauçuk numunelerine uygulanan iletkenlik testi sonuçları Tablo 4.12.'de verilmiştir. Ölçümler için her bir reçeteden üretilen kauçuklardan 3'er adet numune alınarak 60 saniye süreyle 5000 Volt (V)

uygulanmış ve sonrasında numunelerden geçen elektrik akımları miliamper (mA) cinsinden kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak test sonuçları hesaplanmıştır. Tablo 4.8. incelendiğinde EPDM kauçuğuna ilave edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının elektriksel iletkenliği düşürdüğü görülmektedir. 5, 11 ve 22 phr katkılı EPDM kauçuğu numuneleri için elektriksel iletkenlikteki düşüş sırasıyla %22,8, %66,3 ve %73,9 olarak hesaplanmıştır. Elektriksel iletkenlikteki düşüş, elektriksel yalıtkanlıktaki artış olarak düşünülebilmektedir.

**Tablo 4.8.** Elektriksel İletkenlik Testi Sonuçları

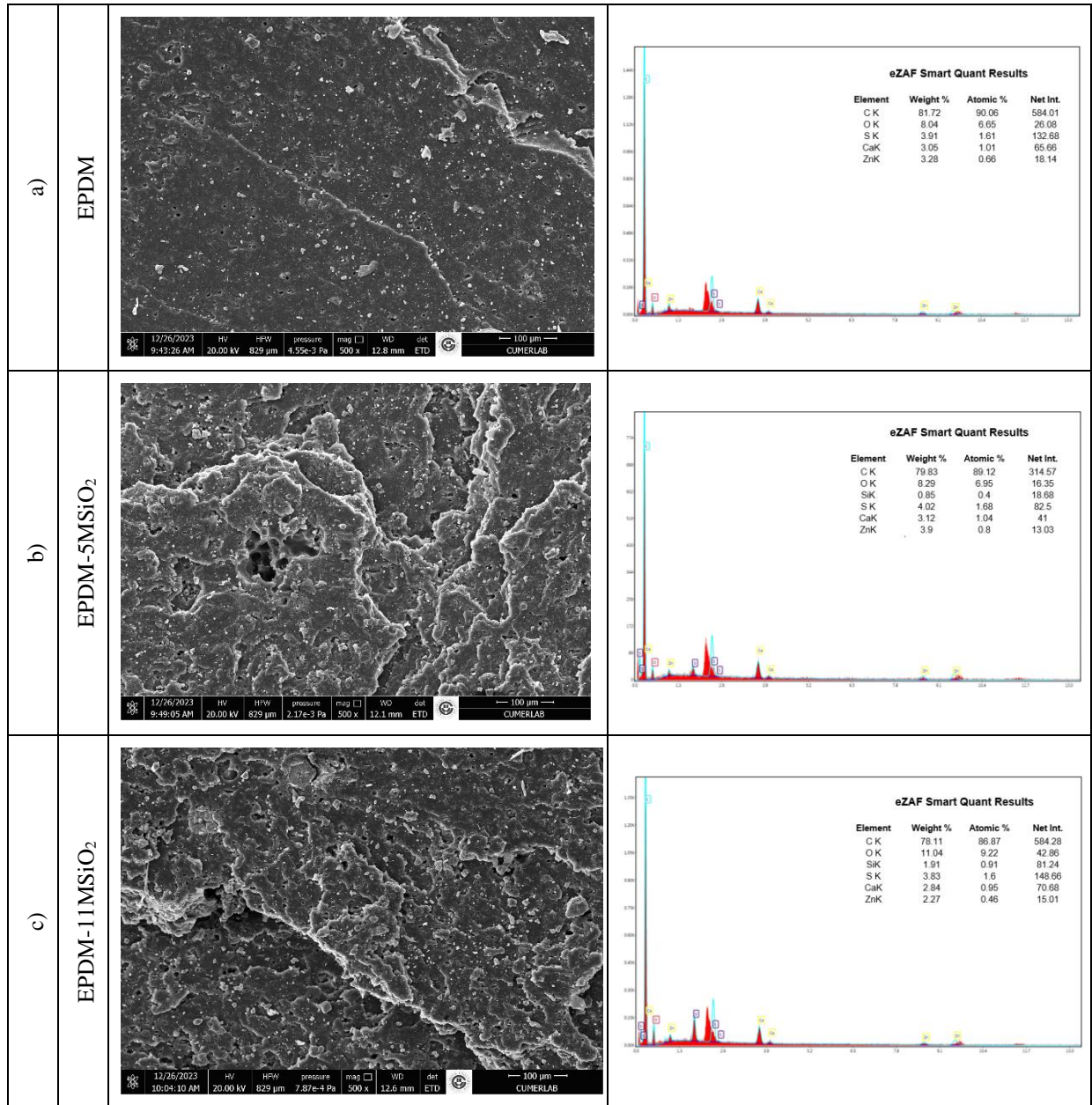
Numune Adı	Elektrik Akımı (mA)
EPDM	0,092
EPDM/5MSiO <sub>2</sub>	0,071
EPDM/11MSiO <sub>2</sub>	0,031
EPDM/22MSiO <sub>2</sub>	0,024

