



# Bozok Journal of Engineering and Architecture

e-ISSN: 3023-4298

Araştırma Makalesi/Research Article

## Genleştirilmiş perlit katkılı EPDM kompozitlerin reolojik, termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi

Ali ÖTELEŞ<sup>1,\*</sup>, İlker KÖPRÜ<sup>2</sup>, Salih Hakan YETGİN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Seçil Kauçuk San. ve Tic. Ltd. Şti. Tarsus, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup> Seçil Kauçuk San. ve Tic. Ltd. Şti. Tarsus, Mersin, Türkiye

<sup>3</sup> Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Mersin, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

#### Makale Tarihleri:

Geliş tarihi  
27.09.2024  
Kabul tarihi  
01.11.2024  
Yayın tarihi  
31.12.2024

#### Anahtar Kelimeler:

EPDM  
Genleştirilmiş perlit  
Alev direnci  
Reoloji  
Mekanik özellikler

### ÖZET

Bu çalışmada, genişletilmiş perlit (GP) ilavesinin etilen-propilen-dien-kauçuk (EPDM) kompozitlerin reolojik, mekanik ve yanıcılık özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 11.5, 24.5 ve 55 phr oranında inorganik dolgu içeren EPDM kompozitler üretilmiştir. Laboratuvar tipi banbury kullanılarak hamur haline getirilen EPDM kompozitler preste vulkanize edilmiş ve test plakaları üretilmiştir. EPDM/GP kompozitlerin reolojik özellikleri, pres öncesi reometre (MDR) testi kullanılarak araştırılmıştır. Genleştirilmiş perlit eklenmiş EPDM kompozitlerin alev geciktirici özellikleri UL-94-HB testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, genişletilmiş perlitin artmasıyla minimum (ML) ve maksimum tork (MH) değerleri artmıştır. 55phr genişletilmiş perlitin eklenmesiyle EPDM'nin sertlik değeri 58'den 67 Shore A'ya çıkmıştır. Çekme dayanımı ve kopma uzaması azalırken, kalıcı deformasyon ve aşınma artmıştır. EPDM kauçuğa eklenen farklı miktarlarda genişletilmiş perlit yanma hızını azaltırken, en düşük yanma hızı EPDM//55GP kompozitinde elde edilmiştir. Analizler sonucunda, genişletilmiş perlit dolgu maddesinin EPDM kauçuğun mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ancak alev direncini artırdığı gözlenmiştir.

## Investigation of rheological, thermal and mechanical properties of expanded perlite filled EPDM composites

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received  
27.09.2024  
Accepted  
01.11.2024  
Published  
31.12.2024

#### Keywords:

EPDM  
Expanded perlite  
Flame retardant  
Rheology  
Mechanical properties

### ABSTRACT

In this study, the effect of expanded perlite filler on the rheological, mechanical and flame retardant properties of Ethylene Propylene Diene Rubber (EPDM) composites was examined. EPDM composites containing from 11.5, 24.5 and 55 phr of the inorganic filler were produced. EPDM rubbers were turned into pulp using laboratory type Banbury. Test plates were produced after the press and vulcanization process. The rheological characteristics of EPDM/GP composites were investigated using the pre-press rheometer (MDR) test. The flame-retardant qualities of expanded perlite filled EPDM composites were assessed using the UL-94-HB test. As a result of the study, minimum (ML) and maximum torque (MH) values increased with the increase in expanded perlite. With the addition of expanded perlite at 55phr, the hardness value of EPDM improved from 58 to 67 Shore A. Tensile strength and elongation at break decreased, while permanent deformation and abrasive wear increased. While different amounts of expanded perlite added to EPDM rubber reduced the burning rate, the lowest burning rate was obtained in EPDM//55GP composites. As a result of the analysis, it was observed that the expanded perlite filler did not have a significant effect on the mechanical properties but increased the flame resistance of EPDM rubber.

ORCID ID: Yazar1: 0009-0002-2140-0292; Yazar2: 0000-0002-0038-0635; Yazar3: 0000-0002-6068-9204

\*Sorumlu yazar(lar)/Corresponding author(s): Seçil Kauçuk San. ve Tic. Ltd. Şti. Tarsus, Mersin, Türkiye  
E-mail: alio@seciltr.com

Bu makaleye atıfta bulunmak için/To cite this article: Öteleş A, Köprü İ, Yetgin S.H., "Genleştirilmiş perlit katkılı EPDM kompozitlerin reolojik, termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Bozok Journal of Engineering and Architecture, vol. 3, no. 2, pp. 60-67, 2024, doi: 10.70700/bjea.1557252.

