

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI



POLİDİMETİLSİLOKSAN NANOKOMPOZİTLERİNİN SENTEZİ VE
KARAKTERİZASYONU

ESRA ÖZVEZİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Pınar TURAN BEYLİ (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Tayfun UZUNOĞLU

Doç. Dr. Sema ÇARIKÇI

BALIKESİR, AĞUSTOS - 2022

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Polidimetilsiloksan Nanokompozitlerinin Sentezi ve Karakterizasyonu**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Esra ÖZVEZİR

ÖZET

**POLİDİMETİLSİLOKSAN NANOKOMPOZİTLERİNİN SENTEZİ VE
KARAKTERİZASYONU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ESRA ÖZVEZİR
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. PINAR TURAN BEYLİ)**

BALIKESİR, AĞUSTOS - 2022

Bu çalışmada, esnekliği, reaktif olmayışı, dayanıklılığı ve transparan oluşu nedeniyle bir çok alanda kullanıma sahip olan polidimetilsiloksan (PDMS) elastomerine daha önce etkisi incelenmemiş olan nano boyuta indirilmiş bazik pomza ve scoria volkanik kayalar eklenmiştir. Ayrıca sıklıkla eklenen dolgu materyallerinden nano gümüş ve çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) de eklenerek dolgu materyallerinin elastomer içinde bu malzemelere etkileri de incelenmiştir. Son olarak aynı materyaller, elastomer yapmadan yani direkt polidimetilsiloksanın akışkan yağ formuna eklenerek, elastomerleşmiş hali ile karşılaştırılmıştır. Bazik pomza ve scoria, PDMS'nin termal özelliklerini çok az artırırken, elektriksel özelliklerini (yalıtkanlık) hiç etkilememişlerdir. MWCNT, elastomerin termal ve elektriksel özelliğini arttırmış, ısı ve elektriksel olarak yalıtkan elastomeri iletken hale getirmiştir. Fakat nano boyuttaki gümüşün elastomere elektriksel olarak hiçbir etkisi olmamıştır. Ayrıca bazik pomza ve scoria PDMS'nin transparan özelliğini yani ışık geçirgenliğini tamamen ortadan kaldırmıştır. FTIR spektrumlarında yalnızca saf PDMS'nin pikleri ile benzer çıkması dolayısıyla inert özelliği (reaktif olmayışı) bir kez daha kanıtlanmıştır. Polidimetil siloksan polimerinin silikon yağı formunda kullanılmasının polimerin elektriksel özelliklerini elastomer haline göre daha da iyileştirdiği, içine konulan dolgu materyalleri bazik pomza ve scoria'nın da bu özelliği daha da iyileştirdiği görülmüştür. Sonuç olarak sağlık açısından bir zararına rastlanmamış olan inert yapıdaki PDMS'ye bazik pomza ve scoria'nın boyar maddeler yerine eklenebileceğini, silikon yağı ile çok yüksek % oranlarında karışabildiği için zamanla deforme olmayacak ve her türlü yüzeye uygulanabilen pastalar şeklinde silikon yağının kullanım alanlarını arttırabileceği görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Pomza, scoria, polidimetilsiloksan, SEM-EDX, ışık geçirgenliği, elektriksel iletkenlik.

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLYDIMETHYLSILOXANE NANOCOMPOSITES

MSC THESIS

ESRA ÖZVEZİR

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CHEMISTRY

(SUPERVISOR: DOÇ. DR. PINAR TURAN BEYLİ)

BALIKESİR, AUGUST - 2022

In this study, basic pumice and scoria volcanic rocks reduced to nano size were added to the polydimethylsiloxane elastomer, which has many uses due to its flexibility, non-reactivity, durability and transparency. In addition, nano silver and multi-walled carbon nanotubes, which are frequently added filling materials, were added and the effects of filling materials on these materials in elastomer were also investigated. Finally, the same materials were compared with the elastomerized form of polydimethylsiloxane without making elastomers, that is, by adding directly to the oil form of polydimethylsiloxane. While basic pumice and scoria slightly increased the thermal properties of PDMS, they did not affect the electrical properties (insulator) at all. MWCNT increased the thermal and electrical properties of the elastomer and made the thermally and electrically insulating elastomer conductive. However, nano-sized silver had no electrical effect on the elastomer. In addition, basic pumice and scoria have completely eliminated the transparent feature of PDMS, that is, the light transmittance. In the FTIR spectra, only the peaks of pure PDMS are similar, so its inert feature has been proven once again. It has been observed that the use of polydimethyl siloxane polymer in the form of silicone oil further improves the electrical properties of the polymer compared to the elastomer form, and the filling materials basic pumice and scoria also improve this feature. As a result, it has been seen that basic pumice and scoria can be added to the inert PDMS, which has no harm in terms of health, instead of dyestuffs, and that it can increase the usage areas of silicone oil in the form of pastes that will not deform over time and can be applied to all kinds of surfaces, since it can be mixed with silicone oil at very high percentages.

KEYWORDS: Pumice, scoria, polydimethylsiloxane, transmittance, SEM-EDX.

Science Code / Codes : 20107, 20112

Page Number : 50

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Elastomerler	1
1.2 PDMS	1
1.2.1 Silikon yağı	1
1.2.2 PDMS Nanokompozitleri ve Kullanım Alanları	1
1.3 Pomza ve Scoria	2
1.4 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp	3
1.5 Literatür Özeti	3
1.6 Çalışmanın Amacı	9
2. MATERYAL VE METOD	10
2.1 Materyaller	10
2.2 Metod	11
2.2.1 Dolgu Materyallerinin Nano Boyuta İndirilmesi	11
2.2.2 PDMS Nanokompozitlerinin Sentezi	12
2.2.2.1 PDMS Elastomerlerinin Sentezi	12
2.2.2.2 Silikon Yağı Nanokompozitlerinin Eldesi	14
2.2.3 Dolgu Materyallerinin, Silikon Yağı Karışımlarının ve PDMS Elastomerlerinin Karakterizasyonu	16
2.2.3.1 SEM ve EDX Analizleri	16
2.2.3.2 Taneciklerin Boyut Analizi	16
2.2.3.3 FTIR Analizi	16
2.2.3.4 Termal İletkenlik Analizi	16
2.2.3.5 Işık Geçirgenliği Analizi	17
2.2.3.6 Elektriksel İletkenlik Analizi	17
3. BULGULAR ve TARTIŞMA	18
3.1 SEM-EDX Analizi	18
3.1.1 Bazik Pomzanın EDX Analizi	18
3.1.2 Scorianın EDX Analizi	21
3.2 Tane Boyutu Analizi	23
3.3 FTIR Analizi	24
3.4 Termal İletkenlik Analiz	32
3.5 Elektriksel İletkenlik Analizi	33
3.6 Işık Geçirgenliği Analizi	38
4. SONUÇLAR	43
5. KAYNAKLAR (IEEE)	46
ÖZGEÇMİŞ	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Doğal pomza taşları.....	3
Şekil 2.1: Çalışmada kullanılan silikon yağı(polidimetilsiloksan).....	10
Şekil 2.2: Çalışmada kullanılan dolgu materyalleri.....	11
Şekil 2.3: Çalışmada kullanılan çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT).....	11
Şekil 2.4: PDMS elastomerleri (18:2 w/w).....	13
Şekil 2.5: PDMS elastomerleri (4,5:0,5 w/w).....	14
Şekil 2.6: Tablo 2.3'deki karışımların resimleri	15
Şekil 3.1: Bazik pomzanın SEM görüntüsü	19
Şekil 3.2: Bazik pomzanın EDX analizi	20
Şekil 3.3: Scorianın SEM görüntüsü	21
Şekil 3.4: Scorianın EDX analizi	22
Şekil 3.5: Bazik pomza tane boyutu analizi	23
Şekil 3.6: Scoria tane boyutu analizi.....	24
Şekil 3.7: PDMS elastomeri, bazik pomza ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin FTIR spektrumları.....	25
Şekil 3.8: PDMS elastomeri, scoria ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin FTIR spektrumları	26
Şekil 3.9: PDMS elastomeri, bazik pomza ve bunlardan oluşan nanogümüş ilaveli nanokompozitlerin FTIR spektrumları.....	27
Şekil 3.10: PDMS elastomeri, scoria ve bunlardan oluşan nanogümüş ilaveli nanokompozitlerin FTIR spektrumları.....	28
Şekil 3.11: PDMS elastomeri, bazik pomza, MWCNT ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin FTIR spektrumları.....	29
Şekil 3.12: PDMS elastomeri, scoria, MWCNT ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin FTIR spektrumları	30
Şekil 3.13: PDMS elastomeri, MWCNT ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin FTIR spektrumları	31
Şekil 3.14: PDMS/bazik pomza, PDMS/scoria ve PDMS/MWCNT nanokompozitlerin farklı yüzdelerde ölçülen termal iletkenlik grafiği.....	32
Şekil 3.15: PDMS elastomeri ve farklı yüzdelerdeki PDMS/bazik pomza nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik grafiği	34
Şekil 3.16: PDMS elastomeri ve farklı yüzdelerdeki PDMS/scoria nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik grafiği	34
Şekil 3.17: PDMS elastomeri ve farklı yüzdelerdeki PDMS/MWCNT nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik grafiği	35
Şekil 3.18: Silikon yağı ve farklı yüzdelerdeki bazik pomza-MWCNT nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik grafiği	36
Şekil 3.19: Silikon yağı ve farklı yüzdelerdeki scoria-MWCNT nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik grafiği.....	36
Şekil 3.20: Silikon yağı/nano gümüş ve silikon yağı/MWCNT karışımlarının elektriksel iletkenlik grafiği.....	37
Şekil 3.21: PDMS/MWCNT (%5) oranına sahip nanokompozitinin hem yüzeyden hem de içeri batırarak ölçülen elektriksel iletkenlik grafiği.....	38

Şekil 3.22: PDMS elastomeri, bazik pomza ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin ışık geçirgenliği grafikleri.....	39
Şekil 3.23: PDMS elastomeri, scoria ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin ışık geçirgenliği grafikleri.....	40
Şekil 3.24: PDMS elastomeri ve MWCNT'den oluşan nanokompozitlerin ışık geçirgenliği grafikleri....	41
Şekil 3.25: PDMS elastomeri, bazik pomza ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin ışık soğurma grafikleri.....	42
Şekil 3.26: PDMS elastomeri, scoria ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin ışık soğurma grafikleri.....	43

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Sentezlenen PDMS Elastomerleri (A/B:18/2).....	12
Tablo 2.2: Sentezlenen PDMS Elastomerleri (A/B:4,5/0,5).....	14
Tablo 2.3: Silikon yağı ile hazırlanan karışımların bileşimi ve kütlece yüzdesi	15
Tablo 3.1: PDMS/bazık pomza, PDMS/scoria ve PDMS/MWCNT nanokompozitlerin farklı yüzdelerde ölçülen termal iletkenlik analiz verileri.....	33
Tablo 3.2: PDMS/bazık pomza, PDMS/scoria, PDMS/nanogümüş ve PDMS/MWCNT elastomerlerinin elektriksel iletkenlik analiz verileri.....	38
Tablo 3.3: Silikon yağı/bazık pomza, Silikon yağı /scoria, Silikon yağı /nano gümüş ve Silikon yağı /MWCNT nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik analiz verileri.....	39

ÖNSÖZ

Öncelikle beni Yüksek Lisans öğrencisi olarak kabul eden, tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan ve verimli bir yüksek lisans süreci geçirmemi sağlayan hocam Sayın Doç. Dr. Pınar TURAN BEYLİ'ye desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve gelişme yolunda desteğini esirgemeyen canım aileme çok teşekkür ederim.

Balıkesir, 2022

Esra ÖZVEZİR

1. GİRİŞ

1.1 ELASTOMERLER

Polimerler, yaygın olarak kullanılan ve birçok endüstriyel ürünün temeli olan daha küçük moleküllerin (monomerlerin) kimyasal olarak bağlanmasıyla oluşan ve bağlı moleküllerin sayısı ve özelliklerine göre farklı özellikler elde edilebilen maddelerdir. Polimerler doğal ve yapay olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Polisakkaritler (selüloz, nişasta gibi), proteinler doğal polimerlere örnekken yapay (sentetik) polimerlere petrolden elde edilen polivinil klorür (PVC), polietilen (PE) ve polipropilen (PP) örnek verilebilir.

Polimerler içinde viskoz ve elastik özelliklere sahip olanlara elastomer adı verilir. Elastomerler kalın, yoğun, yapışkan ve viskoz materyallerdir. Elastomerler arasında en çok gelecek vaat edeni polidimetil siloksan (PDMS) elastomeridir [1].

1.2 PDMS

PDMS olarak bilinen polidimetilsiloksan, popüler olarak bilinen silikonların organosilikon grubuna ait bir bileşendir. PDMS, biyoyumluluğa sahip esnek, transparan özelliklere sahip silikon içeren organik polimerlerin en çok kullanılanıdır. Sentetik kablolar, plastik çantalar, boyalar, lensler, yapıştırıcılar ve biyomedikal cihazlar gibi günlük kullanıma ait birçok malzemede kullanılmaktadır [1].

1.2.1 Silikon Yağı

Silikon yağı, organik yan zincirlere sahip, polimer omurgası değişen silikon ve oksijen atomlarından oluşan sıvı bir polimerize siloksandır. En yaygın şekli polidimetilsiloksandır (PDMS). Silikon yağının düşük toksisiteye ve düşük yan etki riskine sahip olduğu güvenlik çalışmalarında gözlemlendiğinden tıpta, camsı sıvı ikamelerinde ve meme implantlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, yaygın mikroorganizmalar üzerinde hiçbir bakterisidal (bakteri öldürücü) etkisi gözlenmemiştir [2].

1.2.2 PDMS Nanokompozitleri ve Kullanım Alanları

PDMS nanokompozitlerinin günümüzde birçok kullanım alanına rastlanmaktadır. Polidimetilsiloksan (PDMS) kararlı kimyasal özelliklere, biyolojik uyumluluğa, şeffaflığa, iyi bir termal kararlılığa sahip olduğundan elektronik malzemelerin yüzeyine rahatlıkla uygulanabilmektedir. Giyilebilir dirençli gerinim sensörleri için esnek bir zemin olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Giyilebilir elektronik teknolojisi, elektronik cihazları giysilere, aksesuarlara, insan derisine ve hatta canlı organizmaya yerleştirilerek vücut algılama, veri depolama ve mobil bilgi işlem ölçümlerini gerçekleştirebildiğinden akıllı

tekstil, yumuşak robotik ve yapısal sağlık izlemede kullanılmaktadır[3]. Polidimetilsiloksan (PDMS), iyi termal ve oksidatif stabilite, dűřuk yűzey enerjisi, üretim kolaylığı, ayarlanabilir sertlik ve iyi biyouyumluluk gibi benzersiz özelliklere sahip yüksek performanslı polimerlerden biri olduğundan havacılık, litografi, hidrofobik kaplamalar, elektronik ve biyotıp gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır[4].

Robotik alanında hassas kavrama çok önemli olduğundan dűřuk basınç aralıklarını algılayabilmeleri için sensörlerin temel parametreleri mekanik esneklik, minyatürleştirme, çalışma voltajı, hassasiyet, tepki süresi ve doğruluğu büyük önem taşımaktadır. Polidimetilsiloksan (PDMS) gibi yumuşak polimerler, yüksek esneklikleri, istenen şekil ve boyutta yapılandırılabilmesi ve en önemlisi nano dolgu maddeleri ekleyerek akıllı malzemeler üretebilmeleri nedeniyle mikroakışkanlar ve sensörlerde ilgi görmektedir[5]. Polidimetilsiloksan (PDMS) malzemeleri, optik şeffaflık, biyouyumluluk, toksik olmama ve yanıcı olmayan davranış gibi üstün özellikleri nedeniyle çip üstü laboratuvar teknolojilerinden mikrosensörlere, elektrokinetik ve mikro ısıtıcılara kadar farklı uygulamaları vardır[6]. PDMS'nin üretim kolaylığı (hızlı prototipleme, sızdırmazlık, kullanıcı ile arayüz oluşturma), UV-görünür bölgelerde şeffaflık, kimyasal tepkime isteğinin azlığı, dűřük polarite, dűřük elektrik iletkenliği ve elastikiyet gibi özellikleri, su ile teması halinde şişmemesi, üretim maliyetinin mikro cihazlarda yaygın olarak kullanılan birçok malzemeye (örneğin cam veya silikon) göre dűřük fiyatlı olması, biyoanaliz amaçlı mikroakışkan cihazların imalatında tercih edilmesini sağlamaktadır[7].

1.3 Pomza ve Scoria

Orijinal pomza adı Latince pumex kelimesinden (köpük) gelmektedir. Pomza taşı, genellikle riyolitik olan volkanik maddenin(erimiş lav) hızlı soğuması ve katılaşması boyunca şekillendirilmiş doğal hafif (sűngerimsi) bir agregadır. Pomzanın gözenekli yapısı erimiş lav içindeki gazların soğuma sırasında aniden sıkışmasıyla milyonlarca küçük hava boşluğunun oluşumuna dayanır. Hava boşlukları birbirine bağlıdır, birbirine paraleldir ve bazen uzamıştır. Pomza rengi sıklıkla gri veya beyazdır ya da beyazdan altına, kahverengiden siyaha kadar değişen renk alabilir. Esasında bu durum pomzanın kimyasal bileşimine bağlıdır. Pomza cevheri esas olarak dűřük miktarda TiO_2 ve SO_3 , CaO (%1–2), Fe_2O_3 (%1–3), Na_2O-K_2O (%7–8), Al_2O_3 (13–17%) ve SiO_2 (%60–75). Pomzada iri agrega, ince agrega ve tozun özgül ağırlığı sırasıyla 0,82'den 2,17'ye 1,18'den 2,52'ye ve 2,04'den 2,85'e aralığında değişmektedir. ISO 10390 tarafından belirtilen pH değeri 7

civarındadır. Sertleşmiş (Mohs Ölçeği) 5,5 ile 6 arasındadır. Maksimum partikül gözenekliliği %85'e ulaşabilir, yani toplam hacmin %85'i hava içerir ve sadece %15 katı madde içerir.

Pomza, hafif agrega olarak nitelendirilen düşük yoğunluk, iyi ısı yalıtımı, iyi yangın direnci ve yanmazlık, kabul edilebilir basınç dayanımı, makul esneklik ve düşük geçirgenliğe sahip gözenekli yapı gibi birçok ileriye dönük özelliğe sahiptir.

Pomza, hem toz halinde hem de pomza taşı olarak değerli bir temizleme, ovma ve cilalama malzemesidir. Geleneksel olarak inşaat endüstrisinde ve biyotıpta kullanılmaktadır. Son yıllarda su, atık su ve hava arıtma alanında değerlendirilmektedir[8].



Şekil 1.1: Doğal pomza taşları.

1.4 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp

Çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT'ler) mekanik, termal ve elektriksel yönlerden sahip olduğu benzersiz malzeme özellikleri nedeniyle son dönemlerde dikkat çekmiş ve MWCNT-polimer kompozitler olarak kullanılmıştır. MWCNT'ler kompozitleri iletken hale getirmiş ve nanokompozitlerin mükemmel esneklikleriyle birlikte yüksek bir gerilimi sürdürebildiğinden gerinim sensörlerinde kullanılmışlardır. Bununla birlikte, bir polimerde MWCNT'lerin homojen dağıtılması hala bir zorluk oluşturmaktadır. Ayrıca MWCNT'nin kompozitteki miktarı arttıkça gerinim duyarlılığı düşmektedir[9].