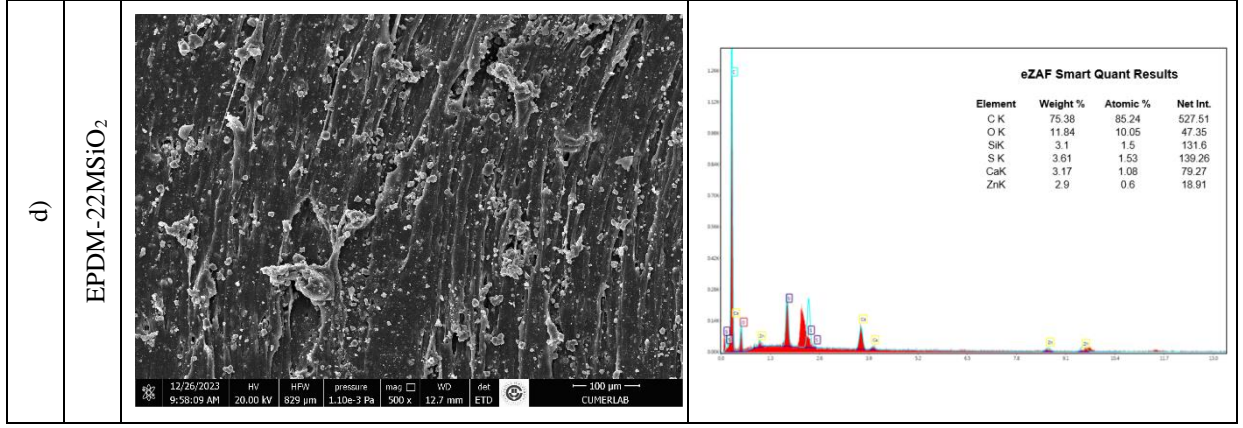
#### 4.13. EDS ve SEM Analizleri Sonuçları

EPDM kauçuk karışımları numunelerine EDS (Energy Dispersive Spectrometry) yani enerji dispersif spektrum ve SEM (Scanning Electron Microscope) yani taramalı elektron mikroskobu analizleri yapılmıştır. EPDM kauçuğu ile 5 phr, 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı kauçuk numunelerine uygulanan EDS analizleri sonucunda elde edilen grafik ve tablolar ile çekme testleri sonucunda elde edilen kırık yüzey SEM görüntülemeleri sırasıyla Şekil 4.14.'de verilmiştir. EDS tabloları ve grafikleri incelendiğinde, EPDM yapısındaki büyük oranda karbon (C) ve oksijen 'in (O) yanı sıra kükürt (S), kalsiyum (Ca) ve çinko (Zn) elementlerinin varlığı görülmektedir. Mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı kauçuk numunelerinde ise karbon (C), oksijen (O), kükürt (S), kalsiyum (Ca) ve çinko (Zn) elementlerinin yanında mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkıya ait olan Silisyum (Si) elementi de farklı oranlarda gözlenmiştir.