## 1. GİRİŞ

Malzeme türü ve çapraz bağ yoğunluğuna bağlı olarak özellikleri ayarlanabilen kauçuk esaslı malzemeler, elastikiyet, hafiflik, iyi tokluk ve termal direnç gibi özellikleri nedeniyle uçak, denizcilik ve inşaat endüstrileri gibi birçok sektörde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Kauçuk ürünlerin performansının artırılması için farklı özelliklere sahip dolgu malzemelerinin bileşime dahil edilmesi yıllar boyunca araştırılmıştır. Kauçuk esaslı ürünlerin işlenmesi veya üretilmesi tek başına maliyetli ve zorlu olabilmektedir. Özellikle maliyet tasarrufu ve kauçuk esaslı ürünlerin özelliklerinin iyileştirilmesi için en yaygın yöntemlerden birisi çeşitli dolgu malzemelerinin kauçuk ürünlere ilave edilmesidir. Farklı tür ve özelliklere sahip dolgu malzemesinin seçimi ve optimize edilmesi araştırmacıların her zaman ilgi odağında olmuştur [1-3]. Kauçuk sektöründe karbon siyahı, kauçuğun mekanik özelliklerini, aşınma direncini, yaşlanma direncini ve iletkenlik özelliklerini geliştirmekle birlikte kauçuğun maliyetini ve ağırlığını azalttığı için en çok tercih edilen dolgu malzemesidir. Karbon siyahına alternatif olarak silika, kaolin, kalsiyum karbonat gibi inorganik mineral dolgu malzemeleri de kauçuk malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için tercih edilmektedir. Karbon ayak izine katkıda bulunan ağır hidrokarbonların kısmen yakılmasından dolayı karbon siyahı kullanımı yerine silika bileşikleri yeşil kauçuk ürünler elde etmek için tercih edilmektedir. Ancak, silikanın da üretiminin yüksek maliyetli olması ve tehlikeli atık su içermesi dezavantajları arasında yer almaktadır [3]. Sonuç olarak, kauçuk endüstrisi için alternatif ve sürdürülebilir dolgu maddeleri bulma konusunda devam eden bir ilgi ve araştırma söz konusudur.

Perlit minerali, kauçuk kompozitlerin üretiminde umut vadeden bir dolgu maddesi olma potansiyeline sahiptir. Perlit, volkanik patlamaların soğumasıyla oluşan, renkleri griden siyaha kadar değişen magmatik bir kayadır [4-7]. Perlit minerali, yapısında  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  bileşimlerinin yanında kökenine bağlı olarak az miktarda  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bileşimlerini de içermektedir [5, 7]. Perlit, 800 ile 1100 °C [6] arasındaki sıcaklıklarda termal işleme tabi tutulduğunda, su molekülleri buharlaşmaktadır. Sonuç olarak, oluşan buhar perlit parçacıklarını genişleterek hacmini orijinal boyutunun yaklaşık 20 katına kadar artırmaktadır. Genleştirilmiş perlit partikülleri kimyasal olarak inerttir, düşük ısı iletkenliğine sahiptir ve çeşitli boyutlarda gözeneklere sahip küresel bir cam duvara sahiptir [8]. Geniş özgül yüzey alanı ve düşük yoğunluğu nedeniyle genleştirilmiş perlit, çoğunlukla yalıtım malzemesi olarak, alçıpan veya hafif beton gibi inşaatta kullanılan elemanların üretiminde katkı maddesi olarak, tarım ve bahçecilikte toprak iyileştirici olarak ve düşük yoğunluklu polimer kompozitler için alev geciktirici ve dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır [9-12].

EPDM kauçuğu ve hava şartlarına karşı dirençli, yağlara ve hidrokarbon esaslı solventlere dayanıklı, yüksek dolgu ve yağ alabilme özelliği ile statik ve dinamik şartlarda özelliklerini koruması nedeniyle otomotiv sektörü başta olmak üzere yapı sektörü, beyaz eşya sektörü ve enerji sektörlerinde geniş kullanım alanına sahiptir. EPDM kauçuğu yüksek sıcaklıklarda dayanım özelliklerini muhafaza etmesi nedeniyle sızdırmazlık istenilen yerlerde de kullanım alanına sahiptir. Ancak EPDM kauçuğunu bu avantajlarının yanında en önemli dezavantajı son derece yanıcı bir kauçuk olmasıdır [13-14]. Literatürde perlit ve genleştirilmiş perlit katkılı polimer ve kauçukların yanmazlık direncini artırmak için çalışmalar bulunmaktadır. Çavdaroglu ve arkadaşları [3] genleştirilmiş perlitin (e-perlit) EPDM kauçuk kompozitler için sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir dolgu maddesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, e-perlitin yaşlanma direncini ve termal kararlılığı önemli ölçüde iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Pinto ve arkadaşları [15], havacılık yalıtım malzemelerinde termal bariyer olarak perlit ilaveli polibütadien kompozitlerin özelliklerini incelemişlerdir. Edres ve arkadaşları [16] genleştirilmiş perlit (EP) ve endüstriyel polimer bütadien kauçuğu (BR) kullanılarak ürettikleri kompozitlerin yapı ve morfoloji özelliklerini incelemişlerdir. Atagür ve arkadaşları [17] perlit dolgulu yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kompozitlerin viskoelastik, eğilme ve kristalografik özellikleri ile termal kararlılığı ve termal iletkenliği özelliklerini incelemişlerdir. Oliveira ve arkadaşları [10] polistren (PS)/Perlit bazlı kompozitleri, çift vidalı bir ekstrüderde eriyik karıştırma yoluyla %10 ve %20 ağırlık oranında perlit ilave ederek hazırlamışlardır. Kompozitlerin morfolojik, termal, mekanik ve reolojik özelliklerine perlit ilavesinin etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise EPDM kauçuğunun yanma direncini artırmak için farklı oranlarda (11.5, 24.5 ve 55 phr) genleştirilmiş perlit ilave edilmiş EPDM kompozitlerin reolojik, mekanik ve yanmazlık özelliklerine genleştirilmiş perlitin etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla EPDM/genleştirilmiş perlit kompozitlere reoloji ve viskozite testleri yanında çekme testi, kalıcı deformasyon testi, aşınma testi ve elektrik direnci testleri yapılmıştır. EPDM/genleştirilmiş perlit kompozitlerin yanma hızı oranı ise UL-94 yatay yanma testi ile belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOT

### 2.1. Kullanılan malzemeler

Bu çalışmada, matris malzemesi olarak ticari bir EPDM kauçuğu, vulkanizasyon işlemi için ise yine ticari olarak piyasada kullanılan kükürt kullanılmıştır. Katkı malzemesi olarak ise Genper Genleştirilmiş Perlit San. Tic. Ltd. Şti. (Kütahya, Türkiye) firmasından Perfil P2 (PA150-9) kodlu 90-110 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip beyaz renkli genleştirilmiş perlit kullanılmıştır. Üretici firma verilerine

göre geliştirilmiş perlite ait kimyasal bileşim Tablo 1’de verilmiştir. EPDM ve EPDM/GP kompozitlerin üretiminde kullanılan oranlar ise phr cinsinden Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Üretici firma verilerine göre geliştirilmiş perlit kimyasal bileşimi

Bileşen	Oran,%
SiO <sub>2</sub>	71-74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12-14
Na <sub>2</sub> O	3-4
MgO	0.1-0.2
CaO	0.8-1
TiO <sub>2</sub>	0.09-0.12
K <sub>2</sub> O	5-6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-1

**Tablo 2.** EPDM/GP kompozitlerin formülasyonu

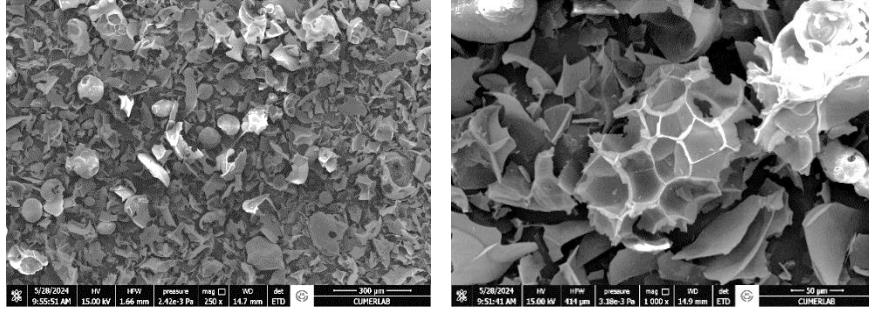
	EPDM	11.5GP	24.5GP	55GP
EPDM	100	100	100	100
Karbon siyahı	50	50	50	50
Beyaz dolgu	20	20	20	20
Yağ	40	40	40	40
Çinko oksit	4	4	4	4
Stearik asit	2	2	2	2
Sülfür	1	1	1	1
MBT	0.5	0.5	0.5	0.5
TMTD	1	1	1	1
Genleştirilmiş Perlit (GP)	0	11.5	24.5	55

## 2.2. Üretim aşamaları ve karakterizasyon

Genleştirilmiş perlit ilaveli EDPM kompozitleri 1.5 lt’lik laboratuvar tipi mini banbury ile hamur haline getirilmiştir. Üretilen numunelerin rheometre testleri, Seçil Kauçuk A.Ş. firmasında bulunan Alpha MDR 2000 marka rheometre cihazında ASTM D 5289 standardına uygun olarak yapılmıştır. Test 200 °C ve 5 dakikada yapılmıştır. Hamur ürünlerden preste 180 °C ve 20 dakika boyunca vulkanize edilerek test plakaları elde edilmiştir. Çekme testleri, ASTM D638 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Testler, Zwick marka Z020 model bir çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Çekme testlerinde en az 5 test yapılmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Çekme testleri 200 mm/dakika çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Kalıcı deformasyon testleri 100 °C’de 22 saat ve %25 oranında sıkıştırma ile DIN 53517 standardına göre yapılmıştır. Sertlik testleri DIN 53505 standardına uygun olarak yapılmış sertlikler Shore A cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde her bir test numunesi üzerinden 10’ar adet sertlik ölçümü yapılmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Yatay yanmazlık testleri, UL94 standardına göre Fire Testing Technology-FTT-01 test cihazında gerçekleştirilmiştir. İletkenlik testi, TS EN 60335-1 (DIN ISO 4649:2014-03) standardına uygun olarak 2000 mV ve 60 s’de yapılmıştır. Genleştirilmiş perlitin morfolojisi JEOL JSM 6060 (Tekser Endüstriyel Ekipmanlar A.Ş., Türkiye) taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir.