1.5 Literatür Özeti

Mina ve arkadaşları, gümüş nanoparçacık (AgNPs) dolgulu polidimetilsiloksan (PDMS) ile esnek bir sensör üretmişlerdir. PDMS'deki AgNP'lerin miktarı ağırlıkça %0,10, 0,15, 0,20,

0,25 ve 0,30 olarak değiştirilmiştir. Esnek sensörün performansı, akım-voltaj özellikleri ve gerinim algılama yeteneği kullanılarak gözlemlenmiştir. Sensörün morfolojisi, Taramalı Elektron Mikroskopu kullanılarak analiz edilmiş. Yüksek elektriksel direnç faktörlerine sahip esnek sensörlerin, elektronik cihazların geliştirilmesine uygun olduğu bulunmuştur[3]. M. Amjadi ve arkadaşları, gümüş nanotel (AgNW) ile sandviç yapı biçiminde (yani, iki PDMS katmanları arasına gömülü AgNW ince film) esnek, gerilebilir PDMS elastomerine dayalı hassas gerinim sensörleri üretmişlerdir. AgNW'in ağ elastomer nanokompozit tabanlı gerinim sensörlerinin gerinim faktörlerinin %70'e varan yüksek gerilebilirlik ile güçlü piezodirenç gösterdiği bulunmuştur[10]. D. Rajendran ve arkadaşları, ayak basıncının izlenmesi için esnek ve düşük maliyetli çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT)/Polidimetilsiloksan(PDMS) ayak tabanı basınç sensörleri tasarlamışlar ve karakterizasyonunu yapmışlardır. Sensörlerinin, sabit basınç altında yüksek elektriksel ve mekanik özelliklere sahip olduğunu görmüşlerdir. MWCNT/PDMS nanokompozit basınç sensörlerine dayalı bir iç tabanın yaklaşık 9.46 g, ağırlık altında yürürken ve ayakta dururken ölçümünü yapmışlar. Ayak basınç dağılımının normal pozisyonda ayakta dururken ön ayakta ve topukta daha yüksek olduğunu görmüşlerdir[11]. Y. Jiang ve arkadaşları, Epoksi/gümüş nanotel (epoksi/AgNW'ler) kompozitlerinin elastik modül uyumsuzluğunu termal iletkenlik üzerindeki etkisini, AgNW'lerin yüzeyini farklı en/ boy oranı ve uzunlukta sert bir titanyum dioksit (TiO₂) kaplama yaparak değerlendirmişler. Epoksi/AgNWs kompozitleri ile karşılaştırıldığında, TiO₂ kaplamalı AgNW lerin epoksi matrisinde daha homojen bir şekilde dağılabildiğini gözlemlemişlerdir. Daha yüksek elastik modülüne sahip TiO₂ ara katmanı, epoksi ile modül uyumsuzluğunu arttırmış, ara yüzey fonon saçılımını şiddetlendirmiş ve epoksi/AgNW kompozitlerinin ise termal iletkenliğinin azaldığı görülmüş. Ayrıca, TiO₂-epoksi/AgNW kompozitler, epoksi/AgNWs kompozitlerine göre hacimce %4 arttırılmış elektrik direncine ve azaltılmış dielektrik özelliklere sahip olduğunu tespit etmişlerdir[12]. Du ve arkadaşları, Magnezyum oksit kaplı çok duvarlı karbon nanotüpler (MgO@MWNT) üretmiş ve epoksi matris içine dağılmasını sağlamışlardır. MgO@MWNT ve epoksi/MgO@MWNT nanokompozitlerinin mikroyapıları TEM ve SEM ile karakterize edilmiştir. Epoksi nanokompozitlerinin ısı iletkenliklerini sırasıyla yüksek direnç ölçer ve termal iletkenlik ölçer ile incelemişlerdir. MgO@MWNT yüklü epoksi nanokompozitler dolgu içeriğindeki artışa rağmen elektrik yalıtımını korumuşlardır. Ancak, epoksinin termal iletkenliği MgO@MWNT içeriğinin artmasıyla artmış, ağırlıkça %2.0'a ulaştığında, termal iletkenlik, aynı yüklemeye içeriğine sahip modifiye edilmemiş MWNT nanokompozitlerinkinden daha yüksek olduğu ve saf

epoksi ile karşılaştırıldığında %89 arttığını gözlemlemişlerdir[13]. M. Nour ve arkadaşları, H₂S'yi CH₄ ve CO₂ gaz akışlarından reaktif olarak uzaklaştırmak için farklı ağırlık konsantrasyonlarında gümüş (Ag) nanoparçacıklarına sahip polidimetilsiloksandan (PDMS) yapılmış bir nanokompozit katalitik membran üretmişlerdir. Ag nanoparçacıkları, %1'lik küçük bir Ag nanopartikül eklenmesi ile PDMS matrisine iyi bir şekilde dağılmış, oluşturulan katalitik membranların H₂S gaz moleküllerinin %60'ından fazlasını tutabildiğini gözlemlemişlerdir. Karakterizasyon sonucu H₂S gaz moleküllerine maruz kalan Ag nanoparçacıklarınının Ag₂S'den oluşan bir katalitik nano bileşiğe dönüştüğünü görmüşlerdir. Nano bileşiğin H₂S'yi katalitik olarak ayrıştırdığı, CO₂ üzerinde çok daha küçük bir etkiye sahip olduğu ve CH₄ gaz türleri üzerinde neredeyse hiç etkisinin olmadığı görülmüştür[14]. Ramalingame R. ve arkadaşları, Çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) ve poli dimetilsiloksan (PDMS) bazlı yüksek hassasiyet sergileyen basınç algılama aralığı yaklaşık 570 kPa olan bir nanokompozit tabanlı basınç sensörü geliştirmişlerdir. Robot parmaklarına entegre edilebilecek bir 4×3 dokunsal sensör algılama düzeneği oluşturmuşlar bu sensörün 5 mm boyutunda ve 1 g ağırlığındaki küçük nesnelere algılama hassasiyetine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Yine bu sensörü, insansı bir robotun ayağının altına ekleyerek robotun yürüyüşünü izlemek ve değerlendirmek için kullanmışlardır[15]. Herren B. ve arkadaşları, polidimetilsiloksan (PDMS)/çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) nanokompozitleri mikrodalga ışıması kullanılarak piezodirenç algılama amacıyla üretilmişlerdir. Nanokompozitlerin mekanik ve elektriksel özelliklerine başlangıç koşullarının etkileri incelenmiştir. Bu nanokompozitlerin piezodirençli tepkileri, çeşitli maksimum gerinimlerde, eklenen miktarlarda ve viskoelastik stres gevşeme koşullarında sıkıştırma yükleri altında değerlendirildiğinde ağırlıkça % 2.5'lük nanokompozitin, bir golf sopasını tutmak da dahil olmak üzere insan hareketi algılaması için cilde takılabilen bir sıkıştırma sensörü olarak kullanılabilirdiğini söylemişlerdir[16]. Pandey K. ve arkadaşları ,polidimetil siloksanın (PDMS) mikrobiyal azaltma ve sudan yağ kirleticisinin çıkarılması için bir nanokompozit süngeri Aktif Karbon (AC) ile birlikte farklı konsantrasyonlarda gümüş (Ag) nanoparçacıkları eklenerek sulu olmayan in-situ polimerizasyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen PDMS süngerinin içinde nanoparçacıklarla süslenmiş mikro gözenekli bir doku oluşturmuşlardır. Oluşturulan süngerler, anti-mikrobiyal aktivitenin yanı sıra sudan yüzen yağ kirleticilerinin emilmesi gibi özelliklerle birlikte fiziko-kimyasal özellikleri açısından test etmişlerdir. Birleştirilmiş AC ve Ag partikülleri ile çevrili PDMS sünger matrisinin(PDMS@AC-Ag sünger) gerçek zamanlı optik yoğunluğa dayalı anti-mikrobiyal test, sonucunda bakteri üremesinin

yavaşladığını anti-mikrobiyal aktivitesinin yanı sıra yağ kirletici madde emiliminin bağımsız olarak arttığını göstermektedir[17]. Sagar S. ve arkadaşları, polidimetilsiloksan (PDMS) içine dahil edilen karboksilik işlevselleştirilmiş çok duvarlı karbon nanotüplerin (F-MWCNT) dielektrik, elektrik ve termal özellikleri, elektronik malzemeler alanındaki potansiyellerini belirlemişlerdir. Saf çok duvarlı karbon tüplerin (Ps-MWCNT) karboksilik işlevselleştirilmesini, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi ile gözlemlemişler ve hem Ps-MWCNT'ler hem de F-MWCNT'lerin karboksilik kısımları için X-ışını kırınım modellerinin, kristal davranışının değişmediğini gözlemlemişlerdir. Polimer matrisinde F-MWCNTlerin artan ağırlık yüzdesi ile termal kararlılığı açıklamak için termogravimetrik ve diferansiyel termal analizler yapılmış kristalleşme/camsı geçiş/erime sıcaklıkları diferansiyel taramalı kalorimetre kullanılarak değerlendirilmiş sonuçta birinci ve ikinci erime geçiş sıcaklıklarının arttığını, cam geçiş ve kristalleşme sıcaklıklarının azaldığını gözlemlemişlerdir[18]. Shaoa L. ve arkadaşları, PDMS-SiO₂-kitosan@TiO₂ kompozitlerinin simüle güneş ışığı altında pomza üzerindeki immobilize ve fotokatalitik performanslarını incelemişlerdir. PDMS-SiO₂-Cs@TiO₂ kompozitleri için destek olarak pomza taşları kullanıldığında, başlangıç konsantrasyonu ile karşılaştırıldığında, 30 saatlik simüle edilmiş güneş ışığı ışımından sonra boya çözeltisinin konsantrasyonu %36 azaldığı, boyaların bozunma etkinliğinin beş döngüden sonra neredeyse hiç azalmadığını gözlemlemişlerdir. PDMS-SiO₂-Cs@TiO₂'nin optik özelliği ve yüzey yapısı sırasıyla UV-Vis DRS ve XPS ile karakterize edilmiş, UV-Vis DRS sonuçlarının, hem Cs@TiO₂-300 kompozitlerinin hem de PDMS-SiO₂-Cs@TiO₂ kompozitlerinin ışık absorpsiyon aralığının görünür ışık bölgesine genişlettiğini XPS sonuçları ise, PDMS-SiO₂-Cs@TiO₂ kompozitlerinin yüzeyinde nitrojen (N) katkılı titanyum varlığını gösterdiğini söylemişlerdir[19]. Li J. ve arkadaşları, Pamuk lifleri (CTF) eklenerek polidimetilsiloksan/çok duvarlı karbon nanotüpler (PDMS/MWCNT) nanokompozitlerinde çok sayıda çoklu arayüz oluşturulmuş çoklu arayüzlerde elektromanyetik dalgaların yansımaları ve ardından matrislerdeki absorpsiyonun, iletken polimer kompozitlerin (CPC) elektromanyetik girişim (EMI) korumasına etkisini incelemişlerdir. Radyasyonun, çoklu arayüzlerde dalga yansımaları ve absorpsiyon ile PDMS/CTF ve CTF/MWCNT arayüzlerinde zayıflatıldığını gözlemlemişlerdir. CTF'nin büyük bir hacmi kaplaması nedeniyle PDMS/MWCNT/CTF nanokompozitlerinde nispeten yoğun bir MWCNT ağının, yüksek elektrik iletkenliği ve düşük sızma eşiği oluşturduğunu gözlemlemişlerdir[20]. Nikpour S. ve arkadaşları, Hasarlı dokuların onarılmasını kolaylaştırabilecek biyouyumlu yapı iskeletlerinin imalatı büyük ilgi görmektedir, kurkumin yüklü Fe(II) metal-organik çerçeve/polidimetilsiloksan sünger,

Cur/Fe-MOF/PDMS'nin hazırlanması ve yapısal olarak incelenmesi FTIR(Fourier dönüşümlü kızılötesi), XRD (X-ışını kırınımı), SEM (taramalı elektron mikroskobu), TEM (aktarım elektron mikroskobu), EDS (enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi) haritalaması ve XPS (X) gibi çeşitli teknikleri (ışınlı fotoelektron spektroskopisi) kullanılarak yapılmıştır. Kurkuminin ve Fe-MOF'nin PDMS matrisine başarılı bir şekilde eklendiğini elde edilen SEM görüntülerindeki PDMS ve Fe-MOF/PDMS kompozitinin sünger benzeri yapılarıyla gözlemlenmiştir. Gerçekten de, in vivo elde edilen sonuçlar, hayvanların hepsinin nakile herhangi bir olağandışı tepki vermediğini ve hayatta kaldığını göstermiş ayrıca makroskopik boyutta, Fe-MOF/PDMS ve Cur/Fe-MOF/PDMS iskeletlerinin, saf PDMS'den daha iyi bağlandığını belirtmişlerdir. H&E boyama, Cur/Fe-MOF/PDMS'de PDMS ve Fe-MOF/PDMS yapı iskelelerinden daha iyi iyileşme ve revaskularizasyon olduğunu doğrulamış, kurkuminin PBS (fosfat tamponlu salin) çözeltisinde salınmasının iki aşamalı olduğunu ve ilk aşamasının Fe-MOF'un hidrofilik özelliği nedeniyle hızlı salım ile sonuçlandığını söylemişlerdir[21]. Mo J. ve arkadaşları, Kendi kendini iyileştirme kabiliyetine ve mükemmel mekanik özelliklere sahip supramoleküler elastomerler oluşturmak için metal-ligand koordinasyonunu aza-Michael bağlanması ile amin fonksiyonelleştirilmiş polisiloksanlar (PDMS-NH₂) ve akrilik asit ile yeni iminokarboksil-fonksiyonel polisiloksanlar (PDMS-İminokarboksil) sentezleyerek ¹H-NMR ve FTIR spektroskopisine dayalı olarak gözlemlenmiştir. Kimyasal çapraz bağlar oluşturmak için PDMS İminokarboksil içine çinko iyonlarının dahil edilmesi ile dinamik Zn(II)-iminokarboksil kompleksleşmesi sağlanmış, termal ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirebilmişlerdir. [Zn²⁺]/[COOH]'nin stokiyometrik oranını NMR titrasyonu ile belirlemişler, çekme deneyleri ve reolojik analizler çeşitli germe oranlarındabelirli bir miktar gerinim duyarlılığı oluşturduğu sonucunu göstermiştir. DMA ve reolojik analiz sonuçlarına göre, PDMS-İminokarboksil@Znx ağlarının modül geçişinin Zn(II)-iminokarboksil kompleksleşmesinin birleşme-ayrışması ile doğrudan ilişkili olduğu ve DFT hesaplamalarının metal-ligand kompleksinin bağ-değerlik-bağ uzunluğu korelasyonlarına göre en iyi şekilde molekül dizilimine sahip olduğunu belirtmişlerdir[22]. Zhou ve arkadaşları, PDMS substratının hidrofobik özelliğini aşabilmek için gümüş nanoteller (Ag NWs) ile esnek şeffaf elektrotlar hazırlamışlardır. Poli(3,4-etilendioksitiyofen):poli(stirensülfonat) (PEDOT:PSS) cam alt tabaka ve polidimetilsiloksan (PDMS)/Ag NWs alt tabakaya şeffaf maddenin direncini ve geçirgenliğini kaybetmeden HNO₃ işlemi ile aktarım yapmışlardır. PDMS/Ag NWs/PEDOT: PSS kompozit filminin, %84.07'nin üzerinde yüksek geçirgenlik ve 9.05

Ω/sq 'lik düşük tabaka direnci gösterdiğini ve kalite faktörünün 218.2'ye ulaşabildiğini şeffaf ve iletken filmin iyi katlanabildiğini 200 tekrardan sonra, direnç değişim oranı sadece %7.8 olduğunu bulmuşlardır[23]. Park J. ve arkadaşları, çiy içeren bir örümcek ağının yapısından esinlenilerek yüksek performanslı esnek şeffaf elektrot filmleri elde etmek için mikro boyutlu polidimetilsiloksan (PDMS) damlacık kaplı iletken nanofiber ağ filmleri üretmişlerdir. Şeffaflık/iletkenlik analizinin yanı sıra bükülme, döngü, rüzgar direnci ve daldırma testleri ile analizler yapılmıştır. Önerilen tekniğin ucuz ekipman ve malzemelerin yanı sıra 5 dakikadan daha az bir süre gerektirdiğinden, esnek ekranlar ve giyilebilir cihazlar gibi çeşitli yeni nesil optoelektronik cihazlara yaygın olarak kullanılabilceğini düşünmüşlerdir[24]. Kang J. ve arkadaşları, Perovskite güneş pillerinde iyon göçünün pillerin kararlılığını azaltması nedeniyle kararlılığı geliştirmek için perovskit tabakasını çapraz bağlayıcı bir malzeme olan polidimetilsiloksan (PDMS) kullanarak doldurmuşlardır. PDMS'deki sertleştirici madde içeriğinin cihaz performansı ve kararlılığını arttırdığını belirtmişlerdir. PDMS ile dolgulandırılmasının perovskite fazının kristalleşmesini destekleyerek, güneş pillerinin kısa devre yoğunluğunun (JSC) ve doldurma faktörünün (FF) artmasına neden olduğu ve yaşlanma sırasında iyodür iyonlarının göçünü bastırması nedeniyle cihazın operasyonel kararlılığını arttırdığını bildirmişlerdir. PDMS'de kullanılan sertleştirici maddelerin içeriği ne kadar yüksekse, cihazların daha iyi kararlılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir [25]. Gao Z. ve arkadaşları, Ultra ince kristal silikon (c-Si) güneş pillerinde yansımayı azaltmak için yüzey kazınmış doku yapısı güneş pillerinin esnekliğini kaybettirdiği için pillerinin yüzeyine Moth-eye nanoyapılı bir tür polidimetilsiloksan (PDMS) filmi kaplamışlardır böylelikle güneş pillerinin esnekliğini arttırmışlar, yansımayı azaltmışlar ve güç dönüşüm verimliliğini iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. Güneş pillerinin fotoelektrik ve mekanik özelliklerini incelemek için sonlu elemanlar yöntemi kullanmışlar ve PDMS filminin ultra ince c-Si yüzeyini korumak için iyi bir esnekliğe sahip olduğunu ve bunun sonucunda yüzey stresinde %33,4'lük bir azalma olduğunu güve gözü nanoyapılı PDMS filminin kırılma indisinin gelen ışığın yönünde gradyan değişikliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Moth-eye nanoyapılı PDMS filmi, c-Si yüzeyinde yansıma önleyici katman olarak kaplandığında yansıtmayı %46,4 azaltmış ve ultra ince c-Si güneş pillerinin dönüşüm verimliliğini %42.3 artırmış diğer esnek güneş pilleri için bir yöntem olabileceğini belirtmişlerdir[26].

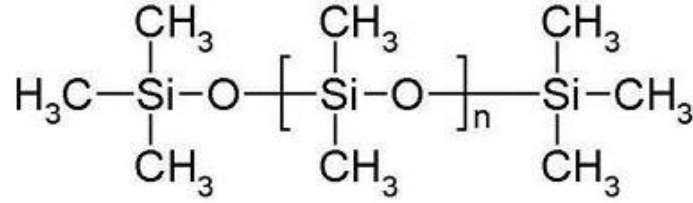
1.6 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, esnekliği, reaktif olmayışı, dayanıklılığı ve transparan oluşu nedeniyle birçok alanda kullanıma sahip olan polidimetilsiloksan elastomere daha önce etkisi incelenmemiş olan nano boyuta indirilmiş bazik pomza ve scoria volkanik kayaları eklenmiştir. Ayrıca sıklıkla eklenen dolgu materyallerinden nano gümüş ve çok duvarlı karbon nanotüp de eklenerek dolgu materyallerinin elastomer içinde bu malzemelere etkileri de incelenmiştir. Son olarak aynı materyaller, elastomer yapmadan yani direkt polidimetilsiloksanın akışkan yağ formuna eklenerek, elastomerleşmiş hali ile karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL METOD

2.1 Materyaller

Çalışmada kullanılan silikon yağı, Wacker marka, reaktif olmayan ve viskozitesi 100.000 mm²/s olan lineer polidimetilsiloksandır(Şekil 2.1). Kimyasal yapısı nedeniyle WACKER® AK 100 000, mineral yağlar gibi organik maddelerden ayıran olağanüstü bir özellik profiline sahiptir. Berrak, kokusuz ve renksiz bir sıvıdır, geniş bir sıcaklık aralığında fiziksel özelliklerinde minimum değişiklik gözlenir. Mükemmel su iticidir, kimyasal olarak düşük reaktiviteye sahiptir, düşük katılma noktası, yüksek parlama noktası, yüksek ısı direnci mevcuttur.[27]

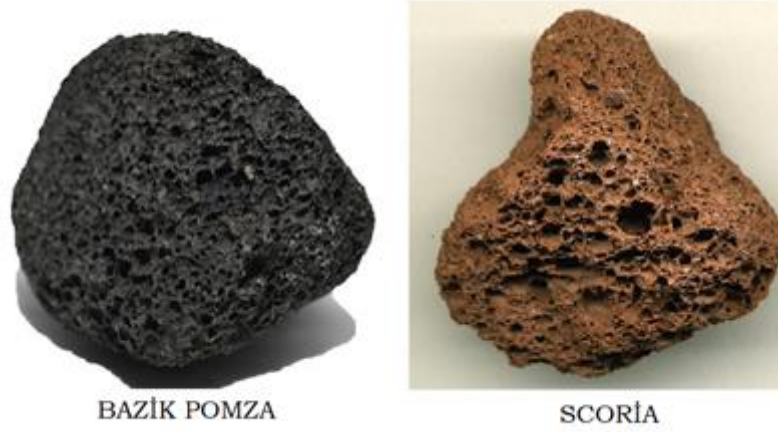


Şekil 2.1: Çalışmada kullanılan silikon yağı (polidimetilsiloksan).

Silikon elastomeri yapmak için yine aynı firmaya ait Elastosil RT 601 A/B kullanılmıştır. A kısmında lineer polidimetilsiloksan ve elastomerleşmeyi hızlandırmak için platin katalizörü mevcuttur. B kısmında ise firma tarafından patentli elastomer yapıcı kimyasal ayrı ayrı satılmaktadır. Elastomer yapmak için A'dan 9 grama B'den 1 gram eklenerek karıştırılması gerekir. Oda sıcaklığında 24 saatte, 60 °C 'de ise 1 saatte elastomer elde edilir.

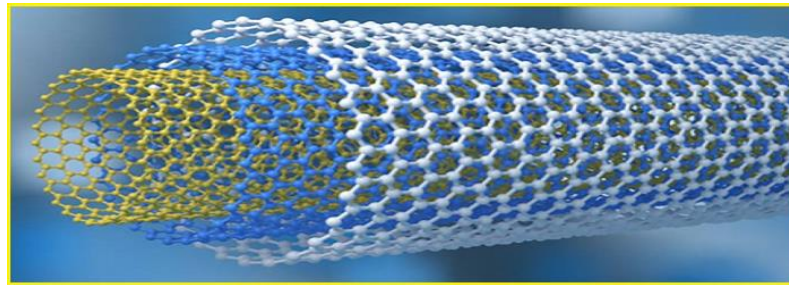
Silikon elastomerler düşük sıcaklıklarda esnektir ve ısıya ve eskimeye (UV radyasyonu ve ozon) dayanıklıdır. İşlenmeleri kolaydır ve geniş bir sıcaklık aralığında değişmeden kalan iyi mekanik özelliklere sahiptirler. Nötr bir tada sahiptirler ve biyolojik olarak reaktif değildirler.