EPDM kauçuğu ile farklı oranlarda mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ihtiva eden kauçuk numunelerine uygulanan çekme testi sonrası elde edilen kırık yüzeylerden kullanılarak yapılan SEM analizlerine ait görüntüler 500X büyütme oranlarına sahiptir. Şekiller incelendiğinde EPDM kauçuğunun kırılma yüzeyinin 5 phr, 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerine kıyasla daha pürüzsüz olduğu görülmektedir. Şekil 4.14.-b'de 5 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının EPDM kauçuğu içerisinde homojen dağılım gösterdiği ve katkı maddesinin yapı içerisinde kritik bir

topaklanma oluşturmadığı görülmektedir. Şekil 4.14.-d’de yer alan 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunesinde ise kauçuk ile katkı maddesi arasındaki etkileşimin azalması nedeniyle artan topaklanmayla birlikte, kırılma yüzeyinde pürüzlü bir yapı ortaya çıkmaktadır. İyi bir etkileşim ve dolayısıyla iyi mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için dolgu maddesi parçacıklarının, kauçuk matrisi içerisinde homojen dağılması gerekmektedir. (El Mogy vd.,2019; Xu vd.,2022). Elde edilen bu sonuçlar dispersiyon testi sonuçlarını, dispersiyon görüntülerini ve mekanik özelliklerden elde edilen verileri doğrulamaktadır.





Şekil 4.14. Mezo Gözenekli SiO<sub>2</sub> Katkısının EPDM Kauçuğunun Mikro Yapısı Üzerindeki Etkisi. a) 0 phr b) 5 phr c) 11 phr d) 22 phr



## SONUÇ VE ÖNERİLER

EPDM kauçuğu ve mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçukların reolojik, termal ve mekanik özelliklerinin incelendiği çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlar ilave edilmiştir.

- EPDM hamuruna ilave edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının mooney viskozite değerini arttırdığı görülmüştür. EPDM kauçuğuna kıyasla bu artış EPDM/5MSiO<sub>2</sub>, EPDM/11MSiO<sub>2</sub> ve EPDM/22MSiO<sub>2</sub> hamurları için sırasıyla %4,9, %15,1 ve %27,6 oranlarında elde edilmiştir.
- EPDM hamuruna ilave edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının, EPDM hamurlarındaki beyaz alan yüzdesini arttırdığı ve dispersiyon oranını azalttığı tespit edilmiştir. 5 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> partikülü katkılı EPDM/5MSiO<sub>2</sub> kauçuk numunesi %4,54 beyaz alan, %95,46 dispersiyon oranına sahip olmakla birlikte EPDM kauçuğu ile arasında kayda değer bir farklılık bulunmamaktadır. EPDM/11MSiO<sub>2</sub> ve EPDM/22MSiO<sub>2</sub> numuneleri için beyaz alan sırasıyla %74,3 ve %304 artmış ve dispersiyon oranı ise sırasıyla %3,5 ve %13,4 oranlarında azalmıştır.
- Mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkı oranının artması ile ML tork değerlerinde artış yaşanırken, MH tork değeri ile CE pişme genliği değerinde azalış tespit edilmiştir. CE değerindeki bu azalma 5 phr, 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçuk numunelerinde EPDM kauçuğuna göre sırasıyla %11,3, %59 ve %75,9 oranlarında tespit edilmiştir.
- Benzeri şekilde artan mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile scorch süresi TS2 ve optimum pişme süresi T90 artarken CRI yani pişme hız indeksi değerlerinde ise azalış gözlemlenmektedir. EPDM kauçuğu, 5 phr, 11 phr ve 22 phr katkılı kauçuk hamur numuneleri için T90 süreleri sırasıyla 1,16 dk, 2,72 dk, 3,63 dk ve 4,39 dk şeklinde tespit edilmiştir. EPDM kauçuğu, 5 phr, 11 phr ve 22 phr katkılı kauçuk hamur numuneleri için CRI sürelerindeki azalış EPDM kauçuğuna kıyasla 5 phr, 11 phr ve 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> partikül katkılı hamur numunesi için sırasıyla %65,7, %69,2, ve %67,7 şeklinde hesaplanmıştır.
- EPDM kauçuk hamuruna eklenen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı ile beklenildiği üzere yoğunluk ve kül miktarı değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışlar katkı miktarı ile doğru orantılı şekilde gerçekleşmiştir. En yüksek yoğunluk ve en