## 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Şekil 1’de çeşitli büyütme oranlarında (x250 ve x1000) geliştirilmiş perlitin yapısını gösteren SEM resimleri verilmiştir. Görüldüğü gibi geliştirilmiş perlitin düzensiz kenar yapısı ile 3 boyutlu yapılar sergileyen pul şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, geliştirilmiş perlit parçacıklarının yüzeylerinde açık gözeneklerinde olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemler, Çavdaroglu [3] ile Szadkowski [11] ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda SEM görüntüleri ile uyumaktadır.

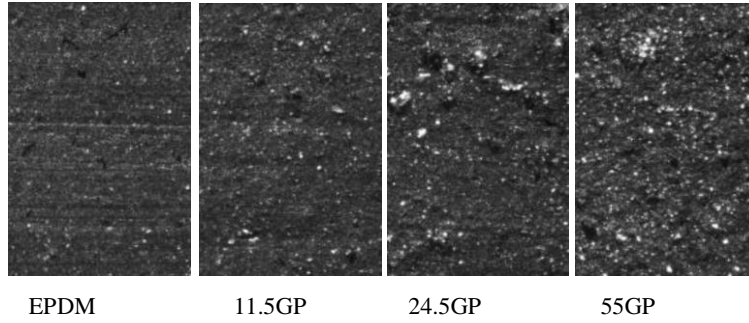


Şekil 1. Çalışmada kullanılan genişletilmiş perlitin SEM resimleri

Şekil 2 ve Tablo 3'te ise EPDM kauçuğu ile farklı oranlarda GP ilaveli EPDM kompozitlerin dispersiyon testi sonucu elde edilen dispersiyon görüntüleri ve sonuçları verilmiştir. Tablo 3'te gösterildiği gibi EPDM ve EPDM/GP kompozitlerin yapısında bulunan dolgu malzemelerinin %85-89 oranlarında yapıda dağıldığı belirlenmiştir. Dağılan dolgu malzemelerinin ortalama boyutunun 3.34 ile 3.93  $\mu\text{m}$  arasında, beyaz alanın ise %10-14 arasında olduğu belirlenmiştir. Beyaz alan, dağılım oranı ve ortalama dolgu boyutu değerlendirildiğinde en iyi sonuç 11.5GP ilaveli EPDM kompozitinde elde edilmiştir.

Tablo 3. Dispersiyon test sonuçları

	X	Y	Z	Beyaz alan, %	Dağılım oranı, %	Ortalama dolgu boyutu, [ $\mu\text{m}$ ]
EPDM	1.09	9.61	68.29	11.10	88.90	3.34
11.5GP	1.12	9.01	69.03	10.84	89.16	3.53
24.5GP	1.10	8.36	66.98	11.56	88.44	3.75
55GP	1.00	7.00	57.97	14.71	85.29	3.93