Çalışmada kullanılan bazik pomza Bereketli Maden Mermer Sanayi firmasından 10-15 cm boyutlarında ve scoria ise ülkemizin Kayseri bölgesindeki bir pomza maden ocağından 10-15 cm boyutlarında direkt ham haliyle temin edilmiştir.



Şekil 2.2: Çalışmada kullanılan dolgu materyalleri.

Dolgu materyallerinden biri olan çok duvarlı karbon nanotüp, Nanografi firmasından 7-10 nm çapında, %92 saflıkta satın alınmış, çalışmada hiçbir ön işlem geçirilmeden direkt kullanılmıştır.



Şekil 2.3: Çalışmada kullanılan çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT).

2.2 Metod

2.2.1 Dolgu Materyallerinin Nano Boyuta İndirilmesi

Bazik pomza ve scoria önden küçük parçalara kırıldıktan sonra Retsch marka bilyeli öğütücüye konulmuş ve en az 20 dakika öğütülmüştür. Elde edilen tozlar 500 mL'lik erlenlere ayrı ayrı aktarılmış, üzerlerine yaklaşık 300 mL saf su eklenmiştir. Suyla karışmış olan tozlar, ultrasonik banyoda 10 dakika bekletildikten sonra laboratuvar sıcaklığında erlenlerin ağzı kapalı olacak şekilde 20 saat hareket ettirmeden çökmeye bırakılmıştır. 20

saat sonunda erlenin en üstünden sıvı çekilerek 4.000 rpm de 20' şer dakika santrifüj edilmiş ve bu işlem aynı tüp içinde sıvı kısım atılarak devam ettirilmiştir. Tüpte biriken katı oda sıcaklığında kurutulmuştur. Katı partiküllerinin tane boyutu, su içinde analiz edilmiştir.

2.2.2 PDMS Nanokompozitlerinin Sentezi

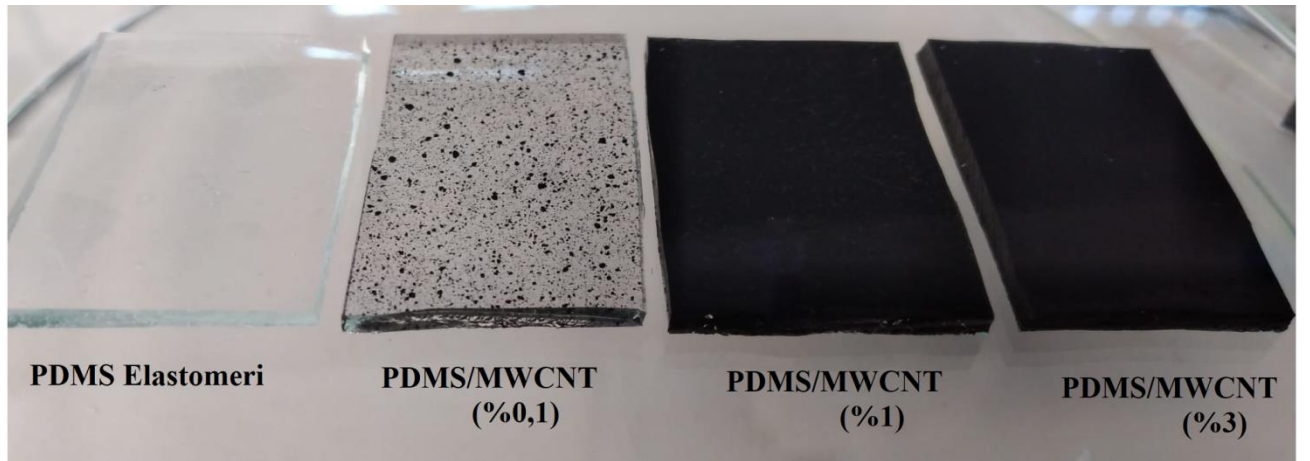
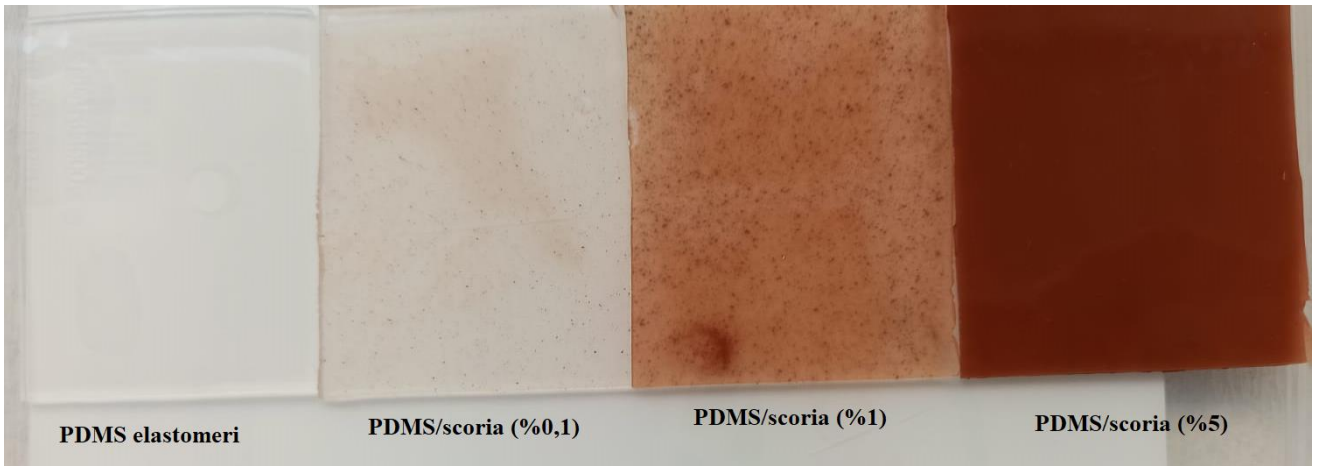
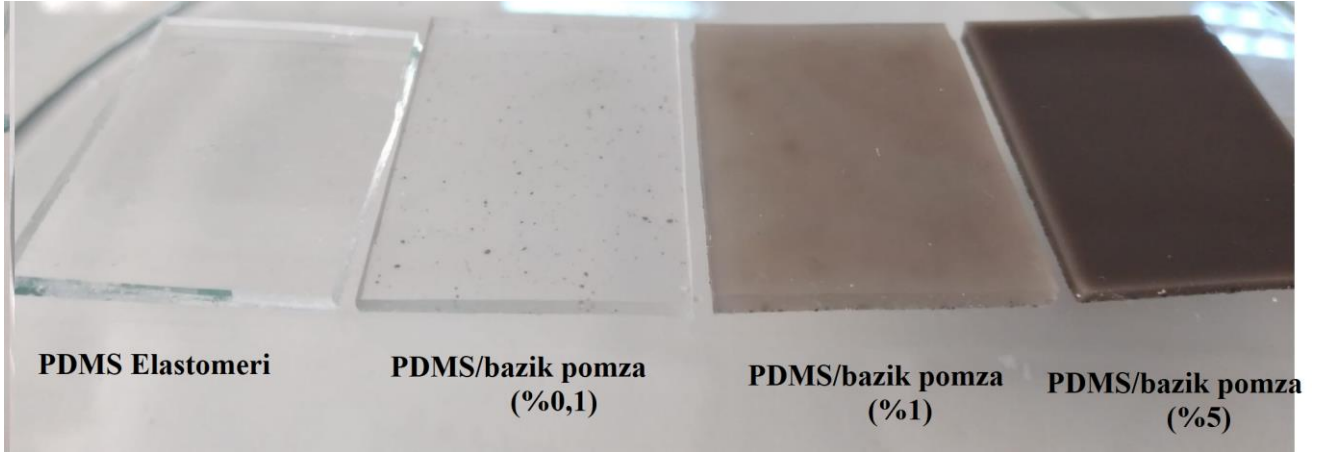
2.2.2.1 PDMS Elastomerlerinin Sentezi

Elastosil® RT 601 A/B den 18:2 kütle oranında alınıp karıştırıldıktan sonra 45 boyunca içinde baloncuk kalmaması için su trompu yardımıyla vakum yapıldı. Ardından 60°C de 1 saat etüvde bekletilerek elastomer oluşumu sağlandı. Bu PDMS elastomeri analizlerde referans olarak kullanıldı. Nanokompozitler için de aynı yöntem uygulanırken, Elastosil® RT 601 A/B den alınan toplam 20 gram içerisine Tablo 2.1'de verilen yüzdelerde bazik pomza, scoria, MWCNT tozları eklenerek örnekler hazırlandı. Tüm karışımlar referans elastomer gibi vakumlandıktan sonra 60°C de 1 saat etüvde bekletildi.

İkinci aşamada Elastosil® RT 601 A/B den 4,5:0,5 oranında alınıp karıştırıldı. Bu karışıma Tablo 2.2'de verilen yüzdelerde bazik pomza, scoria, MWCNT ve nanogümüş tozları eklenerek örnekler hazırlandı. Sonra 45 dakika su ile vakumlayıp 60°C de 1 saat etüvde ısıtarak elastomer elde edildi.

Tablo 2.1: Sentezlenen PDMS Elastomerleri (A/B:18/2).

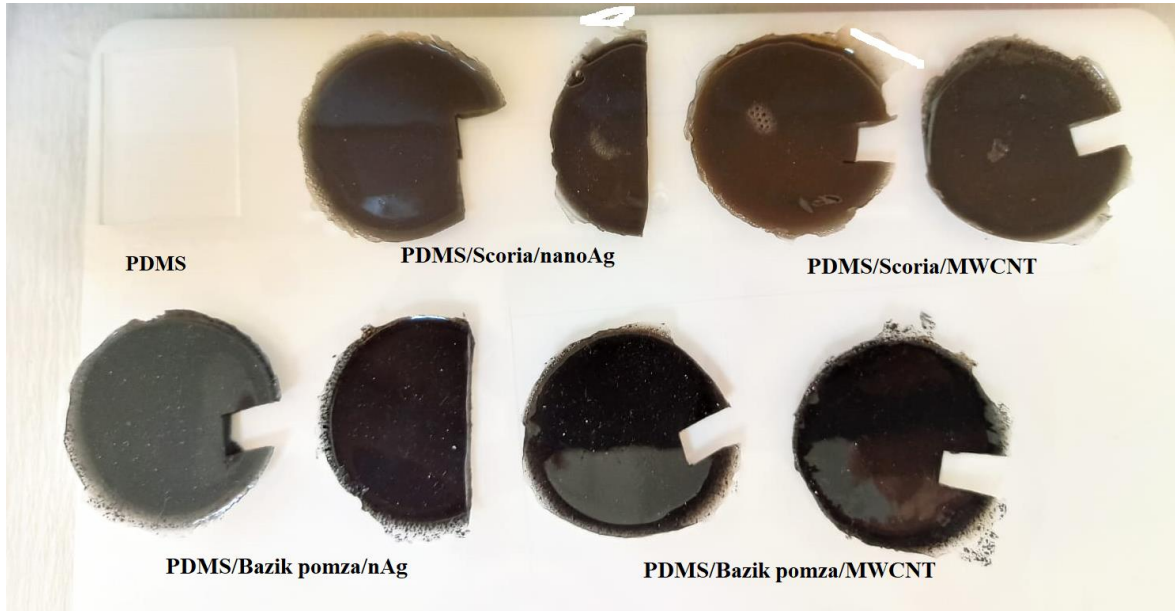
Elastomer	dolgu materyali yüzdesi(w/w)
PDMS/Bazik pomza	%0,10
	%1
	%5
PDMS/Scoria	%0,10
	%1
	%5
PDMS/MWCNT	%0,10
	%1
	%3



Şekil 2.4: PDMS elastomerleri (18:2 w/w).

Tablo 2.2: Sentezlenen PDMS Elastomerleri (A/B:4,5/0,5).

Elastomer	Dolgu materyali yüzdesi	MWCNT yüzdesi	Nano Ag yüzdesi
PDMS/Bazik pomza/nAg	% 1	-	% 1
	% 1	-	% 2
PDMS/Bazik pomza/MWCNT	% 1	% 1	-
	% 1	% 2	-
PDMS/Scoria/nAg	% 1	-	% 1
	% 1	-	% 2
PDMS/Scoria/MWCNT	% 1	% 1	-
	% 1	% 2	-



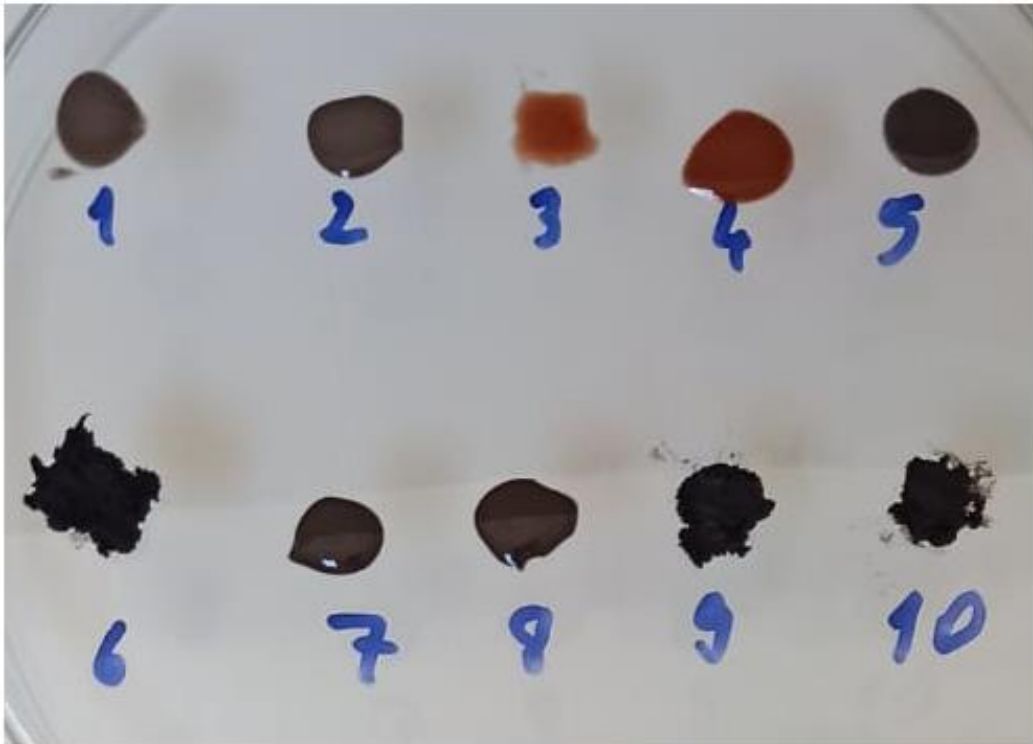
Şekil 2.5: PDMS elastomerleri (4,5:0,5 w/w).

2.2.2.2 Silikon yağı nanokompozitlerinin eldesi

Wacker® Siliconel AK 100 000 marka Silikon yağının 1 g' küçük plastik tüplere alınmış ve içerisine Tablo 2.3'te verilen oranlarda bazik pomza, scoria, nanogümüş ve MWCNT karıştırılmıştır.

Tablo 2.3:Silikon yağı ile hazırlanan karışımların bileşimi ve kütlece yüzdesi.

Numune	Bazik pomza yüzdesi	Scoria yüzdesi	Nano gümüş yüzdesi	MWCNT yüzdesi
Silikon yağı/bazik pomza(1)	25	-	-	-
Silikon yağı/bazik pomza(2)	50	-	-	-
Silikon yağı/scoria(3)	-	25	-	-
Silikon yağı/scoria(4)	-	50	-	-
Silikon yağı/nAg(5)	-	-	25	-
Silikon yağı/MWCNT(6)	-	-	-	10
Silikon yağı/Bazik pomza/nAg(7)	25	-	25	-
Silikon yağı/Scoria/nAg(8)	-	25	25	-
Silikon yağı/Bazik pomza/MWCNT(9)	25	-	-	10
Silikon yağı/Scoria/MWCNT(10)	-	25	-	10



Şekil 2.6: Tablo 2.3’deki karışımların resimleri.

2.2.3 Dolgu Materyallerinin, Silikon yağı karışımlarının ve PDMS Elastomelerinin Karakterizasyonu

2.2.3.1 SEM ve EDX analizleri

Uygulanan yöntem ile 1 mikronun altında tane boyutu elde edilmiş olan dolgu materyalleri bazik pomza ve scorianın SEM-EDX analizlerini yapmak için her bir toz ayrı ayrı çift tarafı yapışkanlı karbon bantlara yapıştırılmıştır. Sonra Au-Pd ile 30 saniye kaplanmış ve ZEISS EVO LS 10 taramalı elektron mikroskobu cihazına yerleştirilip SE dedektörü ile görüntüleri alınmıştır. Aynı örneklerin EDX elementel analizleri, SEM cihazına bağlı olan X ışını BSD dedektörü ile yapılmıştır.

2.2.3.2 Taneciklerin Boyut Analizi

Kullanılmak üzere hazırlanan farklı boyutlardaki pomza ve scoria tozlarının tane boyutları Malvern Zetasizer Nano Series Nano-S cihazı ile analiz edilmiştir. Bu amaçla yaklaşık 0,01 gram alınan tozlar 5 mL su içinde ultrasonik banyoda 10 dakika disperse edildikten sonra yaklaşık 1/10 oranında seyreltilmiş ve cam küvet kullanılarak boyutları ölçülmüştür.

2.2.3.3 FTIR Analizi

Dolgu materyalleri ve elastomerlerin infrared spektrumu analizlerini yapmak için Perkin Elmer Diamond 100 marka FTIR cihazı kullanılmıştır.

2.2.3.4 Termal İletkenlik Analizi

Çalışmada kullanılan KYOTO marka QTM-500 termal iletkenlik ölçümleri sabit olmayan ısıtıcı tel yöntemi ile ısı iletkenlik oranını ölçer. Prob (sensör) tek bir ısıtıcı tel ve ısıölçerden oluşur. Isıtıcıya sabit elektrik gücü(enerji) verildiğinde telin sıcaklığı üstel olarak ilerleyecektir. Sıcaklık artış eğrisi, zaman eksenini logaritmik ölçeklenmiş olarak aşağıdaki grafikteki gibi çizilir. Düşük iletkenliğe sahip bir numunede (yalıtkan gibi) grafiğin açısı büyüktür çünkü sıcaklık hızla artar ve yüksek iletkenliğe sahip bir numunede (metal gibi) açı küçülür. Başka bir deyişle, örneğin ısı iletkenlik oranı, logaritmik sıcaklık artış grafiğinin zaman eksenine göre açısı ile bulunabilir[28].

$$\lambda = \frac{q \cdot \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{4\pi(T_2 - T_1)} \quad (1.1)$$

λ :Örneğin termal iletkenlik hızı(W/mK)
q: Birim zamandaki ısı(W/m)
 t_1, t_2 : Ölçüm zamanı(s)
 T_1, T_2 : t_1, t_2 ölçüm zamanındaki sıcaklık(K)

2.2.3.5 Işık Geçirgenliği Analizi

Sentezlenen PDMS elastomerlerinin ışık geçirgenliğini ölçmek amacıyla filmler PerkinElmer Lambda 35 UV-Vis spektrofotometresine bağlanmış Labsphere RSA-PE-20 marka cihaz ile analiz edilmiştir. Bu cihaz, katı filmlerin Reflektans ve Transmittans ölçümlerini yapan spektrofotometreye takılabilen harici bir parçadır.

2.2.3.6 Elektriksel İletkenlik Analizi

Elastomerlerin ve silikon yağı karışımlarının elektriksel iletkenliklerini ölçmek amacıyla KEITHLEY marka sourcemeter cihazı kullanılmıştır. Cihazın + ve – uçları elastomerin iç kısmına 1 cm aralıkta batırılarak (+-)10 volt gerilim uygulanmış ve malzemeden geçen akım ölçülmüştür.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

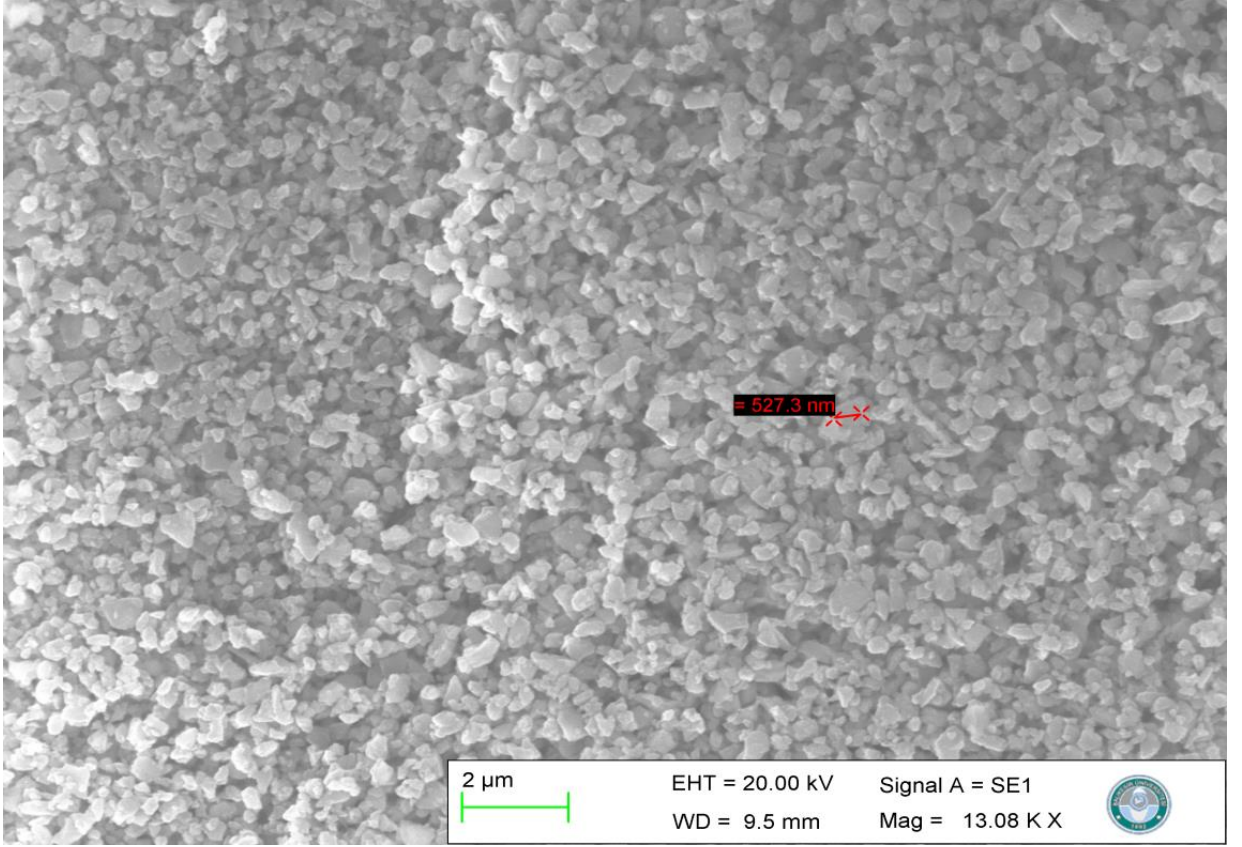
Bu kısımda farklı tane boyutlarındaki bazik pomza ile scoria dolgu materyallerinin, bu tozlar, nano gümüş ve çok duvarlı karbon nanotüp kullanılarak hazırlanmış PDMS elastomerlerinin ve silikon yağı karışımlarının yapılan analizlerinin sonuçları ayrıntılı olarak verilmiş ve tartışılmıştır.

