

Farklı Tür Kumaşlara Metal Oksit Katkılı Polimer Kompozitlerin Kaplanması ve Çok
Fonksiyonlu Özelliklerinin İncelenmesi

Yağmur Sevde TUTKAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2024

Coating of Metal Oxide Added Polymer Composites on Different Types of Fabrics and
Investigation of Their Multifunctional Properties

Yağmur Sevde TUTKAÇ

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Chemical Engineering

October 2024

Farklı Tür Kumaşlara Metal Oksit Katkılı Polimer Kompozitlerin Kaplanması ve Çok
Fonksiyonlu Özelliklerinin İncelenmesi

Yağmur Sevde TUTKAÇ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Proses ve Reaktör Tasarımı Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Alime ÇITAK

Ekim 2024

ONAY

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Yağmur Sevde TUTKAÇ'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Farklı Tür Kumaşlara Metal Oksit Katkılı Polimer Kompozitlerin Kaplanması ve Çok Fonksiyonlu Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Alime ÇITAK

İkinci Danışman :

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Danışman Prof. Dr. Alime ÇITAK

Üye : Prof. Dr. Demet TOPALOĞLU YAZICI

Üye : Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma TÜMSEK

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Alime ÇITAK danışmanlığında hazırlamış olduğum “Farklı Tür Kumaşlara Metal Oksit Katkılı Polimer Kompozitlerin Kaplanması ve Çok Fonksiyonlu Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimizi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.

22/10/2024

Yağmur Sevd TUTKAÇ

İmza

ÖZET

Süperhidrofobik yüzeyler, düşük yüzey enerjili ve pürüzlü mikro-nano dokularla elde edilir. Bu tür yapıları elde etmede florokarbonlar sıklıkla hidrofobik modifikasyon için kullanılır. Bununla birlikte, florlu bileşikler pahalıdır, çevreyi kirletir ve potansiyel olarak toksiktir. Florlu bileşiklerin çevresel zararları nedeniyle PDMS gibi flor içermeyen malzemeler çevresel avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Süperhidrofobik kumaşlar, su itici, kendi kendini temizleyen, UV koruma ve alev geciktirici özellikleriyle tekstil sektöründe önemlidir. Ancak, flor içermeyen ve düşük maliyetli yöntemlerle çok işlevli kumaş üretimi hala bir zorluktur. Yeşil sentezlenmiş ZnO nanopartiküllerin süperhidrofobiklik üzerindeki etkisi yeterince araştırılmamıştır. Bu çalışma, basit daldırma kaplama yöntemiyle flor içermeyen, süperhidrofobik polyester ve viskon kumaşlar geliştirmeyi ve bu nanopartiküllerin performansını incelemeyi hedeflemiştir. Bu bağlamda, sol-jel ile sentezlenen SiO₂ nanopartikülleri ve ayva çekirdeği musilajından yeşil sentezle ZnO nanopartiküllerinin eldesiyle farklı kombinasyonlarda kompozitler hazırlanmıştır. Elde edilen bu kombinasyonların farklı tür tekstil kumaşları üzerindeki kendi kendini temizleyebilme özelliği (fotokatalitik etki), süperhidrofobiklik ve UV koruma faktörü (UPF) performansı incelenmiştir.

Farklı kombinasyonlarda hazırlanan kompozitler (PDMS, PDMS/ZnO, PDMS/SiO₂-ZnO/PDMS, ZnO/SiO₂-PDMS, SiO₂/ZnO/PDMS ve SiO₂/PDMS) ile viskon ve polyester kumaşlara yapılan kaplamalar karşılaştırılmıştır. ZnO/SiO₂-PDMS ile kaplı olan viskon ve polyester kumaşlar, süperhidrofobiklik yönünden en iyi performansı göstererek ortalama temas açıları sırasıyla 111,3° ve 144,7° olarak bulunmuştur. ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS ile kaplı viskon kumaşın UPF değeri 32 olarak bulunarak mükemmel bir UV koruma sağlayabileceği görülmüştür.

Bu tez çalışması, farklı kombinasyonlarda hazırlanan kompozitler ile kaplanan kumaşların UV koruma, fotokatalitik etki ve süperhidrofobiklik performansını artırmadaki etkisini ele almıştır. ZnO nanopartiküllerin ayva çekirdeği musilajından yeşil sentez gibi çevre dostu yöntemlerle elde edilmiş olması, sürdürülebilirlik açısından çok önemlidir. Bu çalışma, nanoteknolojinin tekstil sektöründe çevre dostu ürünlerin geliştirilmesine zemin hazırlamaya katkı sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Nanokompozit Malzemeler, PDMS, UV koruma, Süperhidrofobik, Yeşil Sentez

SUMMARY

Superhydrophobic surfaces are obtained with low surface energy and rough micro-nano textures. Fluorocarbons are often used for hydrophobic modification to obtain such structures. However, fluorinated compounds are expensive, pollute the environment and are potentially toxic. Due to the environmental hazards of fluorinated compounds, fluorinated materials such as PDMS stand out with their environmental advantages. Superhydrophobic fabrics are important in the textile industry with their water repellent, self-cleaning, UV protection and flame retardant properties. However, the production of multifunctional fabrics with fluorine-free and low-cost methods is still a challenge. The effect of green synthesized ZnO nanoparticles on superhydrophobicity has not been investigated sufficiently. This study aimed to develop fluorine-free, superhydrophobic polyester and viscose fabrics by simple dip coating method and to investigate the performance of these nanoparticles. In this context, composites were prepared in different combinations by obtaining SiO₂ nanoparticles synthesized by sol-gel and ZnO nanoparticles from quince seed mucilage by green synthesis. The self-cleaning properties (photocatalytic effect), superhydrophobicity and UV protection factor (UPF) performance of these combinations on different types of textile fabrics were investigated.

Composites prepared in different combinations (PDMS, PDMS/ZnO, PDMS/SiO₂-ZnO/PDMS, ZnO/SiO₂-PDMS, SiO₂/ZnO/PDMS and SiO₂/PDMS) were compared with the coatings applied to viscose and polyester fabrics. Viscose and polyester fabrics coated with ZnO/SiO₂-PDMS showed the best performance in terms of superhydrophobicity, with average contact angles of 111.3° and 144.7°, respectively. The UPF value of the viscose fabric coated with ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS was found to be 32, and it was observed that it could provide excellent UV protection.

This thesis study has addressed the effect of increasing UV protection, photocatalytic effect and superhydrophobicity performance of fabrics coated with composites prepared in different combinations. The fact that ZnO nanoparticles are obtained from quince seed mucilage by environmentally friendly methods such as green synthesis is very important in terms of sustainability. This study will contribute to the development of environmentally friendly products in the textile sector by nanotechnology.