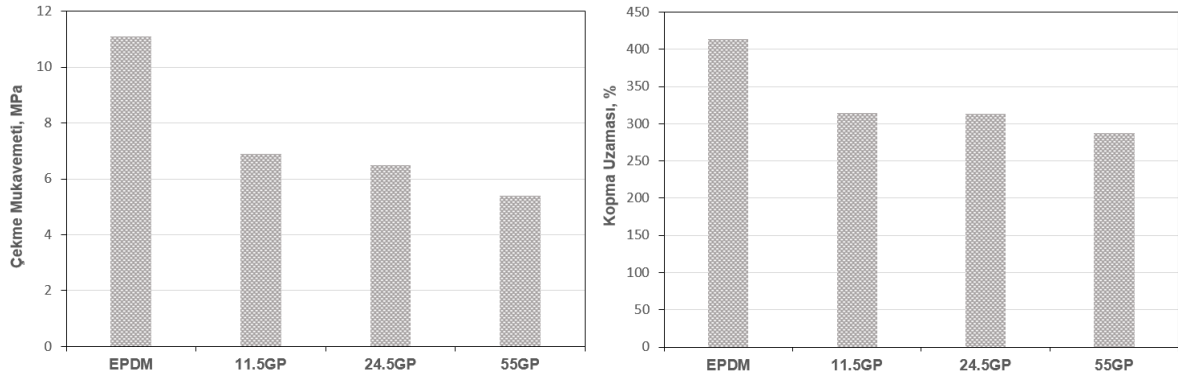
Şekil 2. Dispersiyon görüntüleri

EPDM kauçuğuna ilave edilen GP'nin minimum tork (ML), maksimum tork (MH), tork artış oranı (MH-ML), hamur pişme zamanı (scorch time,  $t_{s2}$ ) ve hamurun maksimum pişmeye ulaştığı zamanı ( $t_{90}$ ) gösteren reoloji sonuçları ile yoğunluk ve sertlik sonuçlarına etkisi Tablo 4'te verilmiştir. EPDM kauçuğuna ilave edilen GP miktarına bağlı olarak EPDM kompozitlerin reolojik özelliklerinin etkilendiği gözlenmiştir. Farklı oranlarda ilave edilen GP, ML değerini artırmıştır. Dolgu formunda deforme olmayan katı fazın eklenmesi MH değerini de önemli oranda artırmıştır. 55GP kompoziti, en yüksek rijitliğe sahip olması nedeniyle ML ve MH değerlerinde en yüksek artışı göstermiştir. GP ilaveli EPDM kompozitler için reometre testleri sırasında tork artış oranı ( $\Delta M = MH - ML$ , kürlenme işlemi sırasında elde edilen vulkanizasyon seviyesini yansıtır [3]), GP miktarının artması ile artmıştır. En yüksek tork artış oranı 55GP ilaveli EPDM kompozitinde elde edilmiştir. Bu etki genellikle sert dolgu parçacıkları içeren kauçuk bileşiklerinde gözlenmektedir [3]. GP ilaveli EPDM kompozitlerin reometrik tork kazanımındaki artış, vulkanizatların çapraz bağlama yoğunluğunun arttığını gösterebilir [11-12]. Elastomerin içerisine sert bir katı fazın ilave edilmesiyle oluşan hidrodinamik etki de önemli bir etkendir; bu da malzemelerin güçlendirilmesine neden olabilmektedir [11-12].  $t_{s2}$  zamanının 11.5GP değerine kadar arttığı daha sonraki GP ilavelerinde ise azaldığı,  $t_{90}$  değerlerinin ise GP ilavesi ile birlikte önemli oranda azaldığı gözlenmiştir. EPDM kauçuğunun  $1.08 \text{ g/cm}^3$  olan yoğunluğu GP ilavesi ile  $1.18 \text{ g/cm}^3$  elde edilmiştir. EPDM kauçuğun 58 Shore A olan sertlik değeri 11.5GP kompozitinde 60 Shore A, 24.5GP kompozitinde 63 Shore A ve 55GP kompozitinde 67 Shore A elde edilmiştir. Kürlenme oranı endeksi (CRI), kürlenme oranını değerlendirmek için bir ölçüt sağlamaktadır. Daha yüksek CRI değerleri daha hızlı oranları gösterirken, daha düşük CRI değerleri daha yavaş oranları göstermektedir. Tablo 4'te verilen veriler EPDM kompozitlerdeki GP oranının daha yüksek olmasının daha yüksek CRI değerlerine yol açtığını göstermektedir. CRI'da gözlemlenen artış, GP kürlenme sürecini hızlandırabileceğini göstermektedir. Bu hızlanmanın, GP içerisindeki metal oksitler ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bunlar, kauçuk bileşiğindeki çapraz bağlama reaksiyonunu teşvik ederek ve daha hızlı kürlenmeye yol açarak kürlenme ajanları veya katalizörler olarak işlev görebilir [3].

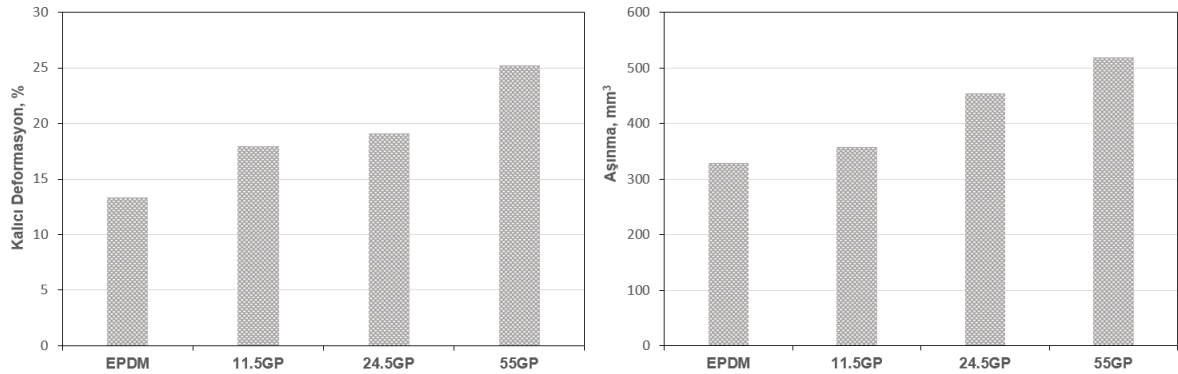
**Tablo 4.** Reolojik ve fiziksel test sonuçları

	EPDM	11.5GP	24.5GP	55GP
ML (dNm)	1.0	1.1	1.22	1.38
MH (dNm)	12.27	12.79	13.28	13.68
$\Delta M = MH - ML$	11.27	11.69	12.06	12.3
ts <sub>2</sub> (min)	0.39	0.41	0.39	0.38
t <sub>90</sub> (min)	1.27	1.25	1.20	1.19
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.08	1.11	1.13	1.18
Sertlik (Shore A)	58	60	63	67
CRI	113.63	119.04	123.45	123.45
Mooney viskozite (MU)	65.3	67.9	70.5	74.8