3.1 SEM-EDX Analizi

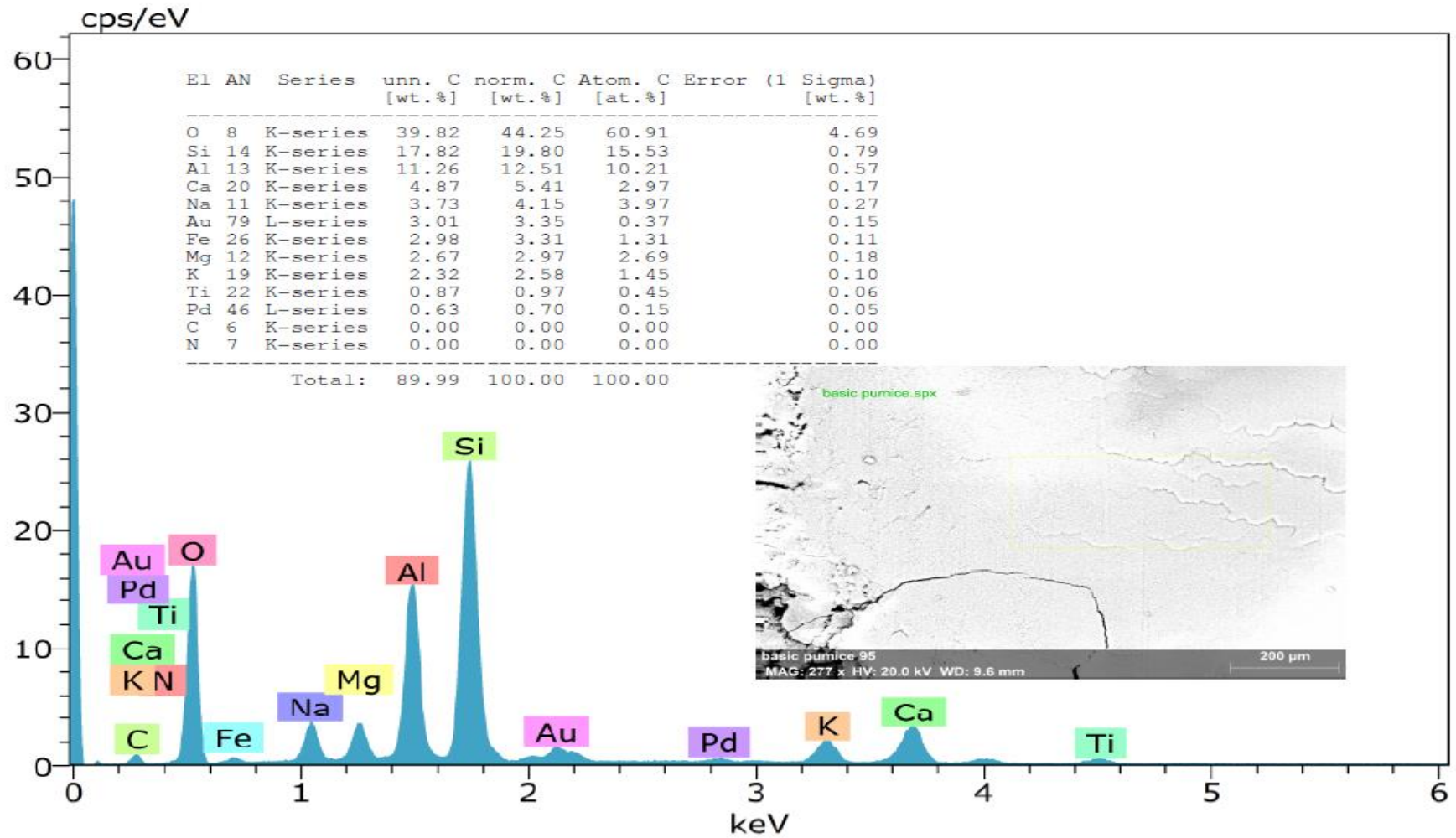
Pomza, içi boş, süngerimsi, volkanik püskürme sonucu ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dirençli olan camsı, gözenekli ve volkanik bir kayadır. Oluşumu sırasında, ani soğuma ve pomzanın içindeki gazların gitmesi nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arasında genellikle (özellikle mikro olanlar) bağlantısız oyuklar bulunur. Pomza üzerindeki gözenekler çoğunlukla birbirine bağlı değildir. Pomza üzerindeki gözenekler 1 mm'den küçüktür. Gözenekler düzensiz, küresel, yuvarlak ve uzatılmış borular gibidir[8]. Çalışmada kullanılan bazik pomza ile scoria dolgu materyallerinin SEM görüntüleri ve elementel analizleri bu bölümde verilmektedir.

3.1.1 Bazik Pomzanın EDX Analizi

Şekil 3.1'de bazik pomzanın 1 mikronun altındaki taneciklerinin SEM görüntüsü ve Şekil 3.4'de ise elemental analiz grafiği verilmektedir. SEM fotoğrafından pomzanın sahip olduğu gözenekli yapının, tabakaların kırılması sonucu tamamen kaybolduğu görülmektedir. Taneciklerin ortalama 1 mikronun altında olduğu, gözenek içermediği ve yaprak şeklinde ince oldukları görülmektedir. Şekil 3.1'deki EDX sonucu incelendiğinde içeriğinde bulunan atomların kütlece yüzdeleri en fazla bulunan elementler: %19,8 kütle oranına sahip silisyum, %12,1 oranında alüminyum ve bütün metal ve ametal elementlerinin oksit yapısında bulunmasından dolayı %44,25 oranında oksijendir. Bunları %5,41 ile kalsiyum, %4,15 ile sodyum, %3,31 ile demir, %2,97 ile magnezyum ve %2,58 ile potasyum izlemektedir. Son olarak ise %1'in altında az miktarlarda titanyum içermektedir.



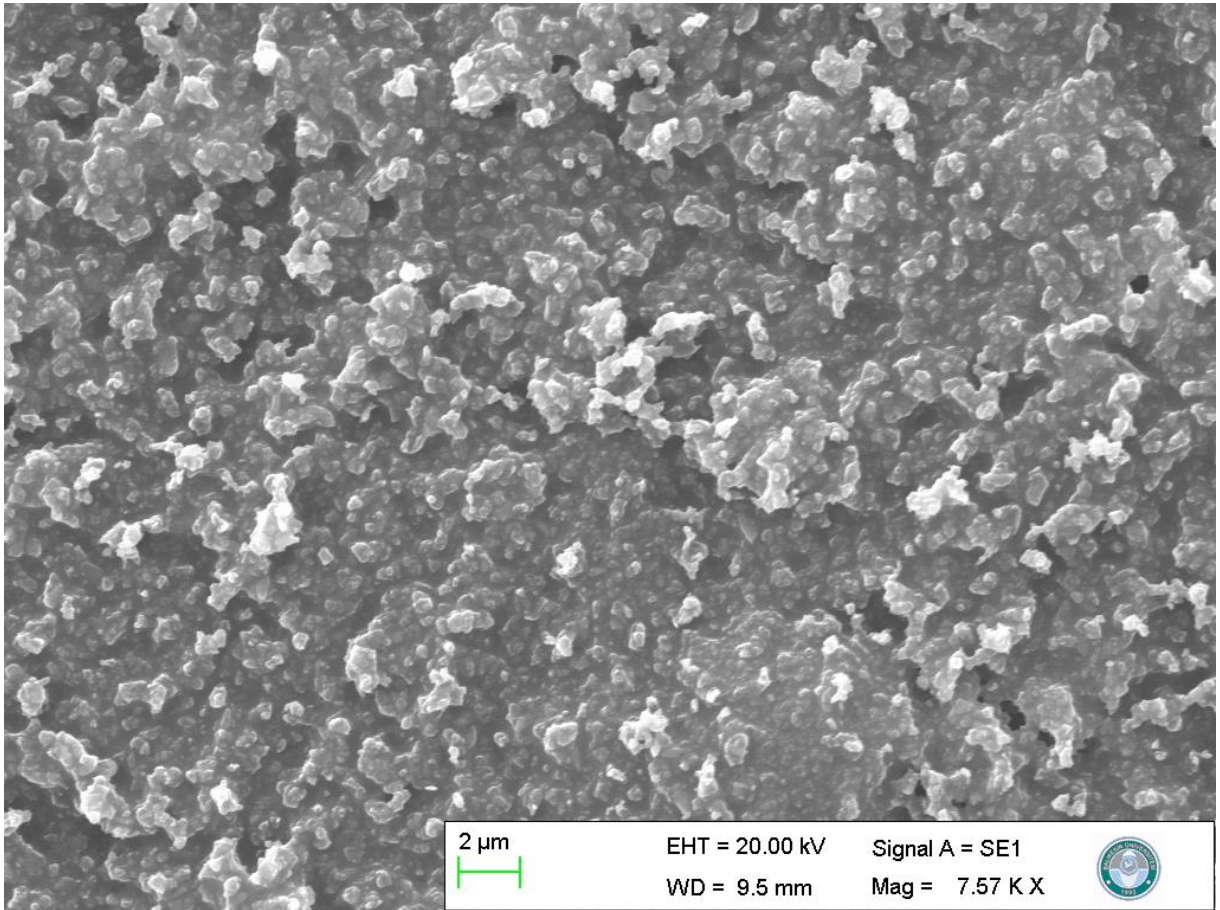
Şekil 3.1: Bazık pomzannın SEM görüntüsü.



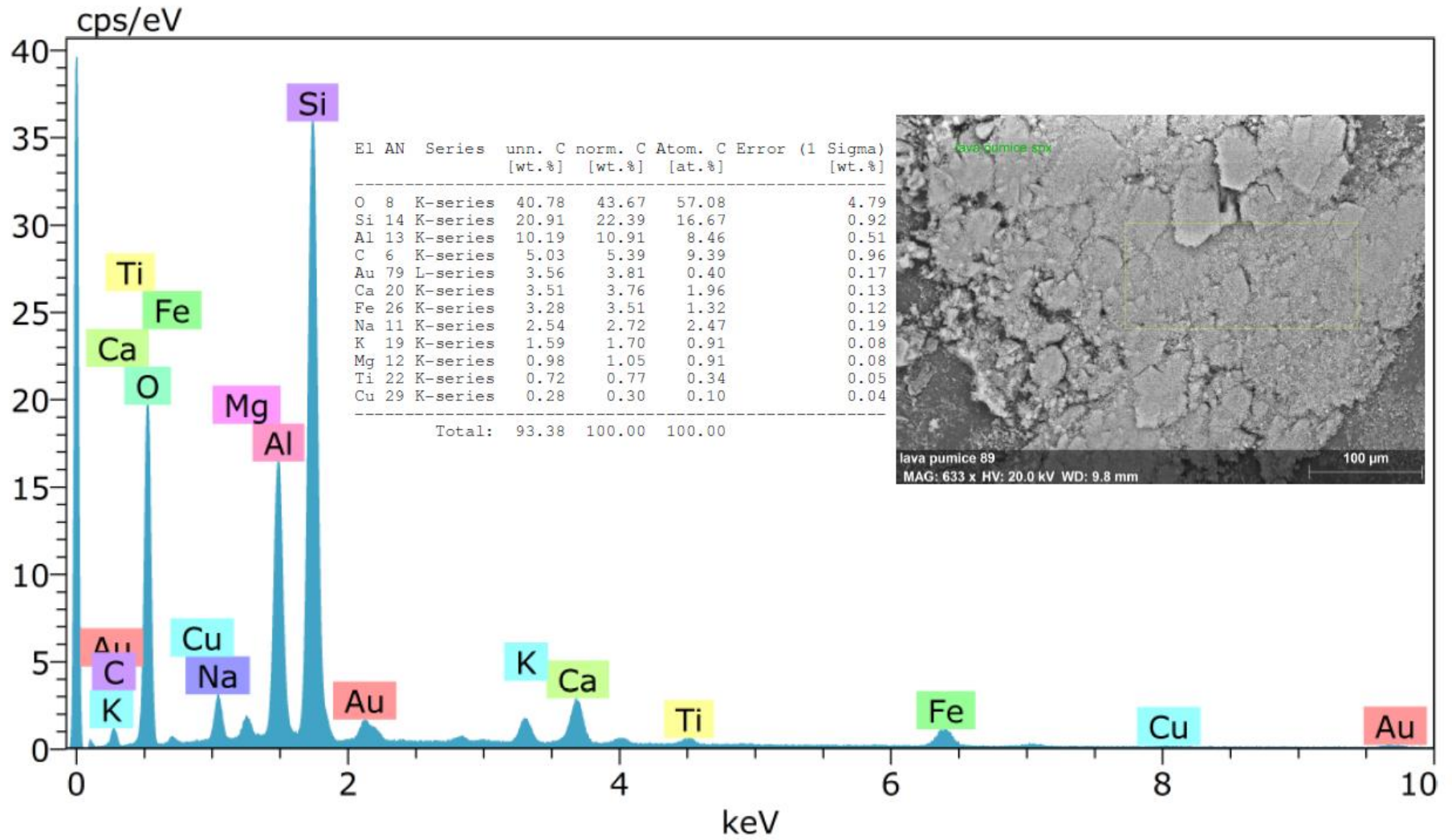
Şekil 3.2: Bazik pomzannın EDX analizi.

3.1.2 Scoriannın EDX Analizi

Şekil 3.3'de scoriannın 1 mikronun altındaki taneciklerinin SEM görüntüsü ve Şekil 3.4'de ise EDX analiz grafiği verilmektedir. SEM fotoğrafından taneciklerin ortalama 1 mikronun altında oldukları görülmektedir. EDX sonucu incelendiğinde içeriğinde bulunan atomların kütlece yüzdeleri en fazla bulunan elementler: %22,39 kütle oranına sahip silisyum, %10,91 oranında alüminyum ve bütün metal ve ametal elementlerinin oksit yapısında bulunmasından dolayı %43,67 oranında oksijendir. Bunları yüzde 5 ve altında oranlar ile kalsiyum, demir, sodyum, potasyum ve magnezyum izlemektedir. Son olarak ise %1'in altında az miktarlarda titanyum ve bakır içermektedir.



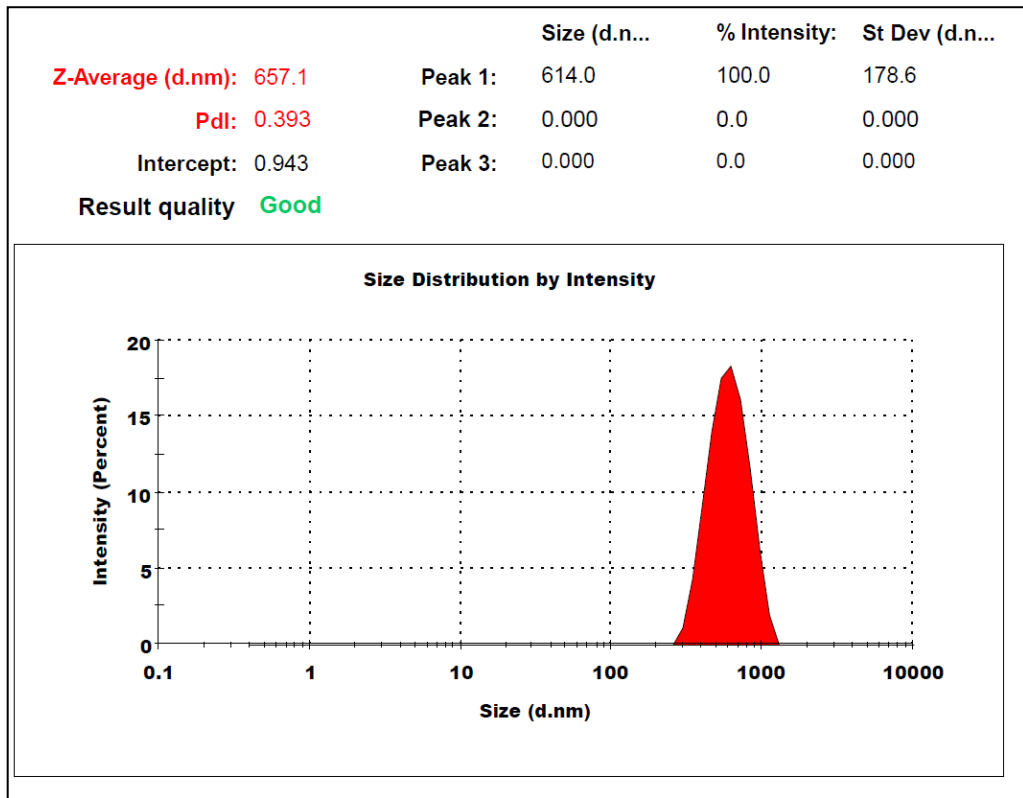
Şekil 3.3: Scoriannın SEM görüntüsü.



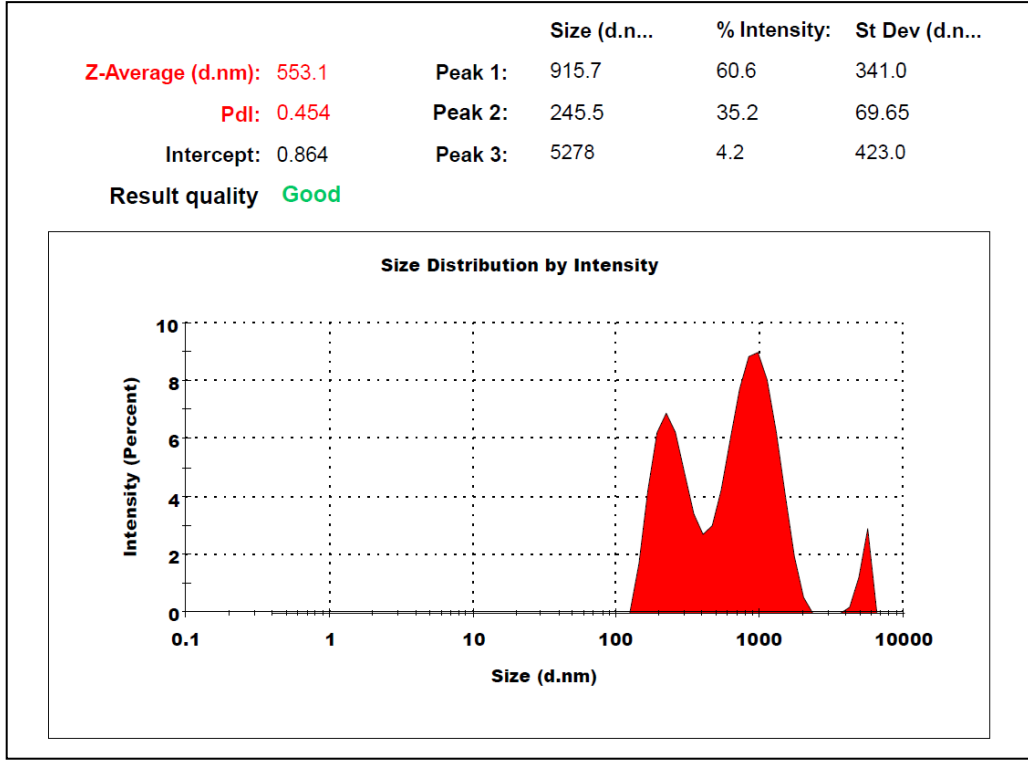
Şekil 3.4: Scorianın EDX analizi.