yüksek kül miktarı 22 phr katkılı EPDM/22MSiO<sub>2</sub> numunesinde elde edilmiş olup bu değerler sırası ile 1,128 g/cm<sup>3</sup> ve %15,23 şeklinde elde edilmiştir.

- Numunelerin sertlik değerlerinin 58-63 Shore A aralığında olduğu tespit edilmiştir. Katkı miktarının artmasıyla EPDM kauçuklarının sertlik değerlerinde artış görülmüştür. En yüksek sertlik değeri 62,7 Shore A ile 22 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı numunede elde edilmiş olup artış oranı %7,5 olarak hesaplanmıştır.
- EPDM kauçuğunun kopma mukavemetinin 13,0 MPa olduğu belirlenmiştir. Mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> ilave edildiğinde kopma mukavemeti 5 phr, 11 phr ve 22 phr oranlarındaki katkı için sırasıyla 13,5 MPa, 12,9 MPa ve 8,4 MPa olarak tespit edilmiştir.
- Tüm numuneler için kopma uzaması değerleri %497-655 arasında kalmıştır. En yüksek kopma uzaması değeri %655 ile 11 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısı içeren EPDM/11MSiO<sub>2</sub> numunesinde elde edilmiştir.
- EPDM kauçuğuna kıyasla, 5 phr mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının M100, M200 ve M300 için modül değerini arttırdığı, 11 phr ve 22 phr katkı oranlarının ise çekme modülü değerlerinin M100, M200 ve M300 için düşürdüğü tespit edilmiştir.
- Yapılan testler sonucunda EPDM kauçuğunun kalıcı deformasyon değeri %13,68 olarak tespit edilmiştir. İlave edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının kalıcı deformasyonu arttırdığı gözlemlenmiş ve 5 phr, 11 phr ve 22 phr katkı oranları için kalıcı deformasyon değerleri %16,43, %34,19 ve %47,25 olarak elde edilmiştir.
- Mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkı oranının artması EPDM kauçuğun yırtılma dayanımını (N/mm) bir miktar düşürmüştür. Yırtılma dayanımlarındaki düşüş 5 phr, 11 phr ve 22 phr oranlarında katkı içeren EPDM kauçuk numuneleri için sırasıyla %6,4, %9,0 ve %9,97 olarak tespit edilmiştir.
- Tüm katkı oranlarındaki aşınma miktarı EPDM kauçuğuna kıyasla artmıştır. Aşınma miktarları artış 5 phr, 11 phr ve 22 phr katkılı numunelerde sırasıyla %24,1, %20,1, ve %13,4 olarak hesaplanmıştır.
- EPDM kauçuklarına eklenen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının yanma hızını (mm/dk) arttırarak yanmazlık performansını olumsuz etkilediği ancak yüksek oranda artan katkı miktarının yanma hızında bir miktar düşüşe sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir.

- Yapılan testler sonucunda EPDM kauçuğuna ilave edilen mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkısının elektriksel iletkenliği düşürdüğü yani elektriksel yalıtkanlığı arttırdığı gözlemlenmiştir. EPDM kauçuğunun elektriksel iletkenlik değeri 0,092 mA olup, 5, 11 ve 22 phr katkılı EPDM kauçuğu numuneleri için azalış miktarı sırasıyla, %2,8, %66,3 ve %73,9 olarak hesaplanmıştır.