Key words: Nanocomposite Materials, PDMS, UV protection, Superhydrophobic, Green Synthesis

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TEŞEKKÜR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. SÜPERHİDROFOBİK YÜZEYLER	4
2.1. Süperhidrofobik Yüzeylerin Tanımı ve Özellikleri	4
2.1.1. Lotus etkisi ve gül yaprağı etkisi gibi kendi kendini temizleme mekanizmaları	6
2.1.2. Süperhidrofobikliğe katkıda bulunan faktörler	7
2.2. Süperhidrofobik Yüzeyler Elde Etmek İçin Kullanılan Geleneksel Yöntemler	8
2.2.1. Kimyasal yöntemler	8
2.2.2. Fiziksel yöntemler	10
2.3. Süperhidrofobik Polimer Kaplamada Uygulama Yöntemleri	12
2.4. Süperhidrofobik Yüzey Elde Etmede Kullanılan Materyaller	13
2.4.1. ZnO (Çinko Oksit)	13
2.4.2. SiO ₂ (Silisyum Dioksit)	14
2.4.3. PDMS (Polidimetilsiloksan)	14
2.5. Tekstil Kumaşların Kendi Kendini Temizleyebilme Özelliği (Fotokatalitik Etki)	15
2.6. UV Koruma (UPF Faktörü)	15
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	17
4. MATERYAL VE YÖNTEM	21
4.1. Kullanılan Materyaller	22
4.2. Yöntem	22
4.2.1. Kumaşların hazırlanması	23
4.2.2. ZnO nanopartiküllerinin yeşil sentez ile eldesi	23
4.2.3. SiO ₂ nanopartiküllerin eldesi	24
4.2.4. PDMS kaplı yüzeylerin eldesi	24
4.2.5. ZnO/PDMS kaplı yüzeylerin eldesi	25
4.2.6. SiO ₂ /PDMS kaplı yüzeylerin eldesi	25
4.2.7. ZnO/PDMS-SiO ₂ /PDMS kaplı yüzeylerin eldesi	25

4.2.8. ZnO/SiO ₂ /PDMS kaplı yüzeylerin eldesi	26
4.2.9. ZnO/SiO ₂ -PDMS kaplı yüzeylerin eldesi.....	26
4.3. Sentezlenen Nanopartikül Ve Kumaşların Karakterizasyonu	26
4.3.1. X-Işınları Difraktometresi (XRD)	26
4.3.2. Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM)	27
4.3.3. UV-Vis Spektrofotometresi.....	27
4.3.4. Temas Açısı Ölçer	27
4.3.5. Kendi Kendini Temizleme (Fotokatalitik Etki).....	28
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
5.1. Sentezlenen Nanopartiküllerin Karakterizasyonu	29
5.2. Kumaşların Karakterizasyonu	33
5.3. Kaplanan Kumaşlarda Fotokatalitik Etki	44
5.4. UV Koruma Özellikleri	51
5.5. Su İtme Testleri (Temas Açısı Ölçümleri)	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	62

TEŞEKKÜR

Öncelikle, danışmanım Prof. Dr. Alime ÇITAK’a, değerli rehberliği, bilgi birikimi ve sürekli desteği için minnettarım. Tez çalışmamın her aşamasında gösterdiği sabır ve anlayış, bu çalışmanın ortaya çıkmasında büyük rol oynamıştır.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı (ARUM) personellerine gösterdikleri güleryüz ve yardımseverlikleri için teşekkür ederim.

Her anlamda her zaman yanımda olduklarını bildiğim canım anneme, canım babama ve kıymetlim Arda SARI’ya teşekkür ederim.

Son olarak, tez çalışmam sırasında bana destek veren ve teşvik eden arkadaşlarıma ve yakınlarıma teşekkür ederim. Onların moral desteği ve arkadaşlıkları, motivasyonu yüksek tutmada büyük bir etken oldu.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Suyun yaptığı temas açıları ve görünüşleri a) $<90^\circ$, b) $>90^\circ$, c) $>150^\circ$	5
4.1. Ayva çekirdeklerinden müsilağ eldesi.....	24
4.2. Temas açısı ölçer cihazı.....	28
4.3. Saf ve farklı tür kumaşlarda fotokatalitik etkinin incelenmesi için kurulan düzenek.....	28
5.1. Yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartikülünün XRD grafiği.....	29
5.2. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO ₂ nanopartikülün XRD grafiği.....	30
5.3. Yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartiküllerin FE-SEM görüntüsü.....	31
5.4. Yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartiküllerin EDS analizi.....	31
5.5. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO ₂ nanopartiküllerinin FE-SEM görüntüsü.....	32
5.6. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO ₂ nanopartikülün EDS analizi.....	33
5.7. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri a) saf viskon b) PDMS kaplı viskon c) saf polyester d) PDMS kaplı polyester.....	34
5.8. PDMS kaplı kumaşların EDS analizi a) viskon b) polyester.....	35
5.9. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri a) saf viskon b) PDMS/ZnO kaplı viskon c) saf polyester d) PDMS/ZnO kaplı polyester.....	35
5.10. PDMS/ZnO kaplı kumaşların EDS analizi a) viskon b) polyester.....	36
5.11. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri a) saf viskon b) PDMS/SiO ₂ kaplı viskon c) saf polyester d) PDMS-SiO ₂ kaplı polyester.....	37
5.12. PDMS/SiO ₂ kaplı kumaşların EDS analizleri a) viskon b) polyester.....	38
5.13. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri a) saf viskon b) ZnO/SiO ₂ -PDMS kaplı viskon c) saf polyester d) ZnO/SiO ₂ -PDMS kaplı polyester.....	39
5.14. ZnO/SiO ₂ -PDMS kaplı kumaşların EDS analizleri a) viskon b) polyester	40
5.15. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri a) saf viskon b) ZnO/SiO ₂ /PDMS kaplı viskon c) saf polyester d) ZnO/SiO ₂ /PDMS kaplı polyester	41
5.16. ZnO/SiO ₂ /PDMS kaplı kumaşların EDS analizleri a) viskon b) polyester.....	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.17. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri	
a) saf viskon b) ZnO/PDMS-SiO ₂ /PDMS kaplı viskon c) saf polyester	
d) ZnO/PDMS-SiO ₂ /PDMS kaplı polyester.....	43
5.18. ZnO/PDMS-SiO ₂ /PDMS kaplı kumaşların EDS analizleri a) viskon b) polyester.....	44
5.19. Saf viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği.....	45
5.20. PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği.....	46
5.21. PDMS/SiO ₂ kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği.....	47
5.22. PDMS/ZnO kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği.....	48
5.23. ZnO/SiO ₂ /PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği.....	49
5.24. ZnO/PDMS-SiO ₂ /PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği...	50
5.25. ZnO/SiO ₂ -PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği.....	51
5.26. Saf kumaşların 250-800 nm dalga boyu aralığındaki % geçirgenlik değerleri.....	52
5.27. Saf ve PDMS/ZnO kaplı viskon kumaşların 250-800 nm dalga boyu aralığındaki % geçirgenlik değerleri.....	53
5.28. Saf ve PDMS/ZnO kaplı polyester kumaşların 250-800 nm dalga boyu aralığındaki % geçirgenlik değerleri.....	53
5.29. Saf ve farklı tür kaplamalı viskon kumaşların 250-800 nm dalga boyu aralığındaki % geçirgenlik değerleri.....	53
5.30. Saf ve farklı tür kaplamalı polyester kumaşların 250-800 nm dalga boyu aralığındaki % geçirgenlik değerleri.....	54
5.31. Saf ve kaplanmış polyester kumaşların temas açısı ölçümleri	
a) saf b) PDMS c) PDMS/ZnO d) PDMS/SiO ₂ e) ZnO/SiO ₂ -PDMS	
f) ZnO/SiO ₂ /PDMS g) ZnO/PDMS-SiO ₂ /PDMS.....	56
5.32. Saf ve kaplanmış viskon kumaşların temas açısı ölçümleri	
a) saf b) PDMS c) PDMS/ZnO d) PDMS/SiO ₂ e) ZnO/SiO ₂ -PDMS f) ZnO/SiO ₂ /PDMS	
g) ZnO/PDMS-SiO ₂ /PDMS.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Tekstillerde süperhidrofobik polimer kaplamalarda geleneksel yöntemler.....	12
2.2. Uluslararası standartlara göre UPF değerlerinin kategorileri.....	16
4.1. Kullanılan kimyasal maddeler.....	22
4.2. ZnO, SiO ₂ ve PDMS ile hazırlanan kompozitlerin uygulama detayları.....	23
5.1. ZnO Nanopartiküllerin EDS analizi.....	32
5.2. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO ₂ nanopartiküllerin EDS analizi.....	33
5.15. Saf ve farklı tür kaplamalı kumaşlara ait UPF değerleri.....	54
5.16. Saf ve farklı tür kaplamalı kumaşlara ait temas açıları.....	57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler ve Kısaltmalar****Açıklama**