3.2 Tane Boyutu Analizi

Bazik pomza ve scorianın ölçülen tane boyutları ve nanozetasizer cihazından alınan analiz raporları Şekil 3.5ve 3.6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kullanılan bazik pomzanın ortalama tane boyutu 657,1 nm iken scorianın 553,1 nm olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre, volkanik kayaların öğütülüp su içinde bekletilerek 20 saat sonra çökmeyen kısımlarının santrifüj edilerek toplanması sonucu tane boyutu 1 mikronun altında partiküller elde edilmiştir. Yani kullanılan bu yöntem kolay öğütülen ve birbirine yapışma eğilimi olmayan bu kayaların nano boyuta indirilmesi için oldukça uygun, basit, maliyeti az olan bir yöntemdir. Öğütme süresinin uzatılması ve su içinde daha uzun beklenmesi tanecik boyutunu daha da küçültecektir.



Şekil 3.5: Bazik pomza tane boyutu analizi.

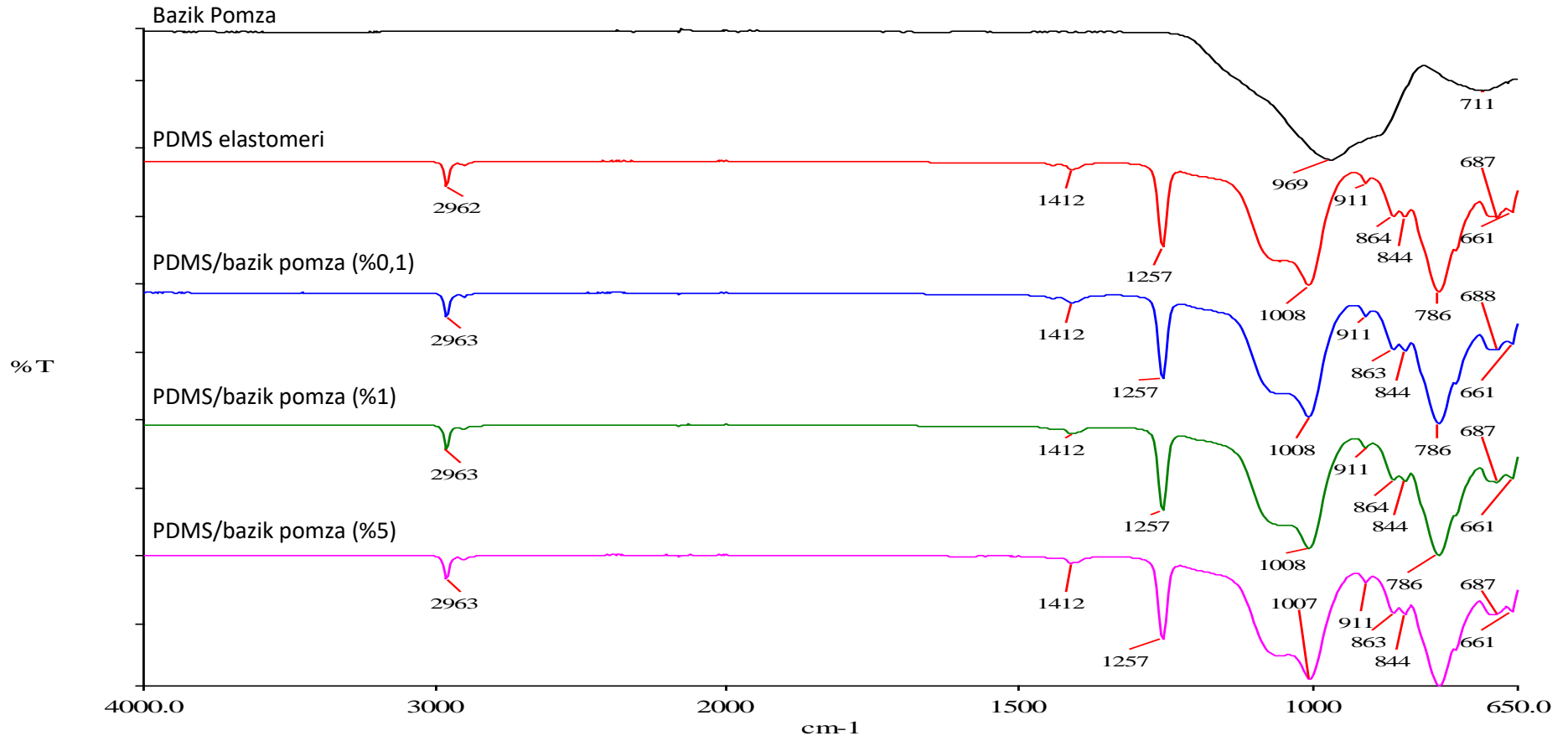


Şekil 3.6: Scoria tane boyutu analizi.

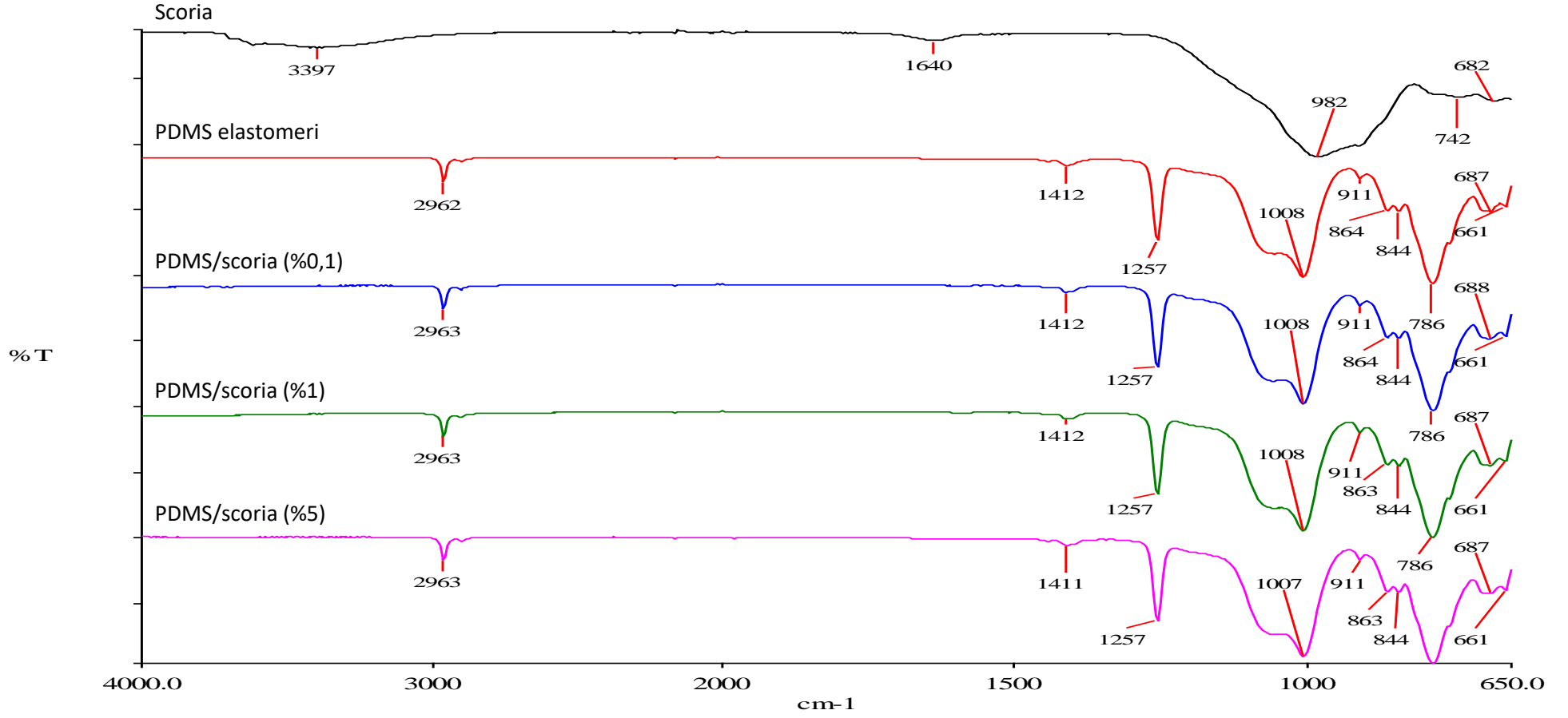
3.3 FTIR Analizi

Şekil 3.7-3.13 aralığında, çalışmada elde edilen tüm elastomerlerin ve dolgu materyallerinin infrared spektrumları verilmektedir. PDMS elastomerinin spektrumundaki 2962 cm^{-1} 'deki pik, Si-CH₃ bağındaki asimetrik CH₃ gerilmelerden; 1257 cm^{-1} 'deki pik, Si-CH₃ içindeki CH₃ deformasyonundan; 1008 cm^{-1} 'deki pik Si-O-Si gerilmesinden ve 786 cm^{-1} 'deki pik ise Si-CH₃ içindeki Si-C gerilmesinden kaynaklanmaktadır[29].

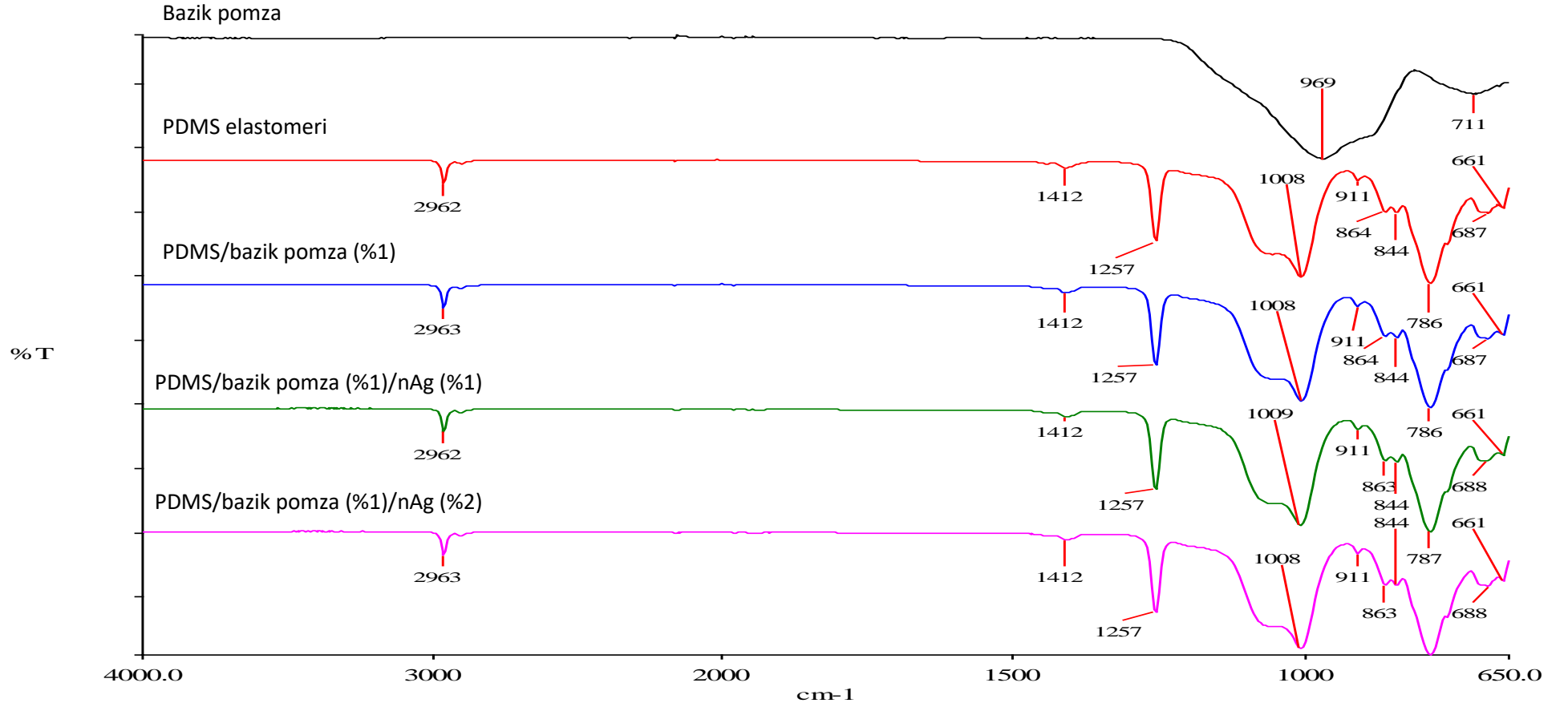
Yapılan tüm analizler PDMS elastomerine eklenen hiçbir dolgu materyalinin kimyasal olarak elastomerle etkileşime geçmediğini göstermektedir. Dolgu materyalleriyle doldurulmuş tüm PDMS elastomer spektrumlarında dolgu materyallerinin yüzdesi artsa dahi onlara ait pikler mevcut değildir. Bu durum elastomerin reaktif olmamasından kaynaklanmaktadır. PDMS doğası gereği oldukça kararlı ve kimyasal olarak inaktif bir malzemedir ve bu çalışmada kullanılan hiçbir dolgu materyali bu özelliğini bozmamıştır.



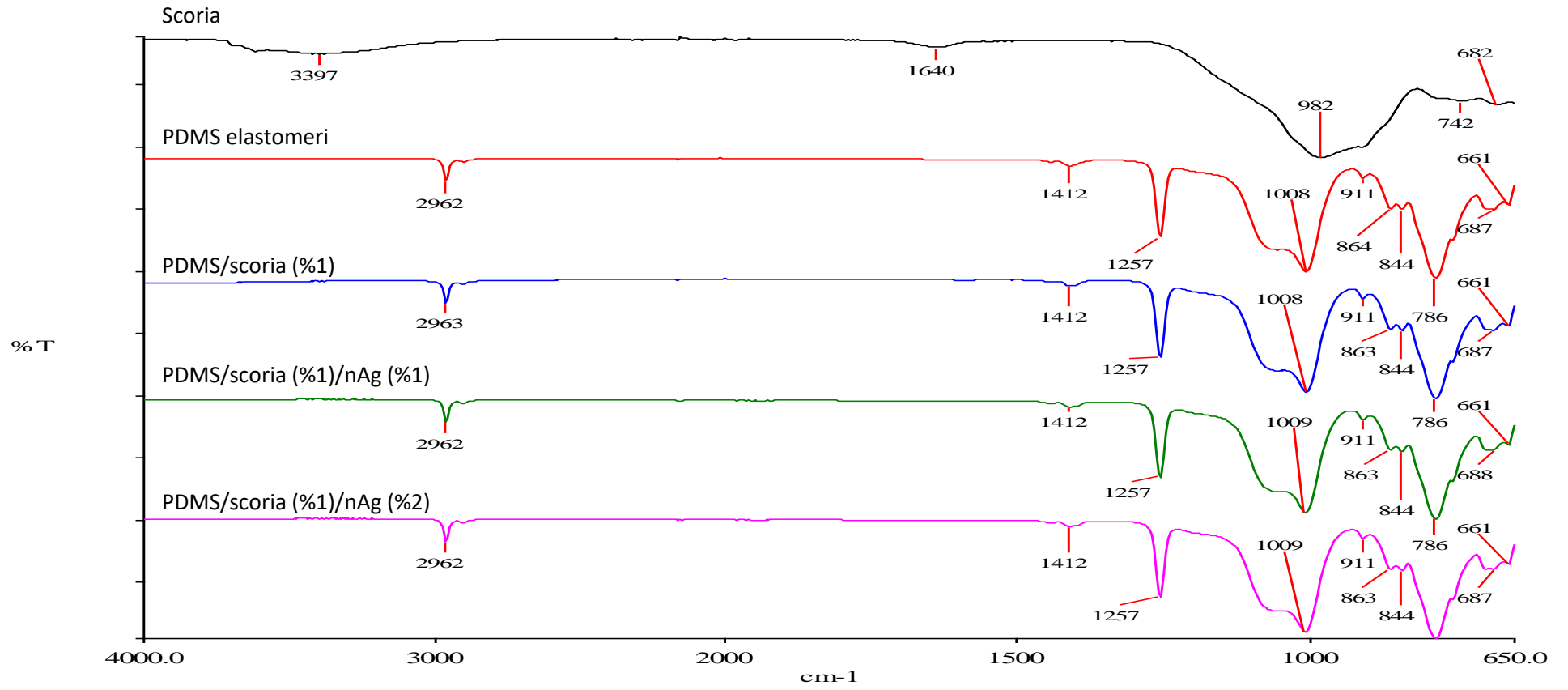
Şekil 3.7: PDMS elastomeri, bazik pomza ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin FTIR spektrumları.



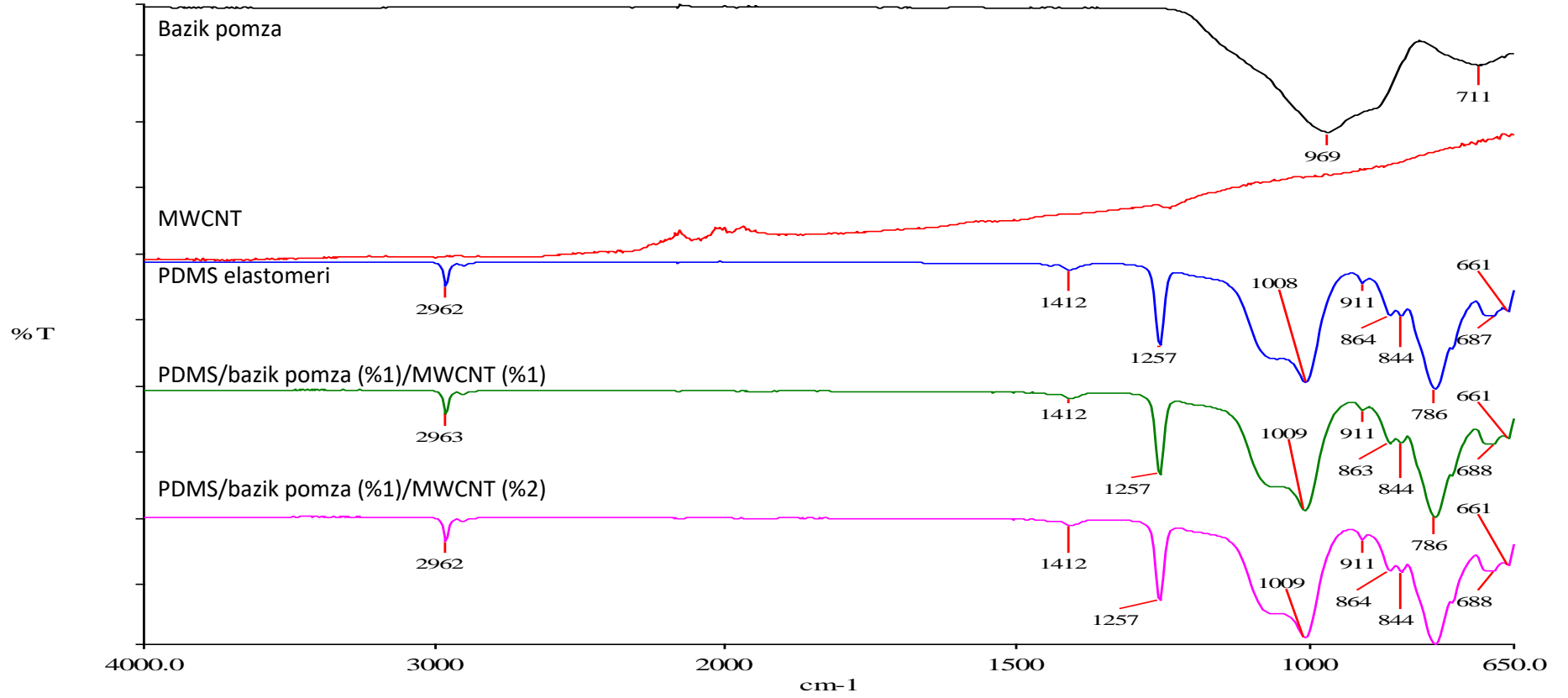
Şekil 3.8: PDMS elastomeri, scoria ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin FTIR spektrumları.



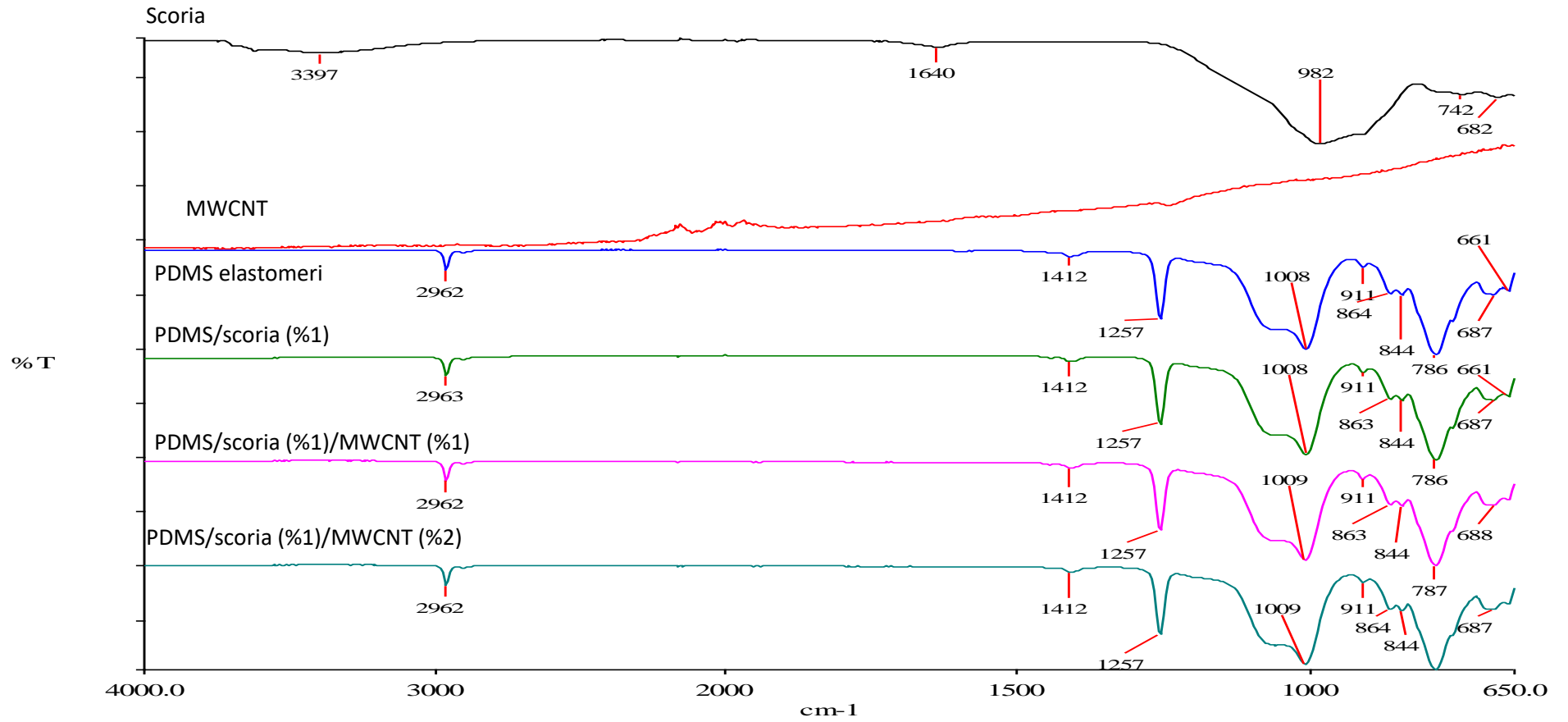
Şekil 3.9: PDMS elastomeri, bazik pomza ve bunlardan oluşan nanogümüş ilaveli nanokompozitlerin FTIR spektrumları.