Bu verilen ışığında, mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkı oranı artırılarak reolojik, termal ve mekanik özellikler incelenebileceği, farklı sektörlere ait ihtiyaçlar için optimum bir katkı miktarının araştırılabileceği ve özellikle karbon siyahlarının yerine farklı renklerdeki kauçuk ürünler için ikame oluşturup oluşturamayacağının da araştırılabileceği düşünölmektedir. Mezo gözenekli SiO<sub>2</sub> katkılı EPDM kauçukların elektriksel özelliklerinin daha derinlemesine incelenerek yüksek yalıtkanlık gerektiren uygulamalarda kullanılıp kullanılamayacağının araştırılabileceği düşünölmektedir.

## KAYNAKÇA

- Acharya, H., & Srivastava, K. S. (2017). Mechanical, Thermo-Mechanical, Thermal, and Swelling Properties of EPDM-Organically Modified Mesoporous Silica Nanocomposites. *Polymer Composites*, 38.
- Alber A., Nasrat L., Ismail H, Hassan M. (2022). The Electrical and Mechanical Properties of EPDM-SiR Composites Loaded with Micro Silica. *South Asian Research Journal of Engineering and Technology*, 4(5), 120-127.
- Ali M, Choudhry M.A. (2015). Preparation and characterization of EPDM-silica nano/micro composites for high voltage insulation applications. *Materials Science-Poland*, 33(1), 213-219.
- Altundal, G., Görmüşer, T., Kuru, M., Çetin, E., & Uygur, İ. (2022). S-SBR (Solution Stiren Bütadien Kauçuk) Bazlı Kauçuk Karışımlarına Farklı Karbon Siyahlarının Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(4), 1865-1872.
- ASTM International. (2018). Standard Test Method for Determination of Percent Devulcanization of Crumb Rubber Based on Crosslink Density. (ASTM D6814).
- ASTM International. (2012). Standard Test Method for Rubber Property–Vulcanization Using Rotorless Cure Meters. (ASTM D5289).
- ASTM International. (2016). Standard test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomers–tension. (ASTM D412)
- ASTM International. (2021). Standard Practice for Rubber and Rubber Latices—Nomenclature (ASTM D1418).
- ASTM International. (2021). Standard Terminology Relating to Rubber (ASTM D1566).
- Avcı, A. H. (2019). Kısa Elyaf Takviyeli EPDM Kompozitleri - Reolojik Ve Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli*.
- Basfar, A. A., Abdel-Aziz, M. M., & Mofti, S. (2002). Influence of different curing systems on physico-mechanical properties and stability of SBR and NR rubbers. *Radiation Physics and Chemistry*, 63, 81-87.

- Başdemir, D. Y. (2022). Karbon Siyahı Tipinin Ve Vulkanizasyon Sisteminin Yeni Nesil Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) Elastomerlerinin Statik Ve Dinamik Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Hacettepe Üniversitesi, Ankara*.
- Ciullo, A. P., & Hewitt, N. (1999). *The Rubber Formulary*. Noyes Publication, New York.
- Coran, A. Y. (2013). Vulcanization. (E. J. Mark, B. Erman & C. M. Roland Editörler) Science and Technology of Rubber. Academic Press. 321-366.
- Cömez, E. E., & Öztürk, S. (2023). Farklı Akseleratör Grupları için EPDM Karışımlarının Reolojik, Mekanik ve Isıl Yaşlandırma Değerlerinin İncelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 15(2), 654-664.
- Çiftçi, S., Köprü, İ., Yetgin, H. S. (2023). Etiliden Norboren (ENB) Oranın Etilen-Propilen-Dien-Monomer (EPDM) Kauçuğun Mekanik, Reolojik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *Alfa Mühendislik ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 1(1). 10-16.
- Dubey R.S., Rajesh B. D. R., & More A. M. (2015). Synthesis and characterization of SiO<sub>2</sub> nanoparticles via sol-gel method for industrial applications. *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 3575-3579.
- Durmuş, A., Ülkü, S., Güden, M., & Otnar, F. Ö. (2005). Kauçuk/metal yapışma mukavemetinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(1).
- Edge, M., Allen N. S., Sanchez G. R., Liauw, C. M., Read, J. S., & Whitehouse, B. R. (1999). The influence of cure and carbon black on the high temperature oxidation of natural rubber I. Correlation of physico-chemical changes, *Polymer Degradation and Stability*, 64(2), 197-205.
- El Mogy, A. S., Darwish, A. N., & Awad, A. (2019). Comparative Study of the Cure Characteristics and Mechanical Properties of Natural Rubber Filled With Different Calcium Carbonate Resources. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 26(3), 309-315. <https://doi.org/10.1002/vnl.21745>