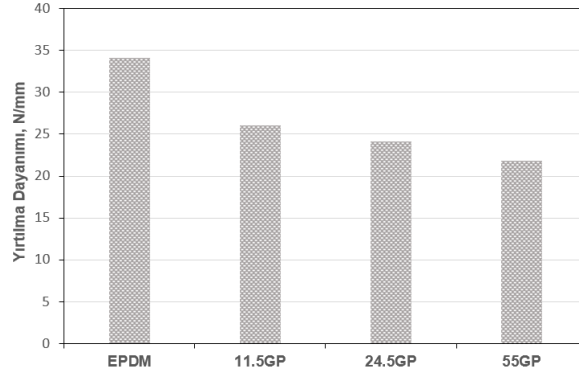
Şekil 3 a ve b'de GP ilaveli EPDM kompozitlerin çekme mukavemeti ve kopma uzaması grafikleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi EPDM kauçuğuna ilave edilen GP ve artan GP oranı ile çekme mukavemeti ve kopma uzaması azalmıştır. Literatüre göre [18], bir polimer matrise inorganik dolgu maddesi eklenmesinin kompozit modülünde bir artışa neden olması beklenmektedir. Bunun nedeni, inorganik dolgu maddesinin polimerden önemli ölçüde daha yüksek rijitliğe sahip olmasıdır. Ayrıca, literatür [4, 18], dolgu maddesi ile polimerik matris arasındaki zayıf arayüz bağının, kompozitlerin çekme dayanımının azalmasını neden olduğunu belirtmektedir. EPDM ve EPDM/GP kompozitlerin kopma uzaması sonuçları değerlendirildiğinde, EPDM/GP kompozitlerinde sünekten gevrek davranışa geçiş gözlenmiştir. İlave edilen GP, matriste gerilim yığılmaları oluşturup matrisin erken kırılmasına ve kopma uzamasının azalmasına sebep olmuştur. Maslowski ve arkadaşları [12] ise kopma uzamasındaki azalmayı artan çapraz bağ yoğunluğuna bağlamışlardır. EPDM kauçuğuna ilave edilen yüksek miktardaki GP, kompozit içerisinde daha büyük kümeler halinde toplanmaya yol açmış ve gerilim konsantrasyon bölgeleri malzemenin erken tahrip olmasına neden olmuştur. EPDM kauçuğuna göre 11.5GP, 24.5GP ve 55GP kompozitlerin kopma uzaması değerlerindeki azalma ise sırasıyla %24.15, %24.39 ve %30.67 oranlarında elde edilmiştir.

**Şekil 3.** a) Çekme mukavemeti, b) kopma uzaması sonuçları

Şekil 4 a, b ve c'de ise sırasıyla farklı oranlarda GP ilave edilerek üretilen EPDM kompozitlere ait kalıcı deformasyon, abrasif aşınma ve yırtılma dayanımlarındaki değişimler verilmiştir. Kalıcı deformasyon sonuçları kauçuk ürünlerin sızdırmazlık özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. GP ilavesi ile EPDM kompozitlerin kalıcı deformasyon değerleri dolayısıyla sızdırmazlık özellikleri gelişmiştir. EPDM kauçuğu ile karşılaştırıldığında 55GP kompozitin kalıcı deformasyon oranı %88.7 oranında artmıştır. Daha düşük aşınma kaybı daha iyi aşınma direncini göstermektedir. Aşınma direncini belirlemek için kauçuk bileşiği örneğinin aşınma testinden sonraki yoğunluk değeri ve ağırlık kaybı hesaplanmıştır.



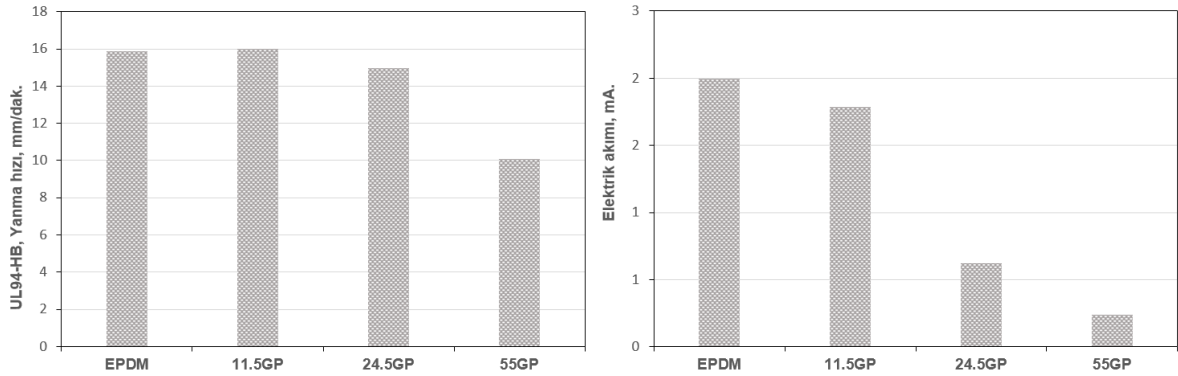




Şekil 4. a) Kalıcı deformasyon, b) abrasif aşınma, c) yırtılma dayanımı sonuçları