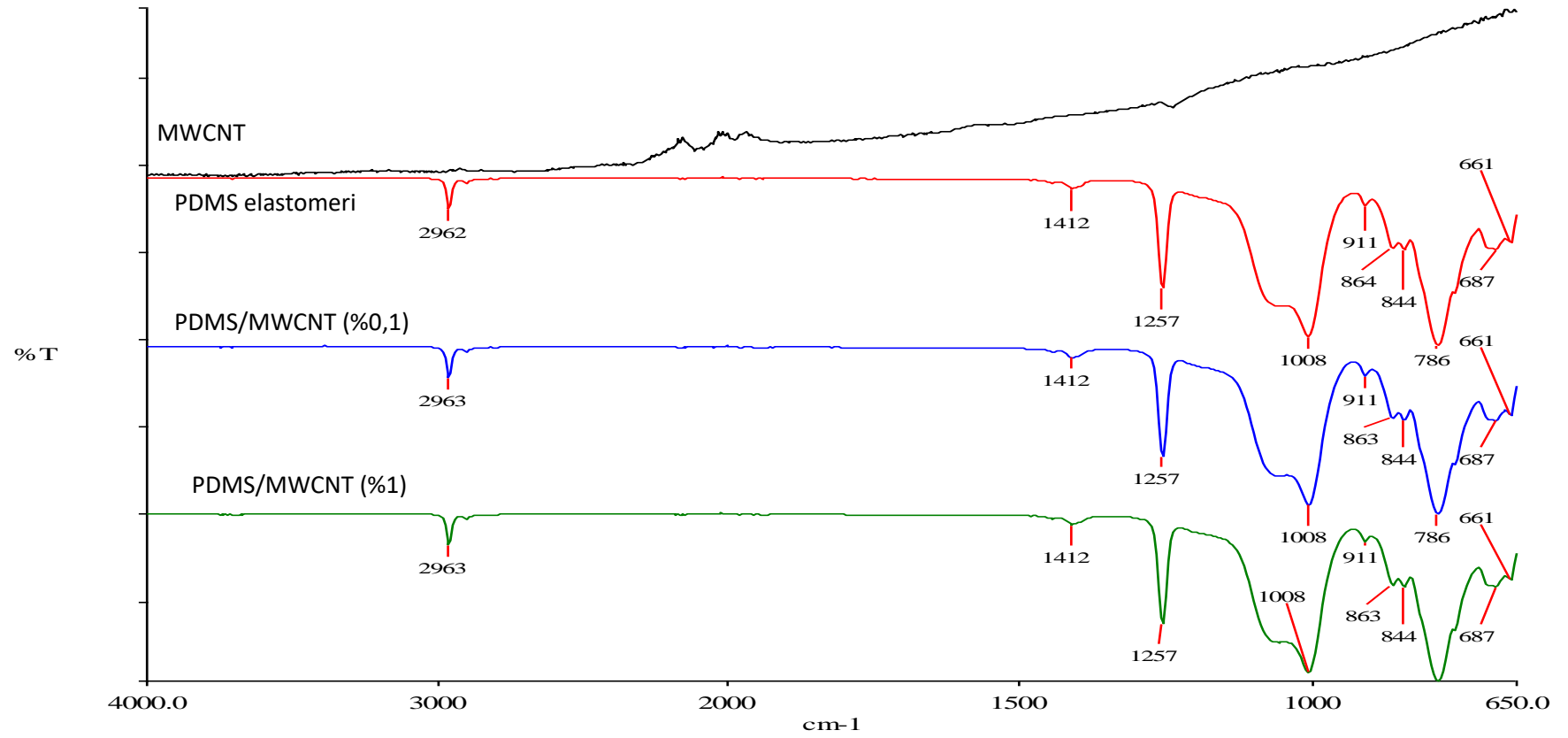
Şekil 3.10: PDMS elastomeri, scoria ve bunlardan oluşan nanogümüş ilaveli nanokompozitlerin FTIR spektrumları.



Şekil 3.11: PDMS elastomeri, bazik pomza, MWCNT ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin FTIR spektrumları.



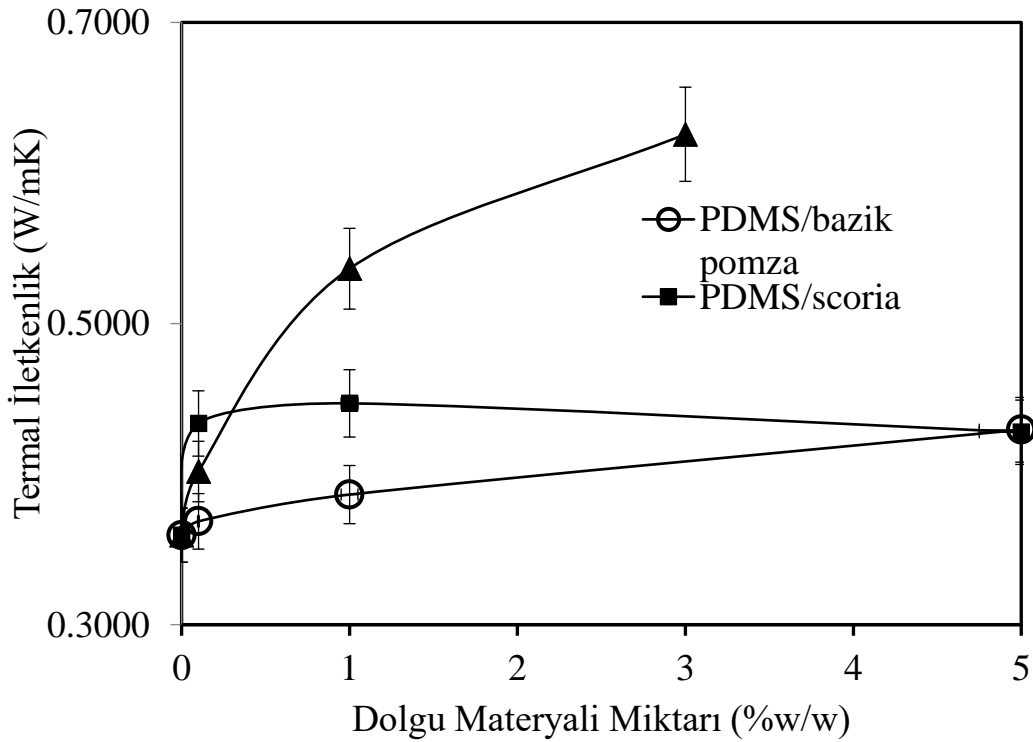
Şekil 3.12: PDMS elastomeri, scoria, MWCNT ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin FTIR spektrumları.



Şekil 3.13: PDMS elastomeri, MWCNT ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin FTIR spektrumları.

3.4 Termal İletkenlik Analizi

Şekil 3.14 ve tablo 3.1’de polidimetilsiloksan elastomerinin saf hali ve içine üç farklı kütlece yüzde oranlarında karıştırılmış bazik pomza, scoria ve MWCNT dolgu materyallerinin polimerin termal iletkenliğine etkileri verilmiştir. Cihazdan elde edilen sonuçlar bazik pomza ve scoria’nın elastomerin termal iletkenliğini çok az miktarda arttırdığını, dolgu materyali yüzdesinin artmasının bu artışı çok da etkilemediğini göstermiştir. Fakat çok duvarlı karbon nanotüp, eklenme oranına göre hızlı bir artış sergilemiştir. PDMS elastomeri yapılırken % 5 oranında eklenen MWCNT’nin yüzeyi homojen ve düzgün yapıya sahip olmadığı için bu yüzde değerinde cihazdan ölçüm alınamamıştır. Lineer silikon yağının elastomere dönüşürken oluşturduğu bağlanma şekilleri sebebiyle ısıyı iletmede oldukça zayıftır. Malzeme ısıl olarak yalıtkan bir malzemedir. İçine konulan dolgu materyallerinden bazik pomza ve scoria tozları ısıyı polimerlere göre daha iyi iletibildiklerinden, polimerin yalıtkan özelliğini çok az da olsa değiştirmişlerdir. Fakat çok duvarlı karbon nanotüp buradaki tüm materyallerden daha iyi bir ısıl iletkenidir. Bu nedenle elastomerin içinde bulunduğu noktalar arttıkça elastomerin yalıtkan özelliği de hızlı bir şekilde azalmaktadır. Isının, elastomer içinde yerleşerek birbirine temas eden partiküller üzerinden iletildiği tahmin edilmektedir.



Şekil 3.14: PDMS/bazik pomza, PDMS/scoria ve PDMS/MWCNT nanokompozitlerin farklı yüzdelere ölçülen termal iletkenlik grafiği.

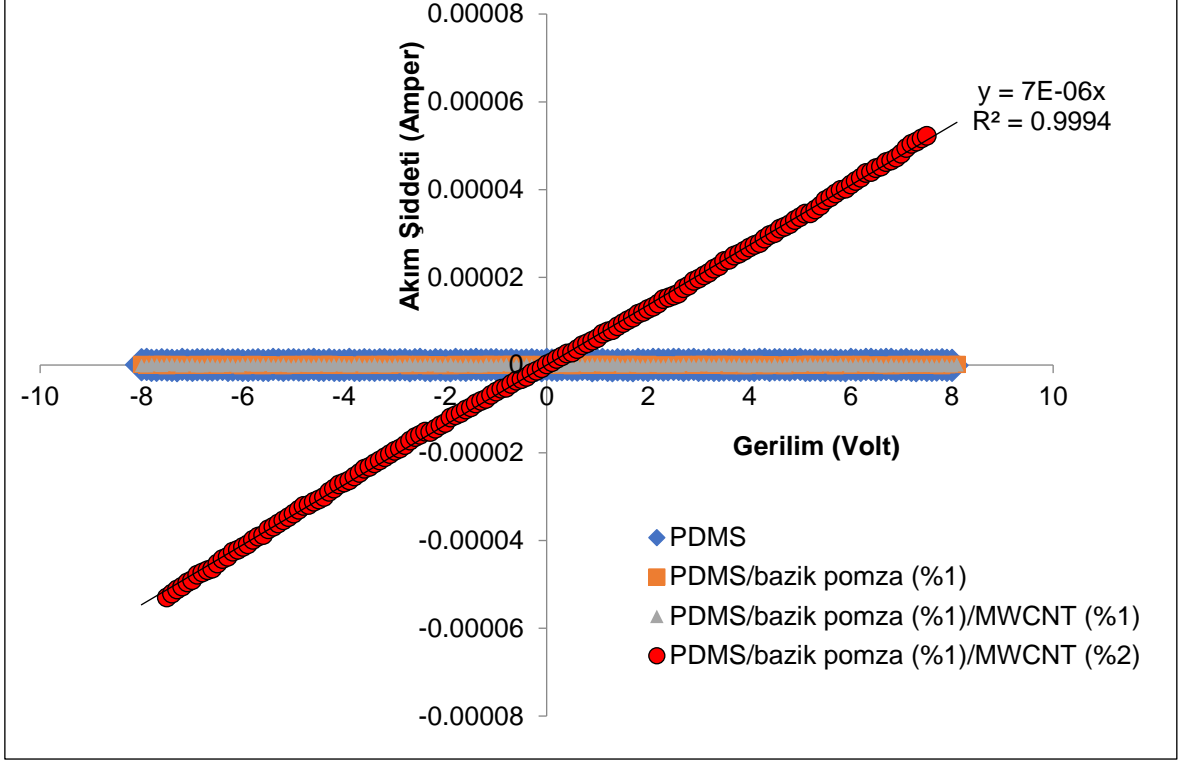
Tablo 3.1: PDMS/bazik pomza, PDMS/scoria ve PDMS/MWCNT nanokompozitlerin farklı yüzdelerde ölçülen termal iletkenlik analiz verileri.

Numune	Dolgu materyali yüzdesi (W/W)	Termal İletkenlik (W/mK)
PDMS/bazik pomza	0	0.3594
	0,1	0.3686
	1	0.3864
	5	0.4294
PDMS/scoria	0	0.3594
	0,1	0.4336
	1	0.4470
	5	0.4278
PDMS/MWCNT	0	0.3594
	0,1	0.4017
	1	0.5364
	3	0.6257

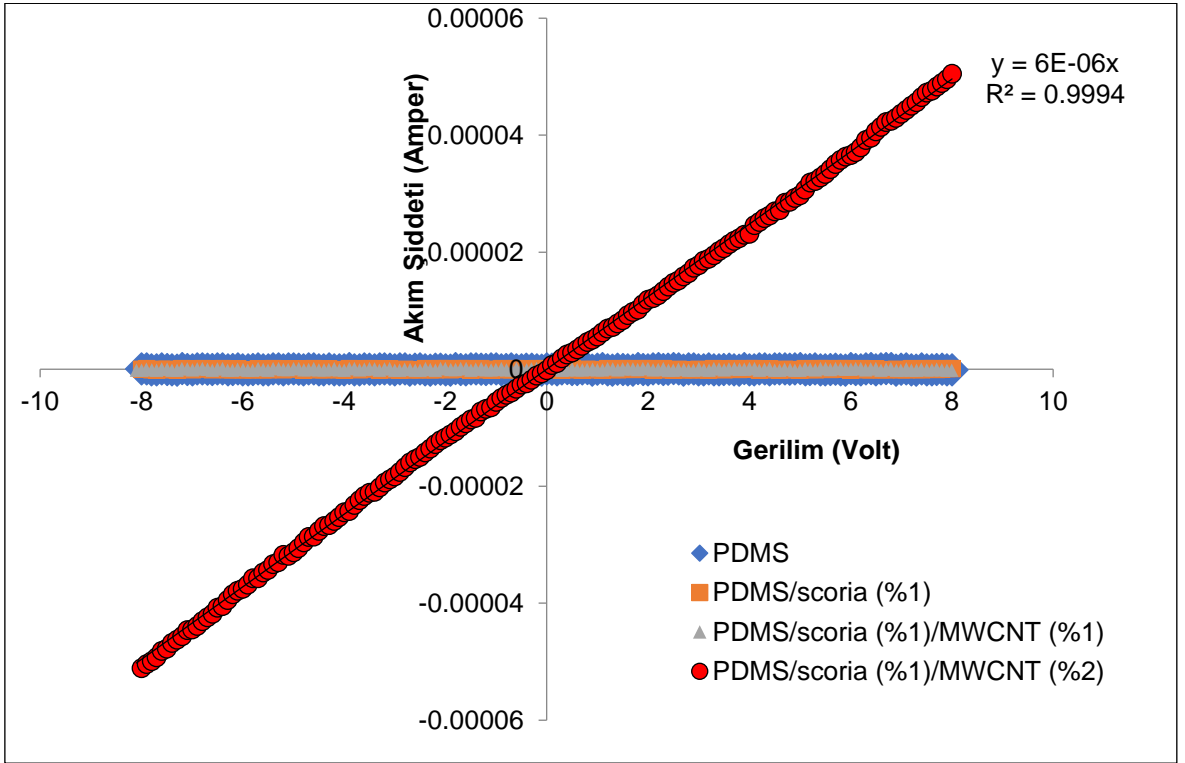
3.5 Elektriksel İletkenlik Analizi

Şekil 3.15-3.21 aralığında saf PDMS elastomeri, dolgu materyalleri eklenmiş PDMS elastomerleri ve aynı dolgu materyalleri eklenmiş lineer silikon yağı karışımlarının belli gerilim altında ölçülmüş akım şiddeti grafikleri verilmiştir.

Şekil 3.15 ve 3.16’da görüldüğü gibi saf elastomer elektriksel olarak yalıtkan bir malzemeyken, içerisine eklenen %1 oranındaki bazik pomza ve scoria tozları da bu yalıtkanlığı değiştirmemiştir. Fakat eklenen MWCNT, eklenme miktarına göre elastomeri iletken hale getirmiştir. %1 oranında eklenmesi çok anlamlı bir değişiklik yapmazken, %2 oranına çıkılması iletkenliğini arttırmıştır.

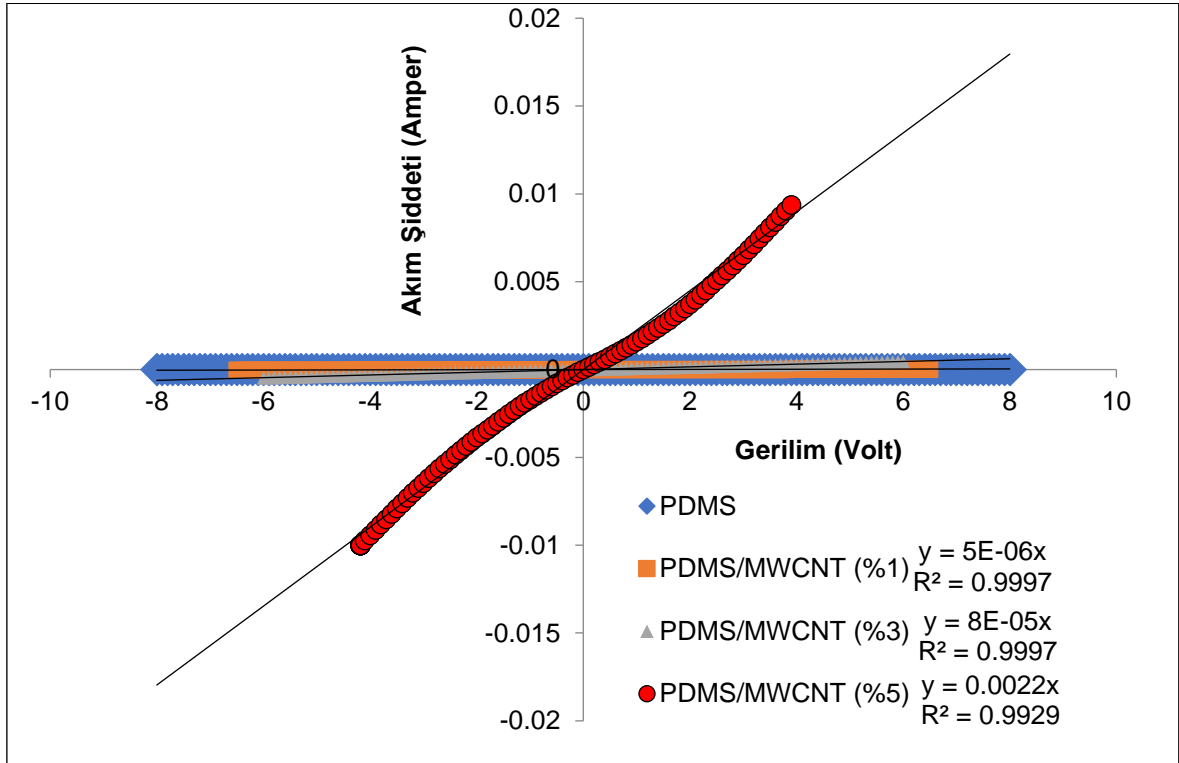


Şekil 3.15: PDMS elastomeri ve farklı yüzdelerdeki PDMS/bazık pomza nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik grafiği.