PDMS

Polidimetilsiloksan

ZnO

Çinko Oksit

UV

Ultraviyole Işın

SiO₂

Silisyum Dioksit

TiO₂

Titanyum Dioksit

TEOS

Tetraetil Ortosilika

HCl

Hidroklorik Asit

NaOH

Sodyum Hidroksit

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Süperhidrofobiklik kavramı veya bir yüzeyin suyu aşırı derecede itme yeteneği, doğada yüzyıllardır gözlemlenen bir özelliktir. Örneğin nilüfer yaprağı, su damlacıklarının kolayca yuvarlanarak yaprağın temiz ve kuru kalmasını sağlayan süperhidrofobik bir yüzeye sahiptir (Marmur, 2004). Nilüfer yaprağının sıvı damlacıklarını itme yeteneği “lotus etkisi” olarak adlandırılır (Tong vd., 2018). 1936'da Wenzel'in, yüzey pürüzlülüğü ve su iticilik arasındaki ilişkiyi anlamak için temel oluşturan gözenekli yüzeylerin ıslanması üzerine bir makale yayınlamasıyla birlikte araştırmacılar süperhidrofobik yüzeylerin özelliklerini daha ayrıntılı olarak incelemeye başlamışlardır (Wenzel, 1936). Lotus yaprağının taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsünün çekilmesiyle, bilim insanları Lotus bitkisinin mikro-nano yüzey yapısını keşfetmişler ve bu özellikten esinlenerek farklı kullanım alanlarında süperhidrofobik yüzeyler geliştirmişlerdir (Barthlott vd., 1997; Wang vd., 2015).

Günümüzde cam, metal, seramik, polimer, ahşap ve tekstil gibi pek çok malzemenin yüzey özellikleri, çeşitli yöntemler kullanılarak değiştirilmekte ve bu malzemelere farklı yüzey özellikleri kazandırılmaktadır. Bu yüzeyler, yüksek su iticilik, antibakteriyel özellik, UV koruma, alev geciktiricilik, yağ-su ayırma ve kendi kendini temizleme kabiliyeti gibi benzersiz özelliklere sahiptir ve bu da onları çeşitli uygulamalar için oldukça arzu edilir kılar (Zhu vd., 2017; Liu vd., 2017; Long vd., 2019).

Düşük maliyetleri, iyi nefes alabilirlikleri, konforları ve mükemmel tekstil özellikleri, kumaşlar için giyim ve ev dekorasyonunun yanı sıra çadırlar, havacılık ve acil tıp gibi yeni gelişen alanlarda da geniş bir uygulama alanı sağlamaktadır (Deng vd., 2023; Fang vd., 2024). Ancak, pamuk ve viskon kumaşların yüzeyindeki çok sayıda hidroksil grubu, alt tabakalarının hidrofilik ve oldukça emici olmasına yol açarak, bu kumaşların leke ve kirleri kolayca tutmasına neden olurken, polyester kumaşlar doğal olarak daha hidrofobik bir yapıya sahip olsa da, lekelerle karşı hassasiyet gösterebilir. Bu durum, tüm bu kumaşların işlevselliğini, dayanıklılığını ve pratik kullanım alanlarını sınırlandırabilmektedir (Zhu vd., 2017; Jeong vd., 2019). Bu nedenle kumaşlara süperhidrofobik özellik kazandırmak, araştırmacılar için önemli bir konu haline gelmiştir.

Bununla birlikte, süperhidrofobik yüzeyler elde etmek için kullanılan geleneksel yöntemler, çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olabilecek toksik kimyasalların ve pahalı donanımların kullanımını içerir. Bu nedenle, kendi kendini temizleyen

süperhidrofobik nanokompozit yüzeyler elde etmek için çevre dostu yöntemlerin geliştirilmesine yönelik artan bir ihtiyaç vardır.