Abrasif aşınma deneyi sonuçları değerlendirildiğinde (Şekil 5-b) ise en düşük aşınma miktarı EPDM kauçuğunda elde edilmiştir. EPDM/GP kompozitlerin aşınma değerleri önemli oranda artmış ve daha yüksek hacim kaybına neden olmuştur. Bu artış, 11.5GP, 24.5GP ve 55GP kompozitleri için sırasıyla %8.48, %37.5 ve %57.57 oranlarında elde edilmiştir. Kauçuğun yırtılma dayanımı veya yırtılma direnci, bir test numunesini gerilme yönüne dik bir yönde yırtmak için gereken maksimum kuvvet olarak tanımlanmaktadır. EPDM kauçuğuna ilave edilen GP ve artan GP miktarı ile yırtılma dayanımının azaldığı gözlenmiştir. EPDM kauçuğu ile karşılaştırıldığında 11.5GP, 24.5GP ve 55GP kompozitlerin yırtılma dayanımları %23.7, %29.4 ve %35.9 oranlarında azalmıştır.

Şekil 5 a ve b'de EPDM ve EPDM/GP kompozitlerin elektrik akımı ve UL-94-HB yanma hızı sonuçları verilmiştir. Şekil 5 a'daki elektrik akımı değerleri incelendiğinde EPDM kauçuğunun 1.999 mA olan elektrik akımı değeri GP ilavesi ile 0.024-1.789 mA aralığına kadar azalmıştır. EPDM kauçuğuna ilave edilen 11.5 phr oranındaki GP elektrik iletkenliğini %10.5 oranında, 24.5 phr oranında ilave edilen GP elektrik iletkenliğini %68.7 oranında ve 55 phr oranında ilave edilen GP elektrik iletkenliğini %87.9 oranında azaltmıştır. Şekil 5 b'de ise UL-94-HB yanmazlık testi sonucu elde edilen yanma hızı değerleri verilmiştir. EPDM kauçuğuna ilave edilen farklı oranlarda GP yanma hızını azaltırken en düşük yanma hızı EPDM/55GP kompozitinde elde edilmiştir. EPDM kauçuğu ile karşılaştırıldığında ise EPDM/55GP kompozitin yanmazlık direnci %36.4 oranında artmıştır. GP yapısındaki yüksek silis oranı yamıcılık özelliğini azaltırken gözenekli yapı yanıcı gazları tutmada etkili olmaktadır. Bu durum malzemenin yanma direncini artırmaktadır.



Şekil 5. a) Elektrik akımı, b) UL-94-HB yanma hızı sonuçları

#### 4. SONUÇLAR

EPDM ve EPDM/GP kompozitlerin özelliklerinin incelendiği çalışma sonucunda;

GP miktarına bağlı olarak ML ve MH değerleri artmıştır. EPDM/55GP kompozitin sertlik değeri 67 Shore A elde edilmiştir. EPDM kauçuğu ile karşılaştırıldığında, çekme mukavemeti EPDM/55P kompoziti için %51.9 oranında azalmıştır. EPDM kauçuğunun kopma uzaması değerleri GP ilavesi ile azalmıştır. GP miktarına bağlı olarak kalıcı deformasyon ve abrasif aşınma miktarı artmıştır. EPDM kauçuğunun 1.999 mA olan elektrik akımı değeri GP ilavesi ile 0.024-1.789 mA aralığında elde edilmiştir. EPDM kauçuğuna ilave edilen farklı oranlarda GP yanma hızını azaltırken en düşük yanma hızı EPDM/55GP kompozitinde elde edilmiştir. Analizler sonucunda, GP dolgu maddesinin EPDM kauçuğun mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ancak alev direncini %30.4 oranında artırdığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, perlitin EPDM kompozitler için umut vadeden bir yeşil dolgu maddesi olduğunu göstermektedir. Kauçuk sektöründe perlit dolgu maddesinin kullanımı, savunma, inşaat, yalıtım, paketlenme ve otomotiv endüstrilerinde termal kararlılık davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir.

**YAZAR KATKILARI**

Yazar 1: Literatür taraması/makale fikrinin/makale içeriğinin belirlenmesi

Yazar 2: Makale fikrinin oluşturulması/yöntemin planlanması/makalenin içeriğinin belirlenmesi ve makale yazımı/inceleme

Yazar 3: Makalenin içeriğinin belirlenmesi ve makale yazımı/inceleme

**ÇIKAR ÇATIŞMASI**

Bu makalede çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**ETİK**

Bu makalenin yayınlanmasında herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