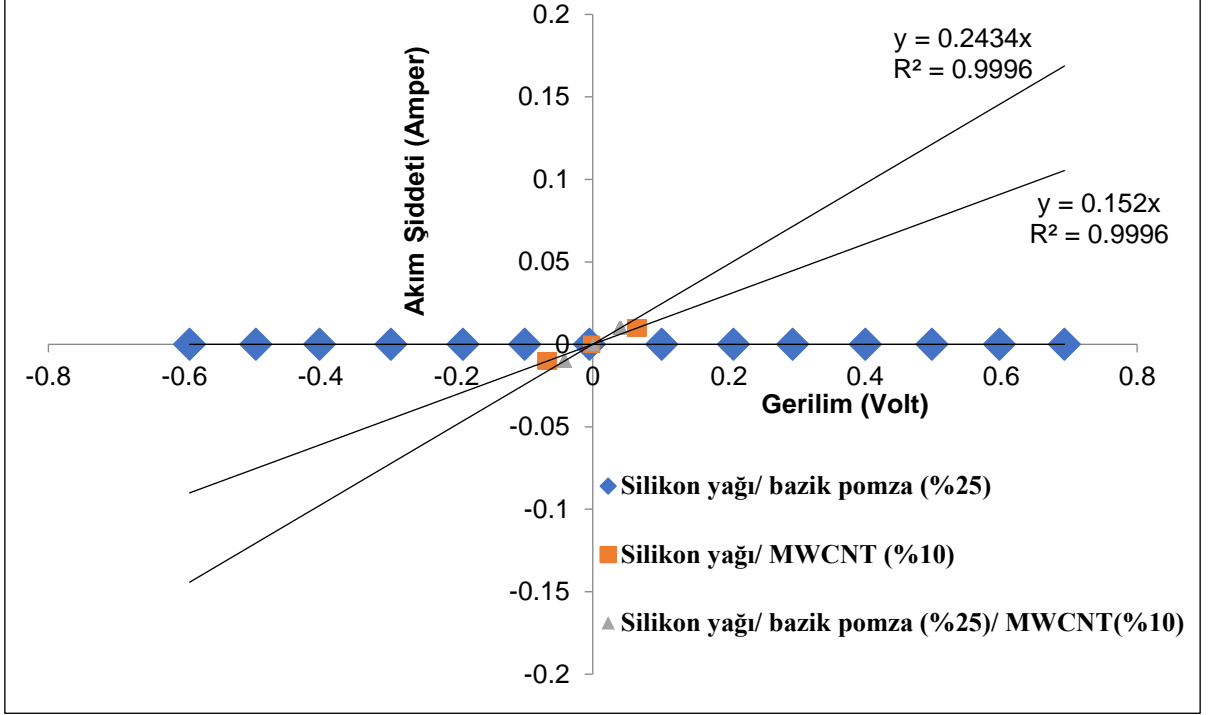
Şekil 3.16: PDMS elastomeri ve farklı yüzdelerdeki PDMS/scoria nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik grafiği.

Şekil 3.17’de görüldüğü gibi, yalıtkan olan elastomerin içine eklenen çok duvarlı karbon nanotüp miktarı arttıkça elektriksel iletkenlik de hızla artmaktadır. %5 oranında elastomerin öziletkenliği 0,0022 S/cm olarak hesaplanmıştır. Bu değer literatürde %4’lük PDMS/grafen’den oldukça yüksek bir değerdir.

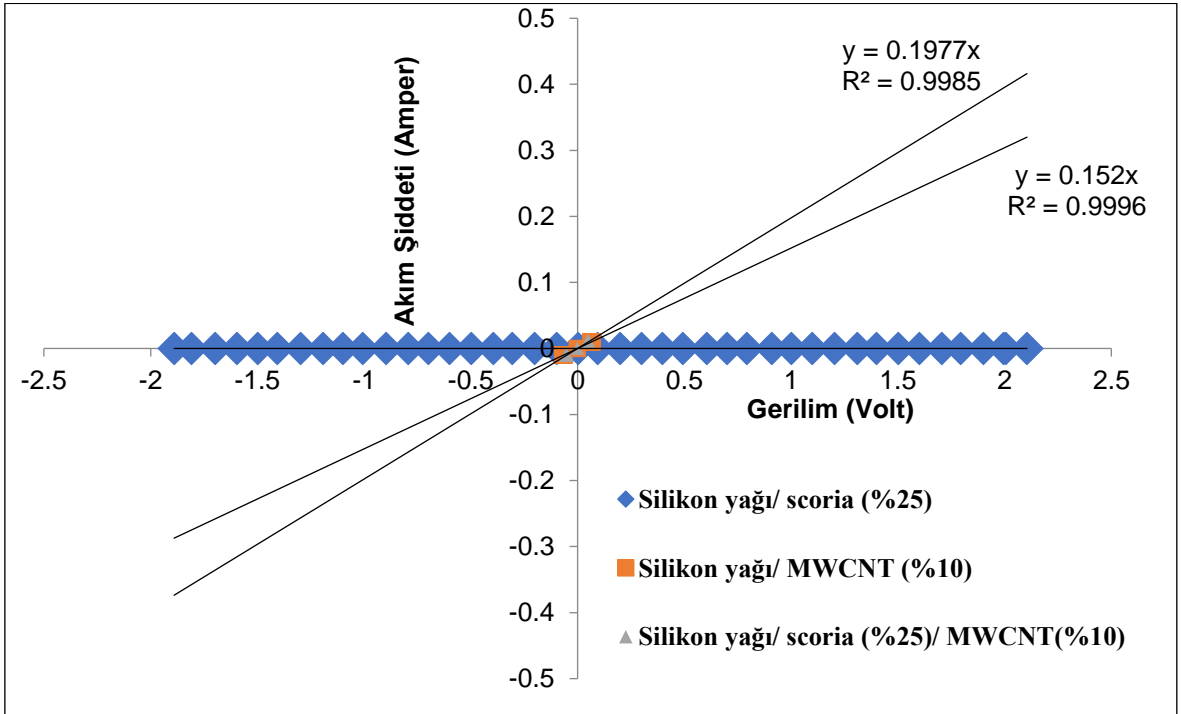


Şekil 3.17: PDMS elastomeri ve farklı yüzdelerdeki PDMS/MWCNT nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik grafiği.

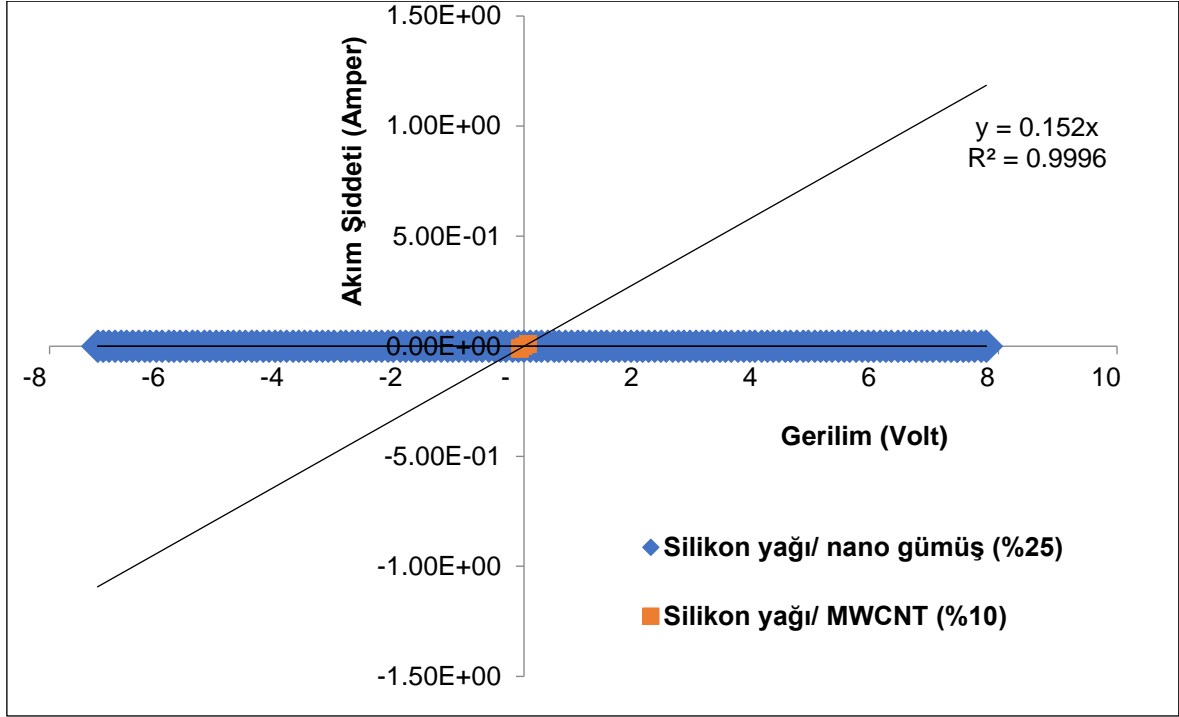
Şekil 3.18-3.20’de ise elastomer yerine direkt silikon yağının kendisiyle oluşturulmuş karışımların gerilim-akım grafikleri verilmiştir. Şekil 3.18 ve 3.19’dan silikon yağı-bazik pomza ve silikon yağı-scoria karışımlarının yalıtkan olduğu, silikon yağı-MWCNT’nin ise iletken olduğu görülmektedir. Elastomer yaparken % 5 MWCNT ilavesi homojen olmayan bir yüzeye sahip olduğundan ve karıştırması zor hale geldiğinden, elastomere daha fazla MWCNT eklenememiştir. Fakat silikon yağı ile %10 oranında yani iki katına kadar karıştırma yapılabilmektedir. Bu nedenle silikon yağı-MWCNT karışımlarının iletkenliği elastomere göre oldukça yüksek çıkmıştır. Elastomerinki 0,0022 S/cm iken, siliko yağıninki 0,152 S/cm olarak hesaplanmıştır. Silikon yağı-MWCNT karışımlarına %25 oranında bazik pomza ve scoria dolgu materyalleri eklendiğinde ise iletkenlik yine bir miktar artmıştır. Bunun sebebinin dolgu materyallerinin MWCNT iplikleri arasına girip onların birbirlerine olan etkileşimlerini arttırdığı düşünülmektedir.



Şekil 3.18: Silikon yağı ve farklı yüzdelerdeki bazik pomza-MWCNT nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik grafiği.



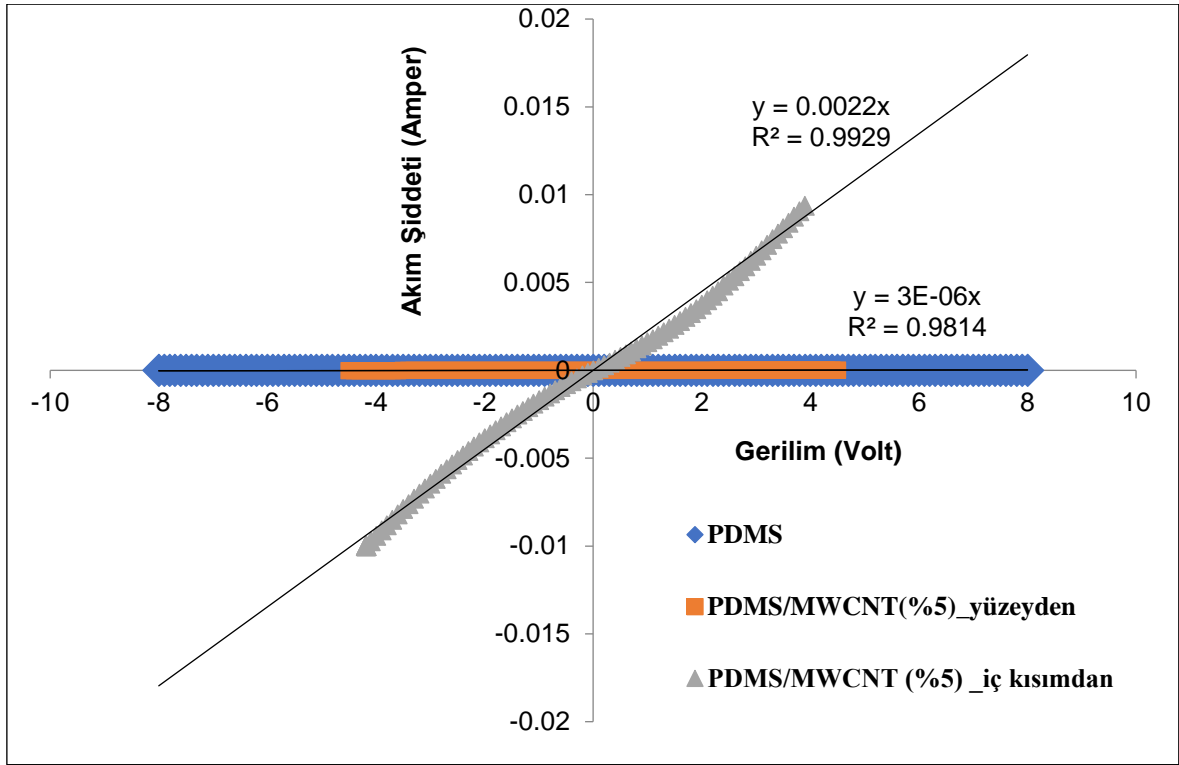
Şekil 3.19: Silikon yağı ve farklı yüzdelerdeki scoria-MWCNT nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik grafiği.



Şekil 3.20: Silikon yağı/nano gümüş ve silikon yağı/MWCNT karışımlarının elektriksel iletkenlik grafiği.

Şekil 3.20’de silikon yağına MWCNT ve nano gümüş ilavesinin elektriksel iletkenliğe etkisi karşılaştırılmıştır. Gümüş iletken bir metal olmasına rağmen nano boyutta oldukça yüksek oranda eklenmesi halinde bile elektriksel iletkenliği değiştirmemiş, malzemenin yalıtkan olarak kalmasını sağlamıştır.

Şekil 3.21’de ise PDMS/MWCNT elastomerlerinin yüzeyinden ve iç kısmından yapılan analizler karşılaştırılmıştır. Tanecikler elastomerin iç kısmına hapsedikleri için yüzde 5’den düşük miktarlarda yüzey tamamen yalıtkan iken, yüzde 5’lik oranda az da olsa bir iletkenlik mevcuttur.



Şekil 3.21: PDMS/MWCNT (%5) oranına sahip nanokompozitinin hem yüzeyden hem de içeri batırarak ölçülen elektriksel iletkenlik grafiği.

Tablo 3.2: PDMS/bazık pomza, PDMS/scoria, PDMS/nanogümüş ve PDMS/MWCNT elastomerlerinin elektriksel iletkenlik analiz verileri.

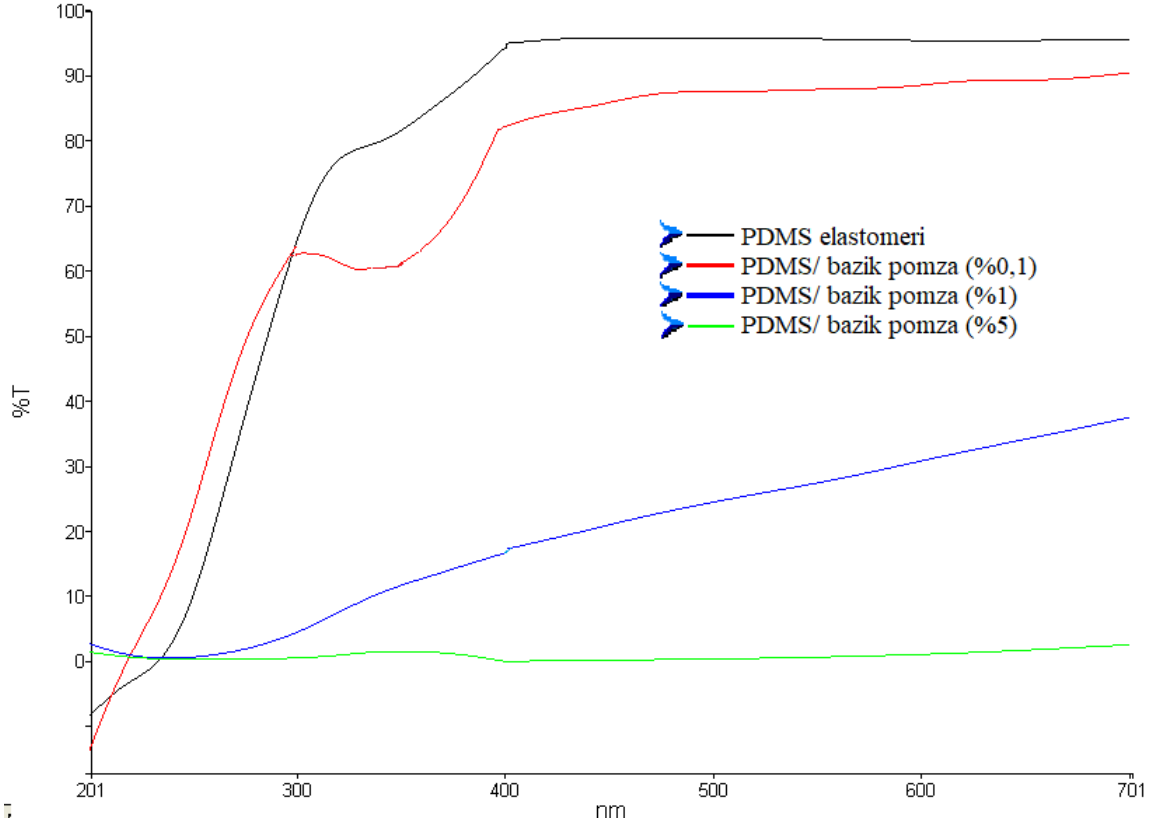
Numune	Elektriksel İletkenlik (S/cm)
PDMS	-
PDMS/scoria(% 1)	-
PDMS/scoria(% 1)/MWCNT(% 1)	-
PDMS/scoria(% 1)/MWCNT(% 2)	6.10^{-6}
PDMS/pomza(% 1)	-
PDMS/pomza(% 1)/MWCNT(% 1)	-
PDMS/pomza(% 1)/MWCNT(% 2)	7.10^{-6}
PDMS/MWCNT(% 1)	5.10^{-6}
PDMS/MWCNT(% 1)	8.10^{-5}
PDMS/MWCNT(% 1)	$2,2.10^{-3}$

Tablo 3.3: Silikon yağı/bazik pomza, Silikon yağı /scoria, Silikon yağı /nano gümüş ve Silikon yağı /MWCNT nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik analiz verileri.

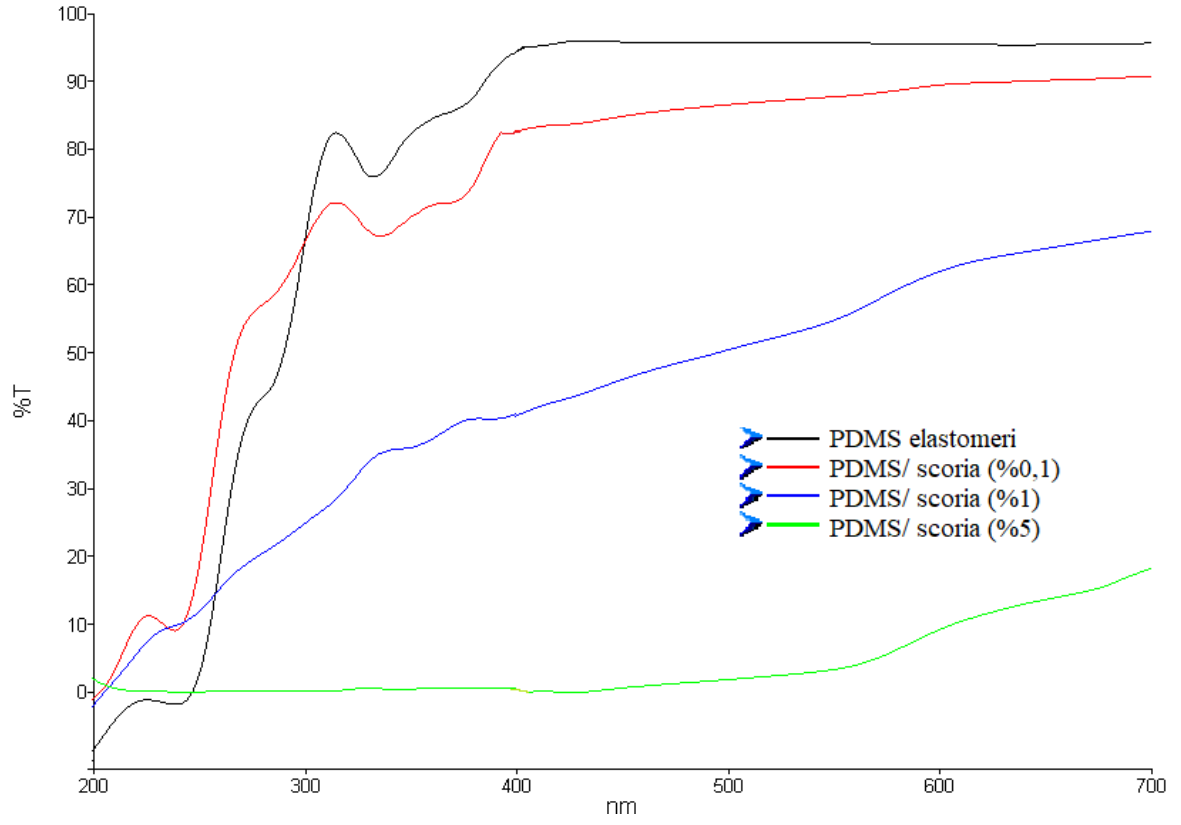
Numune	Elektriksel İletkenlik (S/cm)
Silicon yağı/pomza(%25)	-
Silicon yağı/ MWCNT(%10)	0,152
Silicon yağı/ pomza(%25)/MWCNT(%10)	0,243
Silicon yağı/scoria(%25)	-
Silicon yağı/ MWCNT(%10)	0,152
Silicon yağı/scoria(%25)/MWCNT(%10)	0,197