- Erbek Cömez, E. (2023). Grafit İle Güçlendirilmiş Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) Karışımlarının Servis Ömrünün Belirlenmesi. *Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa*.
- Erbek Cömez, E. Hoşgün H. L., & Öztürk, S. (2024). Grafit Tozunun Kauçuk Karışımların Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. *ESOGÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 1177-1182.
- 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. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*.
- Ismail, H., Pasbakhsh, P., Fauzi, A. M. N., & Bakar, A. A. (2008). Morphological, thermal and tensile properties of halloysite nanotubes filled ethylene propylene diene monomer (EPDM) nanocomposites. *Polymer Testing*, 27(7), 841-850.
- Ismail, H., Shaari, M. S. (2010). Curing characteristics, tensile properties and morphology of palm ash/halloysite nanotubes/ethylene-propylene-diene monomer (EPDM) hybrid composites. *Polymer Testing*, 29(7), 872-878.
- Kılıç B. (2018). Çaprazbağ yoğunluğu hesabında kullanılan tekniklerin doğal kauçuk (NR) ve etilen propilen dien kauçuk (EPDM) için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli*.
- Khan, H., Amin, M., Ali, M., Iqbal, M., Yasin, M. (2017). Effect of micro/nano-SiO<sub>2</sub> on mechanical, thermal, and electrical properties of silicone rubber, epoxy, and EPDM composites for outdoor electrical insulations. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 25(2). <http://dx.doi.org/10.3906/elk-1603-20>
- Köleli, D. (2016). Bizmutoksit Katkısının EPDM Kauçuğunun Mekanik ve Isıl Özellikleri Üzerine Etkisi. *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin*.
- Mogy, A. E. S., Darwish, A. N., Awad, A. (2020). Comparative Study of the Cure Characteristics and Mechanical Properties of Natural Rubber Filled With Different Calcium Carbonate Resources. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 26(3), 309-315.

- Mohamad, N., Karim, I. K., Mazliah, M., Ab Maulod, E. H., Abd Razak, J., Azam, A. M., Kasim, M. S., & Izamshah, R. (2018). Fatigue and Mechanical Properties of Graphene Nanoplatelets Reinforced Nr/Epdm Nanocomposites. *Journal of Physics: Conference Series*, 1082.
- Mokhothu H. T., Luyt A. S., Morselli D., Bondioli F., Messori M. (2014). Influence of In Situ-Generated Silica Nanoparticles on EPDM Morphology, Thermal, Thermomechanical, and Mechanical Properties. *Polymer Composites*, 36(5), 825-833.
- Nair, M. V., Kumar, A. (2021). Effect of hybrid fillers on curing characteristics and tensile properties of natural rubber/ethylene propylene diene monomer rubber blends. INDIA.
- Pal, K. P., & Des, K. (1983). Studies of polymer-filler interaction, network structure, physical properties, and fracture of silica and clay filled EPDM rubber in the presence of a silan coupling agent. *Rubber Techonology Center, Indian Institute of Techonology, India*.
- Payne, A. R. (1962). The dynamic properties of carbon black loaded natural rubber vulcanizates. Part II. *Journal of Applied Polymer Science*, 6(21), 368-372.
- Ragupathy, K., Prabaharan, G., Pragadish, N., & Vishvanathperumal, S. (2023). Effect of Silica Nanoparticles and Modified Silica Nanoparticles on the Mechanical and Swelling Properties of EPDM/SBR Blend Nanocomposites. *Silicon*, 15, 6033-6046.
- Saraç, S. (2013). İnorganik Katkılı Kauçuk Malzemenin Özelliklerinin İncelenmesi *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Savran, H. Ö. (2001). *Elastomer Teknolojisi I*. Kauçuk Derneği Yayınları, İstanbul.
- Seçil Kauçuk San. ve Tic. A.Ş. (2005-2006). Eğitim Notları, *Mersin*.
- Simpsons B. R. (2002). *Rubber Basics* (1.Baskı). Smithers Rapra Publishing.
- Sin, K. X., Ahmad, H., Yap, H., & Ismail, A. H. (2023). The study of thermal & mechanical properties of EPDM compounded with TiO<sub>2</sub>. *Journal of Physics: Conference Series*, 2523(2023).