150°'den yüksek statik temas açısına sahip olan yüzeyler, “süperhidrofobik” olarak isimlendirilir (Jeong vd., 2019; Chakradhar vd., 2017; Zhang vd., 2021; Lin vd, 2019). Süperhidrofobik performansın elde edilmesinde belirleyici olan iki faktör, düşük yüzey enerjisi ve uygun mikro-nano dokuya sahip pürüzlü yüzeylerdir (Li vd., 2019). Tipik bir düşük yüzey enerjili malzeme olan florokarbonlar, bu tür malzemelerin hidrofobik modifikasyonunda geniş çapta araştırılmıştır (Lin vd., 2019). Ancak florlu bileşiklerin yüksek maliyeti ve çevrede birikerek toksik etkiler yaratma potansiyeli, kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle, yüzey modifikasyonu için flor içermeyen hidrofobik malzemelere yönelik bir ihtiyaçtan dolayı, polidimetilsiloksan (PDMS) gibi flor içermeyen hidrofobik malzemelerin yanı sıra, polilaktik asit, silikon gibi polimerlerin ve metal oksit nanopartiküllerin kullanıldığı çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Verbič vd.,2019; Gong vd., 2020).

TiO₂, ZnO, CuO ve SiO₂ gibi çeşitli metal oksitler, benzersiz özellikleri ve geniş uygulama alanları nedeniyle büyük ilgi görmektedir (Zhu vd., 2019; Hu vd., 2020). ZnO nanopartikülleri, TiO₂ ile karşılaştırıldığında insan hücreleri için çok daha biyouyumlu ve toksik değildir (Agrawal vd., 2019). Üstün n-tipi bir yarı iletken olan ZnO nanopartikülleri, son yirmi yılda önemli bir malzeme haline gelmiştir (Mallakpour vd., 2021; Mohamad Sukri vd., 2021). ZnO, düşük maliyeti, toksik olmaması, basit sentez yöntemleri gibi avantajlarıyla öne çıkar ve bu özellikleri, ZnO'nun uygulama alanını genişletmektedir (Ponnamma vd., 2019).

Süperhidrofobik nanokompozit kaplamalar oluşturmak için umut verici bir yaklaşım, polidimetilsiloksan (PDMS) ve çinko oksit (ZnO) kullanımudur. PDMS, hidrofobik özellikleriyle bilinen silikon esaslı bir polimerdir, ZnO ise mükemmel antimikrobiyal özellikleri, UV koruması ve kendi kendini temizleme ve dayanıklılık geliştirmeleriyle bilinen çok yönlü bir nanomalzemedir. Bu özellikleri nedeniyle çinko oksit, kumaş kaplamalarda sıklıkla tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasında, gelişmiş imalat yöntemleri kullanılmadan, basit bir daldırma kaplama yoluyla flor içermeyen süperhidrofobik polyester ve viskon kumaşların elde edilmesi amaçlanarak, SiO₂ nanopartikülleri ve yeşil sentez ile ZnO nanoparçacıkları sentezlenmiş ve farklı kombinasyonlarda kompozitler hazırlanmıştır. Bu kompozitlerin

kendi kendini temizleme (fotokatalitik etki), su iticilik (süperhidrofobiklik), UV koruma (UPF) gibi performansları incelenmiştir. Bu nedenle, bu tezde, yüzey pürüzlülüğünü arttırmak için yeşil sentezlenmiş (ayva çekirdeği) ZnO nanoparçacıklar ve yüzey enerjisini azaltmak için polimerik bir malzeme olan PDMS kullanılmıştır.



2. SÜPERHİDROFOBİK YÜZEYLER

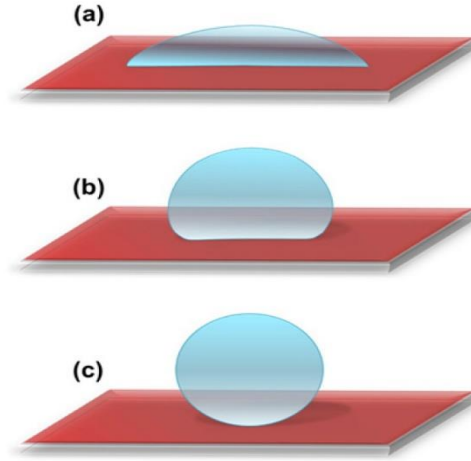
Süperhidrofobik yüzeyler suya karşı son derece yüksek direnç gösteren özel olarak tasarlanmış malzemelerdir. Bu yüzeyler, su damlacıklarının yayılıp yüzeyi ıslatmak yerine neredeyse mükemmel küreler oluşturmasını ve zahmetsizce yuvarlanmasını sağlar (Zhu vd., 2017; Li vd., 2007).

Kumaşlara süperhidrofobik özellikler kazandırılması yağ/su ayırma, su ve kir iticilik, UV koruma ve alev geciktirici performanslar açısından önemlidir. Kumaşlara polidimetilsiloksan (PDMS) gibi bir polimer ve çinko oksit (ZnO) gibi bir nanoparçacık eklendiğinde, kumaşa çeşitli özellikler kazandırılabilir. PDMS, düşük yüzey enerjisine sahip bir polimerdir ve su itici özellik kazandırır. Kumaş üzerine uygulandığında, su damlacıkları yüzeyde tutunamaz ve kolayca akarak kumaşların temiz kalmasını sağlar.

ZnO, güçlü anti-bakteriyel özelliklere sahiptir. Kumaş üzerine uygulandığında, bakteri ve mikroorganizmaların büyümesini engellemesiyle özellikle tıbbi tekstiller ve spor kıyafetleri için faydalıdır.

2.1. Süperhidrofobik Yüzeylerin Tanımı ve Özellikleri

Literatürde katı bir yüzeyin su ile temas açısı 10° 'den az olduğunda ($\Theta < 10^\circ$) süperhidrofilik, 10° ve 90° arasında olduğunda hidrofilik, 90° ve 150° arasında olduğunda hidrofobik, 150° 'den büyük olduğu durumlarda ise süperhidrofobik yüzey olarak adlandırılır (Zhu vd., 2017). Su damlacıkları hidrofilik bir yüzey üzerindeyken yüzeye karşı yüksek bir çekim gücü ve yayılma eğilimi gösterirken, hidrofobik yüzeylerde yüksek bir itme gücü sergileme ve yüzeyde yayılmadan küresel damlacıklar olarak kalma eğilimindedirler (Lathhe vd., 2014).



Şekil 2.1. Suyun yaptığı temas açıları ve görünümleri a) $<90^\circ$, b) $>90^\circ$, c) $>150^\circ$

Süperhidrofobik yüzeylerin sahip olduğu özellikler şu şekilde özetlenebilir (Zhu vd., 2017; Li vd., 2019; Verbič vd., 2019; Xu vd., 2020):

Yüksek Sıvı Temas Açısı: Süperhidrofobik bir yüzeydeki su temas açısı 150° dereceden büyüktür. Su damlacıkları yüzeyde neredeyse mükemmel küreler oluşturarak su ile yüzey arasındaki temas alanını en aza indirir.