3.6 Işık Geçirgenliği Analizi

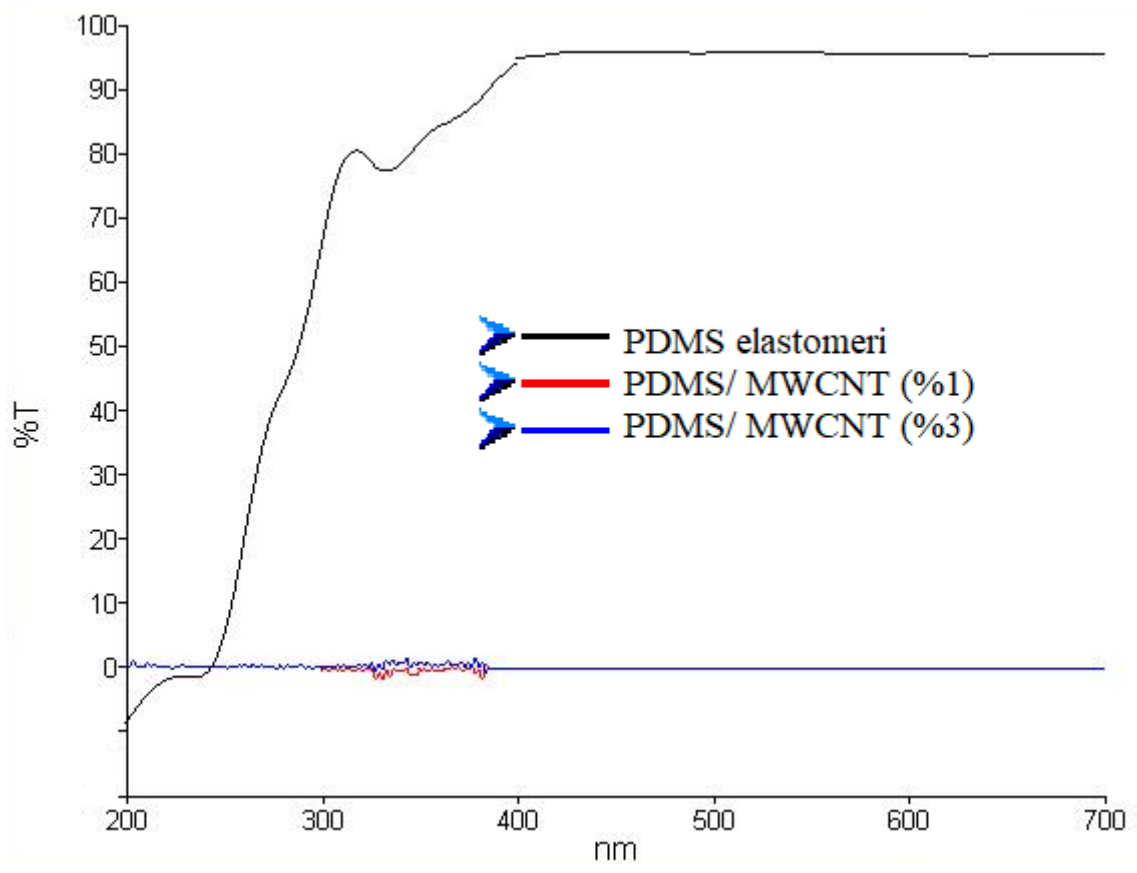
Şekil 3.22-3.24 aralığında PDMS elastomerlerinin ışık geçirgenliği verilirken, Şekil 3.25 ve 3.26'da absorbans grafikleri verilmiştir. PDMS elastomerinin saf hali görünür bölgede 700-400 nm aralığında ışığı %100'e yakın bir oranda geçirirken, UV bölgede 400-200 nm aralığında hızla düşerek sıfıra ulaşmaktadır. Bu elastomer görünür bölgede transparan ve UV bölgedeki ışık önleyicisi bir özelliكتedir. İçine koyduğumuz dolgu malzemelerinden bazik pomza ve scoria yaklaşık aynı oranlarda elastomerin artan miktarla birlikte ışık geçirgenliğini azaltmış ve transparan özelliğini % 5 oranında tamamen bitirmişlerdir. Eklenen MWCNT ise her yüzdede hiç ışık geçmemesine sebep olmuştur. Absorbans değerlerinde ise önemli bir değişiklik olmamıştır.



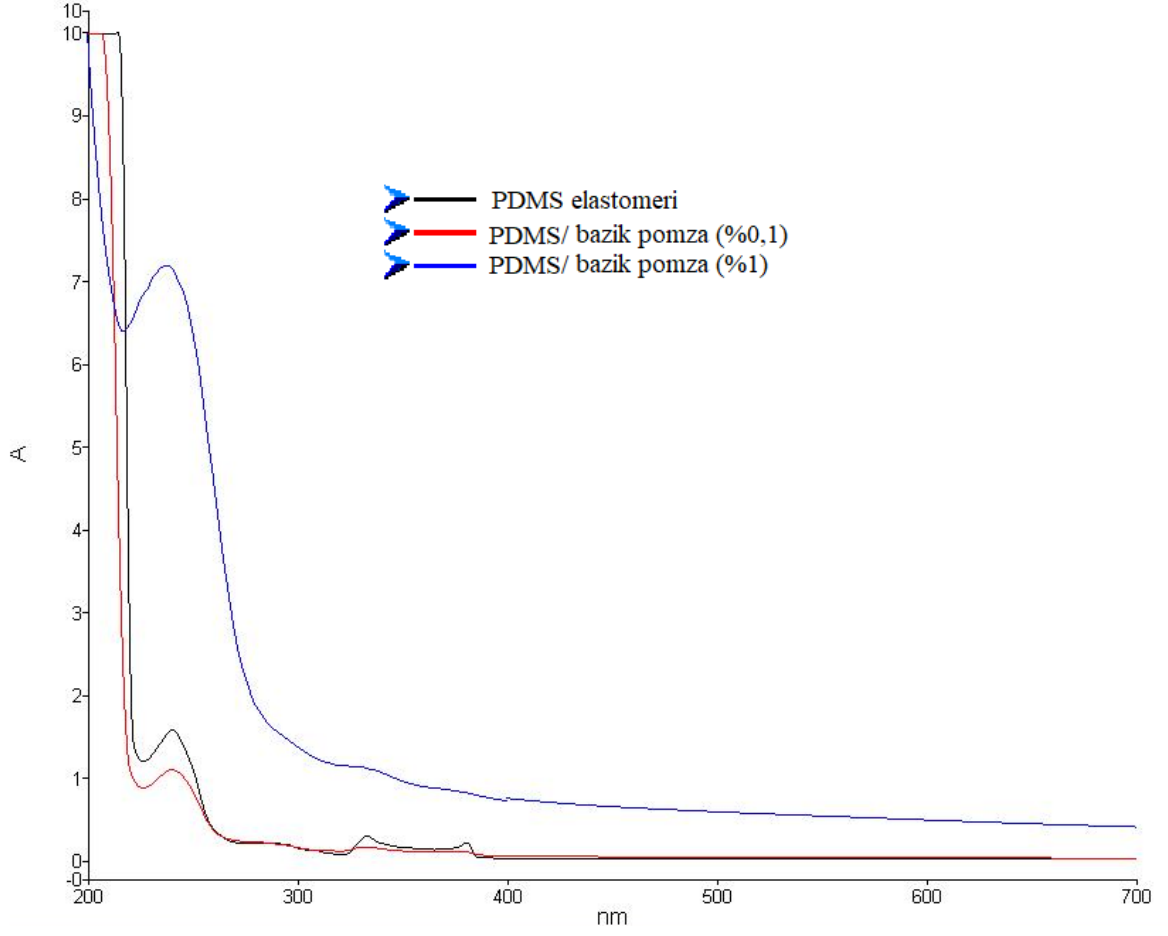
Şekil 3.22: PDMS elastomeri, bazik pomza ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin ışık geçirgenliği grafikleri.



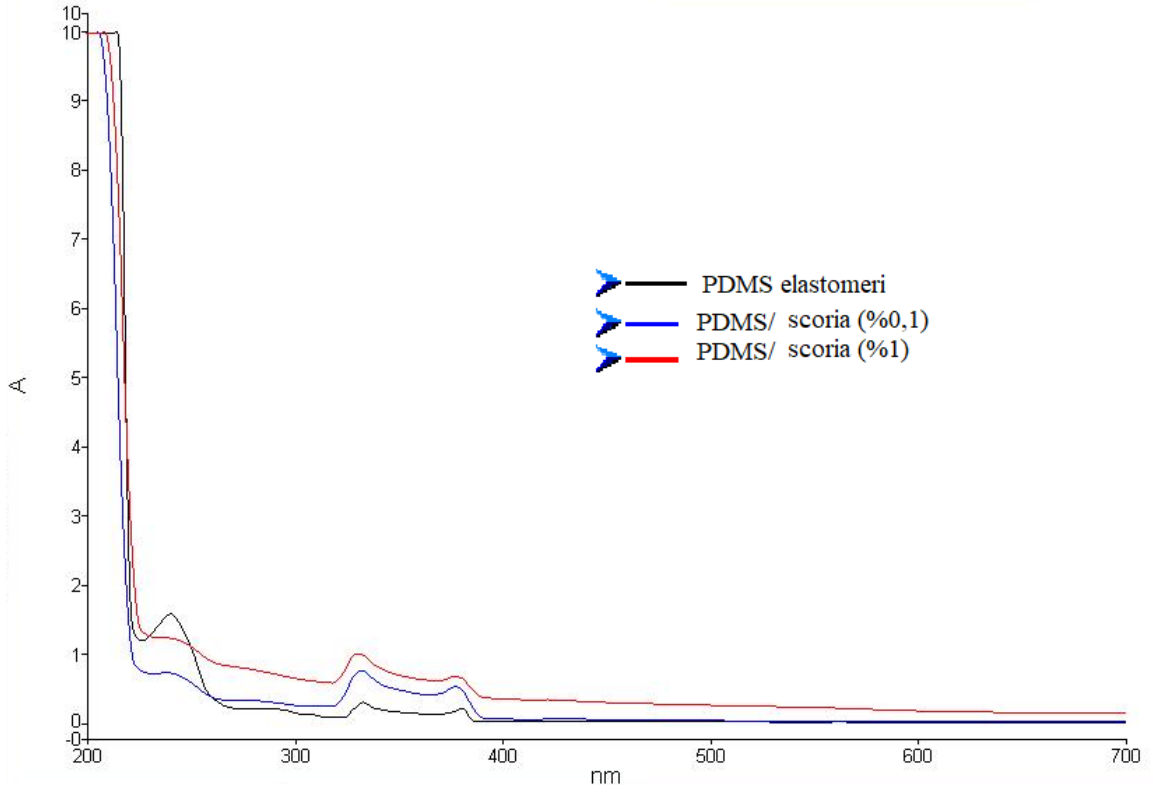
Şekil 3.23: PDMS elastomeri, scoria ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin ışık geçirgenliği grafikleri.



Şekil 3.24: PDMS elastomeri ve MWCNT'den oluşan nanokompozitlerin ışık geçirgenliği grafikleri.



Şekil 3.25: PDMS elastomeri, bazık pomza ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin ışık soğurma grafikleri.



Şekil 3.26: PDMS elastomeri, scoria ve bunlardan oluşan nanokompozitlerin ışık soğurma grafikleri.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları şöyle özetleyebiliriz:

- PDMS'a eklenen dolgu materyallerinden bazik pomza ve scoria, termal özelliklerini çok az artırırken, elektriksel özelliklerini yani yalıtkanlığını hiç etkilememişlerdir. Transparan özelliğini yani ışık geçirgenliğini de tamamen sıfıra indirebilmiştir.
- PDMS'a eklenen dolgu materyallerinden MWCNT, elastomerin termal ve elektriksel özelliğini arttırmış, ısı ve elektriksel olarak yalıtkan elastomeri iletken hale getirmiştir. Fakat nano boyuttaki gümüşün elastomere elektriksel olarak hiçbir etkisi olmamıştır.
- FTIR analizinden, elastomerin kimyasal olarak oldukça inert olmasından ötürü eklenen bütün dolgu materyalleri ile hiçbir kimyasal etkileşime geçmediği, tüm spektrumlarda sadece elastomerin piklerinin olmasından anlaşılmaktadır.
- Polidimetil siloksan polimerinin silikon yağı formunda kullanılmasının polimerin elektriksel özelliklerini elastomer haline göre daha da iyileştirdiği, içine konulan dolgu materyalleri olan bazik pomza ve scorianın da bu özelliği daha da iyileştirdiği görülmüştür.

Sonuç olarak eklenen dolgu materyalleri bazik pomza ve scoria, yapısı gereği kimyasallara ve güneş ışığına karşı oldukça dayanıklı olması, PDMS gibi insan sağlığına zararsız oluşu ve asla bozulmaya uğramaması nedeniyle PDMS elastomerlerine ışık geçirgenliğini azaltmak veya bu elastomerleri renkli yapmak için boyar maddeler yerine tercih edilebilir. Aynı zamanda silikon yağı ile çok yüksek % oranlarında karışabildiği için zamanla deforme olmayacak ve her türlü yüzeye uygulanabilen pastalar şeklinde silikon yağının kullanım alanlarını arttırabilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] R. Ariati, F. Sales, A. Souza, R. A. Lima and J. Ribeiro, “Polydimethylsiloxane Composites Characterization and Its Applications: A Review”, *Polymers*, 13, 4258, December 2021, <https://doi.org/10.3390/polym13234258>
- [2] M. Slettengren, S. Mohanty, W. Kamolvit, J. van der Linden, A. Brauner , “ Making medical devices safer: impact of plastic and silicone oil on microbial biofilm formation”, *Journal of Hospital Infection*, Volume 106, Issue 1, Pages 155-162, September 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.07.011>
- [3] S. H. Min, A. M. Asrulnizam, M. Atsunori, and M. Mariatti “Properties of Stretchable and Flexible Strain Sensor Based on Silver/PDMS Nanocomposites”, *Materials Today: Proceedings* 17 616–622, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.342>
- [4] P. Wanga , L. Yanga , B. Dai , Z. Yang, S. Guo , G. Gao , L. Xu , M. Sun, K. Yao, J. Zhu, “A self-healing transparent polydimethylsiloxane elastomer based on imine bonds”, *European Polymer Journal* 123 , 2020, 109382, <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.109382>
- [5] R. Ramalingame, A. Lakshmanan, F. Müller, U. Thomas, and O. Kanoun, “Highly sensitive capacitive pressure sensors for robotic applications based on carbon nanotubes and PDMS polymer nanocomposite”, *J. Sens. Sens. Syst.*, 8, 87–94, 2019, <https://doi.org/10.5194/jsss-8-87-2019>
- [6] R. K. Chaleshtori, A.H. Nassajpour -Esfahani, M.R .Saeri., P. Rezai, A. Doostmohammadi, “Silver nanowire-embedded PDMS with high electrical conductivity: nanowires synthesis, composite processing and electrical analysis”, *Materials Today Chemistry* 21 100496, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2021.100496>
- [7] J. N.Lee, C. Park, and G. M. Whitesides , “Solvent Compatibility of Poly(dimethylsiloxane)-Based Microfluidic Devices”, *Anal. Chem.* , 75, 6544-6554, 2003, <https://doi.org/10.1021/ac0346712>
- [8] A. M. Rashad, “A short manual on natural pumice as a lightweight aggregate”, *Journal of Building Engineering* 25 100802, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100802>

- [9] S. H. Jang and H. M. Yin, “Effect of aligned ferromagnetic particles on strain sensitivity of multi-walled carbon nanotube/polydimethylsiloxane sensors”, *Appl. Phys. Lett.* 106, 141903, 2015, <https://doi.org/10.1063/1.4917070>
- [10] M. Amjadi, A. Pichitpajongkit, S. Lee, S. Ryu and I. Park, “Highly Stretchable and Sensitive Strain Sensor Based on Silver Nanowire/Elastomer Nanocomposite”, *ACS Nano*, 8, 5, 5154–5163, April 21, 2014, <https://doi.org/10.1021/nn501204t>
- [11] D. Rajendran , R. Ramalingame , S. Palaniyappan, G. Wagner and O. Kanoun, “Flexible Ultra-Thin Nanocomposite Based Piezoresistive Pressure Sensors for Foot Pressure Distribution Measurement”, *Sensors*, 21, 6082., 2021 , <https://doi.org/10.3390/s21186082>
- [12] Y. Jiang, M. Li, C. Chen, Zh. Xue, X. Xie, X. Zhou, Y.-W. Mai, “Effect of elastic modulus mismatch of epoxy/titanium dioxide coated silver nanowire composites on the performance of thermal conductivity”, *Composites Science and Technology* 165 206–213, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.06.028>
- [13] F.-P. Du, H. Tang, and D.-Y. Huang, “Thermal Conductivity of Epoxy Resin Reinforced with Magnesium Oxide Coated Multiwalled Carbon Nanotubes”, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Polymer Science*, Article ID 541823, 5 pages, 2013, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/541823>
- [14] M. Nour, K. Berean, A. Chrimes, A. S. Zoolfakar, K. Latham, C. McSweeney, M. R. Field, S. Sriram, K. Kalantar-zadeh, J. Z. Ou, “Silver nanoparticle/PDMS nanocomposite catalytic membranes for H₂S gas removal”, *Journal of Membrane Science* 470 346–355, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2014.07.047>
- [15] R. Ramalingame, A. Lakshmanan, F. Müller, U. Thomas, and O. Kanoun, “Highly sensitive capacitive pressure sensors for robotic applications based on carbon nanotubes and PDMS polymer nanocomposite”, *J. Sens. Sens. Syst.*, 8, 87–94, 2019, <https://doi.org/10.5194/jsss-8-87-2019>
- [16] B. Herren , M. Charara, M. C. Saha, M. C. Altan and Y. Liu , “Rapid Microwave Polymerization of Porous Nanocomposites with Piezoresistive Sensing Function”, *Nanomaterials* , 10, 233, 2020, <https://doi.org/10.3390/nano10020233>

- [17] K. Pandey, H. S. Bindra, D. Paul and R. Nayak, “Smart multi-tasking PDMS Nanocomposite sponges for microbial and oil contamination removal from water”, *Journal of Polymer Research* 27: 189, 2020, <https://doi.org/10.1007/s10965-020-02109-1>
- [18] S. Sagar, N. Iqbal , A. Maqsood, “Dielectric, electric and thermal properties of carboxylic functionalized multiwalled carbon nanotubes impregnated polydimethylsiloxane nanocomposite”, *Journal of Physics: Conference Series* 439 012024 , 2013, doi:10.1088/1742-6596/439/1/012024
- [19] L. Shao, H. Liu, W. Zeng, C. Zhou , D. Li , L. Wang , Y. Lan , F. Xu , G. Liu, “Immobilized and photocatalytic performances of PDMS-SiO₂-chitosan@TiO₂ composites on pumice under simulated sunlight irradiation”, *Applied Surface Science* 478 1017–1026, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.02.060>
- [20] J. Li, Y.-J. Tan, Y.-F. Chen, H. Wu, S. Guo, M. Wang, “Constructing multiple interfaces in polydimethylsiloxane/multi-walled carbon nanotubes nanocomposites by the incorporation of cotton fibers for high-performance electromagnetic interference shielding and mechanical enhancement”, *Applied Surface Science* 466, 657–665, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.10.079>
- [21] S. Nikpour , Z. Ansari-Asl , T. Sedaghat , E. Hoveizi, “Curcumin-loaded Fe-MOF/PDMS porous scaffold: Fabrication, characterization, and biocompatibility assessment”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 110 188–197, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.02.052>
- [22] J. Mo, W. Wu, S. Shan, X. Wu, D. Li, R. Li, Y. Lin, A. Zhang “A systematic study on Zn(II)-Iminocarboxyl complexation applied in supramolecular PDMS networks”, *Polymer* 250 124896, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2022.124896>
- [23] Y. Zhou, L. Zhao, Z. Song, C. Chang, L. Yang, S. Yu “Foldable and highly flexible transparent conductive electrode based on PDMS/ Ag NWs/PEDOT: PSS”, *Optical Materials* 126 112175, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112175>
- [24] J. Park, H.-J. Jeon, “PDMS micro-dewy spider-web-like metal nanofiber films for fabrication of high-performance transparent flexible electrode with improved

mechanical strength”, *Microelectronic Engineering* 258 111777,2022, <https://doi.org/10.1016/j.mee.2022.111777>

- [25] J. Kang, R. Huang, S. Guo, G. Han, X. Sun, I. Ismail, C. Ding, F. Li, Q. Luo, Y. Li, C.-Q. Ma, “Suppression of ion migration through cross-linked PDMS doping to enhance the operational stability of perovskite solar cells”, *Solar Energy* 217 105–112, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.025>
- [26] Z. Gao, G. Lin, Y. Chen, Y. Zheng, N. Sang, Y. Li, L. Chen, M. Li, “Moth-eye nanostructure PDMS films for reducing reflection and retaining flexibility in ultra-thin c-Si solar cells”, *Solar Energy* 205 275–281, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.065>
- [27] Wacker, “wacker-ak-1000”, (2022), [https://www.wacker.com/h/en-us/silicone-fluids-emulsions/linear-silicone-fluids/wacker-ak-1000/p/000010787,\(2022\)](https://www.wacker.com/h/en-us/silicone-fluids-emulsions/linear-silicone-fluids/wacker-ak-1000/p/000010787,(2022))
- [28] K.E. Kem, “quick-thermal conductivity”, <https://www.kem.kyoto/en/genri/quick-thermal-conductivity-meter/>, (2020).
- [29] L.M. Johnson, L. Gao, C.W. Shields, “Elastomeric microparticles for acoustic mediated bioseparations.”, *J. Nanobiotechnol* 11, 22, 2013, <https://doi.org/10.1186/1477-3155-11-22>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :Esra ÖZVEZİR

Doğum tarihi ve yeri :15.12.1986 İzmir

e-posta :esrachemistry@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Kimya Bölümü	2019-
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Kimya Bölümü	2004-2008
Lise	Şemikler Lisesi/Düz Lise	2000-2003