- Surya, I., Hayeemasae, N., Ginting, M. (2017). Cure characteristics, crosslink density and degree of filler dispersion of kaolin-filled natural rubber compounds in the presence of alkanolamide. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 343.
- Suzuki, N., Ito, N., & Yatsuyanagi F. (2005). Effects of rubber/filler interactions on deformation behavior of silica filled SBR systems. *Polymer*, 46, 193-201.
- Tepebağ, B. (2007). Akselatörlerin Vulkanizasyon Üzerine Etkisi. *İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Malatya*.
- Topçu, M. (2021). Devulkanize Kauçuğun Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) ve Doğal Kauçuk (NR) Kauçuk Karışımının Reolojik Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa*.
- Ulusal, F., Bilici, Z., Ozay, Y., Özdemir, N., & Dizge, N. (2023). Synthesis of mesoporous magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles with different pore sizes and investigation of dye adsorption capacities. *Particule Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/02726351.2023.2291770>
- Ulusal F., & Özdemir N. (2023). İlaç Taşımaya Yönelik Yeni Mezogözenekli Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanotüplerin Sentezi ve Karakterizasyonu. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 1353-1368.
- Vahapoğlu, V. (2006). Kauçuk Türü Malzemeler II: Sentetik Kauçuklar. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(1).
- Xu, Y., Ai, W., Zuo, J., Yang, W., Wei, C., & Xu, S. (2022). Mesoporous Spherical Silica Filler Prepared from Coal Gasification Fine Slag for Styrene Butadiene Rubber Reinforcement and Promoting Vulcanization. *Polymers (Basel)*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/polym14204427>
- Yasin, T., Ahmed, S., Yoshii, F., & Makuuchi, K. (2002). Radiation vulcanization of acrylonitrile-butadiene rubber with polyfunctional monomers. *Reactive & Functional Polymers*, 53, 173-181.

Yasin, T., Ahmed, S., Yoshii, F., Makuuchi, K. (2003). Effect of Acc-Rlonitrile Content on Physical Properties of Electon Beam Irriated Acrylonitrile-Butadiene Rubber. *Reactive and Functional Polymers*, 57(2), 113-118.



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : Mehmet Can BİNGÖL

### Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2012
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Tarsus Üniversitesi	2024

**Yüksek Lisans Tez Başlığı:** Mezo Gözenekli Silisyum Dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) Katkılı Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) Kauçukların Özelliklerinin İncelenmesi.

**Danışman:** Doç. Dr. Salih Hakan YETGİN

### Görevler

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Üretim Müdürü	Elitaş Grup Plastik A.Ş.	2024 –
Üretim Müdürü	5 Ocak Gıda İmalat LTD. ŞTİ.	2023 - 2024
Üretim Direktörü	Netral Group	2020 - 2023
Üretim Müdürü	Gramis Plastik A.Ş. - (Netral Group)	2019 - 2020
Jeneratör Üretim Sorumlusu	Netral Elektrik LTD. ŞTİ. - (Netral Group)	2018 - 2019
Satınalma Uzmanı	Netral Elektrik LTD. ŞTİ. - (Netral Group)	2017 - 2018
İmalat ve Tasarım Mühendisi	Akdeniz İmalat ve Mühendislik	2012 - 2017