Düşük Kayma Açısı: Kayma açısı veya bir su damlacığının yüzeyden kaymaya başladığı eğim açısı genellikle 10° dereceden azdır. Su damlacıkları minimum eğimle yüzeyden yuvarlanabilir, bu da damlacık ile yüzey arasındaki yapışmanın düşük olduğunu gösterir.

Kendi Kendini Temizleme Yeteneği: Çoğunlukla "lotus etkisi" olarak anılan süperhidrofobik yüzeyler kendi kendilerini temizleyebilir. Su damlacıkları yüzeyden yuvarlıkça kir ve parçacıkları toplayıp uzaklaştırır, ek bir temizliğe gerek kalmadan yüzeyi temiz tutar.

Düşük Yapışma: Su ile yüzey arasında minimum etkileşim vardır ve bu da düşük yapışmaya neden olur. Su damlacıkları kolayca ayrılıp yuvarlanarak suyun yüzeye yapışmasını önler.

Yüzey Pürüzlülüğü: Yüzey mikro-nano ölçekli pürüzlülük ile karakterize edilir. Bu küçük yapılar havayı hapseder ve su ile yüzey arasındaki temas alanını azaltarak hidrofobikliği artırır.

Kimyasal bileşim: Süperhidrofobik yüzeyler genellikle florlu bileşikler veya silanlar gibi düşük yüzey enerjili malzemelerden yapılmış kaplamalara sahiptir. Bu kaplamalar içsel yüzey enerjisini azaltır, suyu daha da iter ve hidrofobik etkiyi artırır.

2.1.1. Lotus etkisi ve gül yaprağı etkisi gibi kendi kendini temizleme mekanizmaları

Lotus etkisi, adını olağanüstü su iticiliği ve kendi kendini temizleme özellikleri sergileyen lotus yaprağından almıştır. Lotus yaprakları, çamurlu sularda yetişmesine rağmen benzersiz yüzey yapısı nedeniyle temiz ve kuru kalır (Hu vd., 2020).

Lotus yaprağının yüzeyi mikroskobik papillalarla kaplıdır ve bunlar ayrıca epikutiküler mum kristalleriyle kaplanmıştır. Bu birleşim pürüzlü, hidrofobik bir yüzey oluşturur. Lotus yaprağının yüzeyine düşen su damlacıkları, pürüzlü yüzey dokusu ve düşük yüzey enerjisi nedeniyle neredeyse küresel şekillere dönüşür (Ponnamma vd., 2019; Mohamad Sukri vd., 2021). Damlacıklar yuvarlandıkça kiri ve kalıntıları toplayarak yaprağı etkili bir şekilde temizler. Lotus etkisi, pencereler, tekstiller ve boyalar dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalar için kendi kendini temizleyen yüzeyler oluşturmak amacıyla mühendislikte kopyalanmıştır.

Gül yaprağı etkisi, gül yapraklarının çeşitli çevre koşullarına maruz kalmasına rağmen suyu itme ve temizliği koruma yeteneğini ifade eder (Zhu vd., 2017). Gül yaprakları, yüzeydeki minik tüyler ve düzensizlikler dâhil olmak üzere nano ölçekli özelliklere sahip mikro ölçekli yapılara sahiptir. Lotus etkisine benzer şekilde, gül yaprakları üzerindeki su damlacıkları kolayca boncuklaşıp yuvarlanarak kir ve kirletici maddeleri uzaklaştırır (Zhu vd., 2017). Gül yapraklarının yüzeyi aynı zamanda su itici özelliklerine katkıda bulunan mumlar ve yağlar gibi hidrofobik bileşiklerle de kaplanır. Lotus etkisi kadar kapsamlı bir şekilde çalışılmamış veya çoğaltılmamış olsa da, gül yaprağı etkisinin, özellikle biyomimetik malzemeler ve kaplamalarda kendi kendini temizleyen yüzeyler oluşturmada potansiyel uygulamaları vardır (Lam vd., 2010).

Hem lotus etkisi hem de gül yaprağı etkisi, suyu itmek ve temizliği korumak için yüzey pürüzlülüğüne ve düşük yüzey enerjisine dayanır. Lotus etkisi mühendislikte daha geniş çapta incelenip uygulanıyor olsa da, gül yaprağı etkisi biyomimetik yüzeylerin tasarlanması için ilham kaynağı olmaktadır (Elemike vd., 2021).

Özetle, lotus etkisi ve gül yaprağı etkisi, doğanın suyu itme ve yüzeyleri temiz tutma konusunda ustaca çözümlerini göstermektedir. Mühendislikte bu mekanizmaların taklit edilmesi, kendi kendini temizleyen pencerelerden leke tutmaz tekstillere kadar çeşitli uygulamalarla süperhidrofobik yüzeylerin geliştirilmesine yol açmıştır.

2.1.2. Süperhidrofobikliğe katkıda bulunan faktörler

Süperhidrofobikliğe katkıda bulunan faktörler şu şekilde özetlenebilir (Zhu vd., 2017; Li vd., 2019; Verbič vd., 2019; Xu ve Zhang, 2021):

Yüzey Pürüzlülüğü: Yüzeydeki mikro ve nano ölçekli pürüzlülük, hava cepleri veya boşluklar oluşturarak sıvı damlacıkları ile yüzey arasındaki temas alanını azaltır. Bu, yapışma kuvvetlerini en aza indirerek su iticiliğini artırır.

Düşük Yüzey Enerjisi: Bu özellik genellikle yüzeylerin düşük yüzey gerilimine sahip olan floropolimerler veya silanlar gibi hidrofobik malzemelerle kaplanması veya değiştirilmesiyle elde edilir. Bu malzemeler düşük yüzey gerilimlerine sahiptir, bu da sıvı damlacıklarının yüzeye temasını en aza indirerek su moleküllerini itmektedir.

Kimyasal Bileşimi: Metil ($-CH_3$) veya floro ($-CF_3$) grupları gibi hidrofobik fonksiyonel gruplar yüzey enerjisini azaltarak sıvı iticiliğini artırır. Yüzey modifikasyon teknikleri bu grupları yüzeye tanıtabilir.

Yüzey Topografyası: Yüzeyin sahip olduğu belirli topografik özellikler, süperhidrofobikliği artırmada önemli bir rol oynar. Örneğin, nano boyutlu yapılar, yüzeyde hava ceplerinin oluşmasına olanak tanıyarak suyun yüzeye doğrudan temasını engeller. Bu özellik, 'nilüfer etkisi' olarak bilinen olguyla ilişkilendirilir ve yüzeyin su tutmama özelliğini güçlendirir.