**KAYNAKLAR**

- [1] J. Y. Cheong, J. Ahn, M. Seo, and Y. S. Nam, "Flame-retardant, flexible vermiculite-polymer hybrid film," RSC Advances, vol. 5, pp. 61768–61774, 2015, <https://doi.org/10.1039/C5RA08382F>
- [2] M. S. Cetin, O. Toprakci, O. S. Taskin, A. Aksu, and H. A. K. Toprakci, "Expanded vermiculite-filled flexible polymer composites," Journal of Elastomers & Plastics, vol. 54, no. 1, pp. 145-168, 2022, <https://doi.org/10.1177/00952443211029038>.
- [3] C. Çavdaroglu, U. Olgun, and E. Altuncu, "Use of expanded perlite as green filler for the preparation of EPDM-perlite rubber composites with improved thermal stability and insulation properties," Polymer Composites, pp. 1-19, 2024, <https://doi.org/10.1002/pc.28665>
- [4] M. Raji, S. Nekhlaoui, I. E. E. A. E. Hassani, E. M. Essassi, H. Essabir, D. Rodrigue, R. Bouhfid, and A. E. K. Qaiss, "Utilization of volcanic amorphous aluminosilicate rocks (perlite) as alternative materials in lightweight composites," Composites Part B, vol. 165, pp. 47–54, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.098>
- [5] M. Irani, M. Amjadi, and M. A. Mousavian, "Comparative study of lead sorption onto natural perlite, dolomite and diatomite," Chem. Eng. J. Vol. 178, pp. 317–323, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.011>
- [6] Q. Jing, L. Fang, H. Liu, and P. Liu, "Preparation of surface-vitrified micron spher using perlite from Xinyang," China. Appl. Clay Sci. Vol. 53, no. 4, pp. 745–748, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.07.005>
- [7] S. Kabra, S. Katara, and A. Rani, "Characterization and Study of Turkish Perlite," Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. Vol. 2, no. 9, pp. 4319–4326, 2013.
- [8] O. Aksoy, E. A. Seydibeyoglu, M. Mocan, M. Sutcu, N. Ozveren-Ucar, and M. Seydibeyoglu, "Characterization of Perlite Powders from Izmir, Türkiye Region," Physicochem. Probl. Miner. Process., vol. 58, no. 6, 155277. 2022, DOI: <https://doi.org/10.37190/ppmp/155277>
- [9] O. Sengul, S. Azızı, F. Karaosmanoglu, M. A. Tasdemir, "Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete," Energy Build., vol. 43, no. 2-3, pp. 671–676, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.008>
- [10] A. G. de Oliveira, J. C. Jandorno Jr, E. B. D. da Rocha, A. M. F. de Sousa, and A. L. N. da Silva, "Evaluation of expanded perlite behavior in PS/Perlite composites," Applied Clay Science, vol. 181, 105223, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105223>
- [11] B. Szadkowski, A. Marzec, P. Rybinski, and M. Zaborski, "Characterization of Ethylene-propylene Composites Filled with Perlite and Vermiculite Minerals: Mechanical, Barrier, and Flammability Properties," Materials, vol. 13, no. 5, pp. 585, 2020, doi:10.3390/ma13030585
- [12] M. Masłowski, J. Miedzianowska, and K. Strzelec, "Hybrid Straw/Perlite Reinforced Natural Rubber Biocomposites," J Bionic Eng, vol. 16, pp. 1127–1142, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1007/s42235-019-0124-2>
- [13] Z. Wang, X. Zhang, C. Bao, Q. Wang, Y. Qin, and X. Tian, "The Synergistic Effect of Aluminum Hypophosphide and Nanosilica on Flame-Retarded Ethylene-Propylene-Diene Monomer Rubber," J. Appl. Polym. Sci., vol. 124, pp. 3487–3493, 2012, Doi 10.1002/app.35460.
- [14] J. Wang, L. Xue, B. Zhao, G. Lin, X. Jin, D. Liu, H. Zhu, J. Yang, and K. Shang, "Flame Retardancy, Fire Behavior, and Flame Retardant Mechanism of Intumescent Flame Retardant EPDM Containing Ammonium Polyphosphate/Pentaerythritol and Expandable Graphite," Mater, vol. 12, no. 4, pp. 4035, 2019. doi:10.3390/ma12244035.

- [15] J.R.A. Pinto, N.B. Sanches, M.F. Diniz, R.S. Santos, J.I.S. De Oliveira, and R.D.C.L. Dutra, "Expanded Perlite/Cork Fillers Applied to Aerospace Insulation Material," *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 90, pp. 3197–3206, 2018. Doi: 10.1590/0001-3765201820170964
- [16] N. Edres, I. Bunyat-zadeh, S.M. Turp, M. Soylak, S. Aliyeva, N. Binnetova, N. Guliyeva, S. Mammadyarova, and R. Alosmanov, "Structural Characterization of Composites Based on Butadiene Rubber and Expanded Perlite," *J. Compos. Sci.* vol. 7, pp. 487, 2023. <https://doi.org/10.3390/jcs7120487>
- [17] M. Atagür, M. Sarikanat, T. Uysalman, O. Polat, I.Y. Elbeyli, Y. Seki, and K. Sever, "Mechanical, thermal, and viscoelastic investigations on expanded perlite–filled high-density polyethylene composite," *Journal of Elastomers & Plastics*, vol. 50, no. 8, pp. 747-761, 2018. Doi: 10.1177/0095244318765045
- [18] S.Y. Fu, X. Q. Feng, B. Lauke, and Y.W. Mai, "Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate–polymer composites," *Composites Part B*, vol. 39, no. 6, pp. 933–961, 2008.