2.2. Süperhidrofobik Yüzeyler Elde Etmek İçin Kullanılan Geleneksel Yöntemler

Süperhidrofobik yüzeyler elde etmek için kullanılan geleneksel yöntemler ile su iticiliği son derece yüksek olan süperhidrofobik yüzeyler elde edilebilmektedir. Bu yöntemler genellikle pürüzlü bir yüzey oluşturmayı ve ardından yüzey enerjisinin düşürülmesini içerir. Araştırmacılar süperhidrofobik yüzeylerin oluşturulması için dağlama, sol-jel, elektrospinleme, hidrotermal sentez, katman katman biriktirme gibi birçok yöntem geliştirmişlerdir (Zhou vd., 2019; Zhu vd., 2017; Wang vd., 2010; Yin vd., 2010; Wang vd., 2011).

2.2.1. Kimyasal yöntemler

Süperhidrofobik yüzeyler oluşturmaya yönelik kimyasal yöntemler öncelikle yüzey enerjisini azaltmak için yüzey kimyasının değiştirilmesini içerir. Aşağıdaki şekilde açıklanmıştır:

Sol-jel:

Sol-jel yöntemi, tekstil ve ahşap da dâhil olmak üzere çeşitli malzemeler üzerinde metal alkoksit grupları tarafından süperhidrofobik yüzeyler üretmek için kullanılan; kolay, uygun maliyetli, ticari olarak kabul edilebilir, hızlı ve çevre dostu bir tekniktir (Zhu vd., 2017; Wang vd., 2012).

Sol-jel yöntemi, metal alkoksit gruplarının hidroliz reaksiyonu ve ardından silanol gruplarının yoğunlaşma reaksiyonu yoluyla makromoleküler bir ağın elde edildiği kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesine dayanan bir işlemdir (Erayman ve Korkmaz, 2017). Çözücü varlığında hidroliz reaksiyonundan bir sol hazırlanır ve solun solvent üzerine emdirilmesi nedeniyle bir jel oluşur. Sol, substrat üzerine uygulanabilir ve elde edilen yüzeyin özellikleri, solun ve solun fonksiyonel gruplarının işlenmesine bağlıdır (Wang vd., 2012). Sistemdeki nanopartiküller, fiziksel birikim yoluyla substrat malzemesi üzerine adsorbe edilir ve substrat malzemesinin yüzeyi ile birleşen ince bir film oluşturur.

Sol-jel kaplamanın süperhidrofobiklik sergilemesini sağlamak için genellikle hidrofobik katkı maddeleri eklenir. Bu yöntemde genellikle nanoparçacık dolgu maddeleri olarak SiO_2 ve TiO_2 kullanılır, bunların en önemlisi SiO_2 'dir. Tetraetil ortosilikat (TEOS)

gibi nanopartikül dolgu maddelerine karşılık gelen reaksiyon öncüleri, genellikle yüksek kimyasal aktivite bileşenlerine sahip bileşikler olarak seçilir. TEOS etoksi grubunun hidrofobik yapısı nedeniyle de araştırmacıların tercih ettiği bir kimyasaldır (Celia vd., 2013; Ma ve Hill, 2006; Jeevahan vd., 2018; Shokuhfar vd., 2012).

Yapılan bir çalışmada, TiO_2 'nin sol-jel kaplanması ve yüzey hidrofobizasyonu ile süperhidrofobik ve UV koruyucu özelliklere sahip pamuklu tekstillerin hazırlanması amaçlanmıştır. TiO_2 partiküllerinin sol kaplaması ile entegre edilmesi, hidrofobikliği artıran çift boyutlu yüzey pürüzlülüğü sağlarken aynı zamanda iyi bir UV koruma özelliği kazandırdığı görülmüştür. Ayrıca, bu tür bifonksiyonel kumaşların, düşük sıcaklıklarda, pahalı ekipman ve zahmetli süreçler gerektirmeden üretilebileceği savunulmuştur (Xue vd., 2008).

Katman katman (LbL) Biriktirme:

Katman-katman (LbL) biriktirme tekniği, substratlar üzerinde zıt yüklü parçacıkların alternatif katmanlarının oluşturulmasını içeren, çeşitli mikro ölçekli, nano ölçekli yapılar ve süperhidrofobik yüzeyler üretmek için yaygın olarak kullanılan zengin bir tekniktir. Çok katmanlı biriktirme yöntemi, alternatif yüklü bit substratın, zıt yüklü malzemelerin (kaplama malzemesi) sulu bir çözeltisine daldırılmasıyla hazırlanan basit ve ucuz bir kaplama oluşturma yöntemidir (Celia vd., 2013; Jeevahan vd., 2018; Kumar vd., 2019). Her daldırma işleminden sonra kaplanan substrat su ile durulanır ve kurutulur. Her daldırma, yüklü malzemelerden oluşan ince bir tabaka oluşturur. Çok katmanlı biriktirme yöntemiyle elde edilen kaplamaların ıslanma davranışını kontrol etmek amacıyla, kaplama sırasında nanoyapılar eklenerek pürüzlülük artırılabilir.

LbL tekniğinin en büyük avantajı, filmin/kaplamanın kalınlığını mükemmel şekilde kontrol edebilmenin yanı sıra, özellikle tek veya karmaşık yüzeylerde oldukça şeffaf kaplamaların/filmlerin sentezlenmesindeki başarısıdır. Ancak, bu tekniğin en büyük dezavantajı zaman alıcı olması ve sınırlı malzemelere uygulanabilmesidir (Lin vd., 2018).

Yapılan bir çalışmada, işlevselleştirilmiş polietilenimin (PEI-H), SiO_2 ve HDTMS'yi katman katman birleştirme ve daldırmalı kaplama yoluyla sırayla biriktirerek pamuklu kumaş üzerinde UV'ye dayanıklı ve süperhidrofobik bir kaplama üretmek için yeni bir yaklaşım sağladı. Pamuklu kumaş sadece 154° WCA ile süperhidrofobikliğe sahip olmakla

kalmadı, aynı zamanda iyi kendi kendini temizleme ve kirlenme önleyici özellikler de gösterdi. Daha da önemlisi, çok işlevli kumaş, yıkama ve aşınma testine karşı olağanüstü dayanıklılık gösterdi (Xiong vd., 2019).

Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD):

Yaygın olarak kullanılan çözelti bazlı kaplama yöntemleriyle karşılaştırıldığında, buhar bazlı kaplama yöntemleri, süperhidrofobik kaplamalar üretmek için iyi bilinen, tek biçimli ve kontrol edilebilir kaplama işlemi ve alt katmanlara minimum hasar verme gibi avantajlar sergileyen, oldukça etkili bir tekniktir. Ancak CVD ile ilgili en büyük sorun, büyük boyutlu örneklerin elde edilmesinin zor olması ve aynı zama bir pahalı sentez sürecinin olmasıdır (Sun vd., 2020; Aljumaily vd., 2018).

Bu teknikte, uçucu olmayan katı kaplamalar/filmler üretmek için gaz halindeki maddeler veya elementler genellikle katı bir alt tabaka üzerine biriktirilir. CVD aynı zama mikro/nanopartikülleri, nanoçubukları düzenli makroskobik yapılara dönüştürmek için etkili ve sıklıkla tercih edilen bir işlemdir.

Yapılan bir çalışmada tek bir kumaş yüzeyinde aynı a süperhidrofobiklik ve su altı süper oleofobikliği elde etmek için CVD destekli fraksiyonel modifikasyon stratejisi geliştirilmiştir. CVD yöntemi, yüzey kimyasındaki hidrofobik ve hidrofilik bileşenlerin orta derecede sinerjik etkisi yoluyla elde edilebilmesinde çok önemli bir rol oynar. Hazırlanan kumaşların, yalnızca yerçekimiyle tahrik edilen, tekrarlanabilir yıkama döngülerine ve uzun süreli aşındırıcı sıvıya batırılmaya karşı makul bir dirence sahip olduğu, isteğe bağlı olarak da yüksek verimli yağ-su ayırma işleminde de uygulanabileceği görülmüştür (Aljumaily vd., 2018).

2.2.2. Fiziksel yöntemler

Süperhidrofobik yüzeyler oluşturmaya yönelik fiziksel yöntemler genellikle yüzeyde mikro ve nano ölçekli pürüzlülük oluşturmaya içerir. Kullanılan bazı yaygın fiziksel yöntemler şunlardır:

Aşındırma:

Aşındırma işlemi, mikro desenlerle pürüzlü yüzeyler oluşturma'nın basit ve etkili bir yoludur. Alt tabakanın yapısına bağlı olarak, bir hidrofobikleştirici madde ile işlem sonrası da gerekli olabilir. Plazma aşındırma, lazer aşındırma ve kimyasal aşındırma dahil olmak üzere farklı aşındırma yöntemlerinin tümü pürüzlülüğü ve hidrofobik etkiyi arttırmak için kullanılır (Celia vd., 2013; Ma ve Hill, 2006).

Yapılan bir çalışmada, safsızlıkları gidermek için orijinal tekstilleri deiyonize suyla temizlemişlerdir. Temizlenen tekstiller kurutulduktan sonra 380 g/L sodyum hidroksit çözeltisine 10 dakika süreyle daldırıldı. Islatılan tekstiller daha sonra her iki taraftan bir polietilen film ile kaplı ve 120°C'de 4 dakika ısıtıldı. Son olarak tekstil yüzeylerinin pH'ı 7'ye ulaşana kadar tekstiller bol su ile durulu ve 80°C'deki fırında kurutuldu. Böylece kimyasal olarak aşındırılmış PET tekstiller elde edildi (Xue vd. 2014).

Hidrotermal Sentez:

Hidrotermal teknik, yerinde sentez işlemi yoluyla hem metalik hem de metalik olmayan substratlar üzerinde yapısal olmayan bir özelliğin üretimi için uygun maliyetli, tekrarlanabilir ve çevre dostu bir tekniktir. Böyle bir yöntemle metal alt tabakalar üzerinde nanoyapıların büyütülmesi, nano düzeyde yüzey pürüzlülüğünü artırarak havanın hapsedilmesi için çok etkilidir (Parvate vd., 2020).

Bu yöntem, yüksek sıcaklık ve basınçta sulu bir çözelti içinde çözünerek ve yeniden kristalleşerek substrat yüzeyinde pürüzlülük oluşturmak için kullanılır. Bu yöntemin kristal formunun iyi kontrolü ve iyi dağılıbilirlik gibi avantajları vardır (Shin vd., 2019; Parvate vd., 2020; Xu vd., 2020).

Elektroegirme:

Elektroegirme, bir polimer çözeltisine uygulanarak çapı birkaç nanometreye kadar olan sürekli liflerin üretilmesine olanak tanıyan güçlü bir tekniktir (Celia vd., 2013; Ma ve Hill, 2006; Jeevahan vd., 2018; Xue vd., 2014; Dou vd., 2016; Basu vd., 2010; Raman vd., 2021; Adamu vd., 2021). Elektroegirme, süperhidrofobik yüzeyler üretmek için yeterli yüzey pürüzlülüğü sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmıştır ve birkaç yeni stratejiler ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak, elektroegirme liflere nanomateryallerin eklenmesi ve son

işlemler süperhidrofobikliği artırarak ilave yüzey pürüzlülüğüne katkıda bulunur (Celia vd., 2013; Raman vd., 2021; Mohamed vd., 2015).

Yapılan bir çalışmada elektroegirme ve başlatılan kimyasal buhar biriktirme (iCVD) birleştirilerek süperhidrofobik kumaşlar üretmek için çok yönlü bir yöntem denenmiştir. Bu çalışmada, poli(kaprolakton) (PCL) önce elektroegirme ve daha sonra iCVD ile ince bir hidrofobik polimerize perfloroalkil etil metakrilat (PPFEMA) tabakası ile kaplanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda 20 mg'lık bir damlacık için 175°'lik bir temas açısı ve 2,5°'den daha düşük bir eşik kayma açısı ile stabil süperhidrofobiklik sağlığı gözlemlenmiştir (Sun vd., 2020).

2.3. Süperhidrofobik Polimer Kaplamada Uygulama Yöntemleri

Süperhidrofobik polimer kaplamaların tekstil üzerindeki süperhidrofobik performansını en üst düzeye çıkarmak için uygulama tekniğini optimize etmek önemlidir. Kaplama kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü ve tekstil alt katmanına yapışma gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

Uygulama tekniğinin seçimi, süperhidrofobik polimer kaplamaların tekstillere süperhidrofobiklik kazandırmadaki etkinliğinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar. Yaygın uygulama yöntemleri arasında püskürtme, daldırma ve döndürerek kaplama yer alır. Her teknik, kaplanmış tekstilin nihai özelliklerini etkileyen benzersiz avantajlar ve zorluklar sunar. Çizelge 2.1'de süperhidrofobik polimer kaplamalarda kullanılan geleneksel yöntemler özetlenmiştir (Wen ve Guo., 2016; Xie vd., 2019; Yang vd., 2023; He vd., 2023; Lan vd., 2022):

Çizelge 2.1. Tekstillerde süperhidrofobik polimer kaplamalarda geleneksel yöntemler

Püskürtme (Spraying):	- Sprey kaplama, süperhidrofobik kaplamaların tekstil yüzeylerine uygulanmasında yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. - Püskürtme yönteminde, polimer çözeltisi püskürtme cihazı kullanılarak tekstil yüzeyine uygulanır. - Geniş alanların kaplanmasında ve eşit kaplama elde edilmesinde çok yönlülük sunar. - Ancak kaplamanın kalınlığı ve homojenliği alev geciktirici performansını etkileyerek kontrol edilmesi zor olabilir.
Daldırma (Dipping):	Bu yöntemde, tekstil yüzeyi bir polimer çözeltisine batırılır ve ardından çözeltiden çıkarılır.

	• Çıkarma işleminden sonra, fazla çözelti yüzeyden akar ve kuruma işlemine bırakılır. • Daldırma yöntemi, tekstil yüzeyinin tamamen kaplanmasını sağlar ve genellikle homojen bir kaplama kalınlığı elde edilir. • Bununla birlikte, kurutma işleminin kontrol edilmesi ve daldırma sırasında polimer parçacıklarının topaklaşmasının önlenmesi, alev geciktiriciliğin optimize edilmesi için çok önemli faktörlerdir.
Döndürerek Kaplama (Spin Coating):	• Döndürerek kaplama, polimer çözeltisini tekstil yüzeyi boyunca eşit şekilde yaymak için merkezkaç kuvvetinden yararlanır. • Bu teknik, kaplama kalınlığı ve morfolojisi üzerinde hassas kontrol sağlayarak alev geciktirici özelliklerin artmasını sağlar. • Ancak büyük veya düzensiz şekilli tekstillerin kaplanması için uygun olmayabilir.

2.4. Süperhidrofobik Yüzey Elde Etmede Kullanılan Materyaller

Süperhidrofobiklik, yüzeyin fiziksel yapısına çok bağlıdır; özellikle mikro/nano yapılara sahip yüzeyler, su damlacıklarının yüzeyle temasını minimize ederek bu özellikleri sağlar. ZnO, SiO₂, TiO₂ gibi metaller farklı morfolojilerde (nanorodlar, nanoteller vb.) üretilbildiği için süperhidrofobik kaplamalar için uygun adaylardır.

2.4.1. ZnO (Çinko Oksit)

Çinko oksit (ZnO), benzersiz ve önemli bir inorganik malzemedir. ZnO nanoyapıları, büyük yüzey-hacim oranları nedeniyle kimyasal olarak stabil bir yapıya sahiptir ve çeşitli çevresel koşullara dayanıklıdır. Çeşitli yarı iletken malzemeler arasında çinko oksit (ZnO), oda sıcaklığında 3,37 eV'lik geniş bant aralığı enerjisine ve 60 meV'lik büyük bağlanma enerjisine sahip bir n tipi yarı iletkendir (Uribe-Lopez vd., 2021). Fotokatalitik, elektriksel, optoelektronik ve fotokimyasal özellikleri nedeniyle odak noktası haline gelmiştir.

ZnO, düşük maliyetli ve kolay üretilbilir bir malzemedir. Sol-jel, yeşil sentez gibi basit üretim teknikleri kullanılarak ZnO bazlı kaplamalar uygulanabilir. UV ışığına maruz kaldığında organik kirleri parçalayabilen ZnO, kaplamaların kendi kendini temizleme özelliklerine katkıda bulunduğu bilinmektedir (Mendoza vd., 2019; Anbuvaran vd., 2015; Agarwal vd., 2017). ZnO'nun fotokatalitik etkisi, ışık enerjisini kimyasal reaksiyonları başlatan enerjilere dönüştürme yeteneğinden kaynaklanır. UV ışığı, ZnO'nun yüzeyindeki elektronları uyarak serbest radikallerin ve hidrojen peroksit gibi oksidanların oluşumuna

yol açar. Bu radikaller, organik kirleticilerle reaksiyona girerek onları daha basit, zararsız bileşiklere dönüştürür (Uikey vd., 2016).

ZnO, çevre dostu ve toksik olmayan bir malzemedir. Bu da tekstiller, cam, metal yüzeyler ve çeşitli diğer malzemelerde süperhidrofobik kaplamalarda çevreye zarar vermeden yüksek performans sağlayan bir malzeme olmasını sağlar.

2.4.2. SiO₂ (Silisyum Dioksit)

Silika nanoparçacıklarının (SiO₂) uygulamaları yalnızca bilimsel alanda değil, aynı zamanda ticari endüstriyel alanlarda da hızla artmaktadır. Nano boyutlu SiO₂ parçacıklarının malzemelerin yüzey özelliklerinde değişiklikler meydana getirerek malzemelerin mekanik özelliklerini ve dayanıklılığını iyileştirmektedir (El-Gabry vd., 2013; Nandanwar vd., 2015).

SiO₂ doğada bol miktarda bulunan, çevre dostu ve toksik olmayan bir malzemedir. SiO₂ nanoparçacıkları, birçok yüzeye iyi yapışma gösterir. Bu da kaplamanın dayanıklılığı açısından önemlidir. Silika nanoparçacıklarının farklı yüzeylere tutunabilme yeteneği ve yüksek sıcaklıklara karşı dirençli olması, onları geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilir hale getirir. Cam, metal, plastik, tekstil gibi birçok yüzeye uygulanabilir.

2.4.3. PDMS (Polidimetilsiloksan)

PDMS, düşük yüzey enerjisine sahip bir polimerdir, bu da yüzeye gelen su damlacıklarının genişlemeden küresel bir form almasını sağlar. Bu, suyun yüzeyle temasını minimumda tutarak süperhidrofobik etkiler yaratmaktadır. Esnekliği sayesinde, bükülebilen ve gerilebilen yüzeylerde bile su itici özelliklerini koruyabilir. Bu, özellikle tekstil ve esnek yüzeylerde kullanımını avantajlı hale getirmektedir (Zhu vd., 2017; Raj vd., 2020).

PDMS, kimyasal olarak inerttir ve birçok kimyasal maddeye karşı direnç göstermektedir. Bu, onu sert çevresel koşullara ve kimyasal etkileşimlere karşı dayanıklı hale getirmektedir. Aynı zamanda UV ışığına karşı dirençlidir, bu da güneş ışığına maruz kalan dış mekânlarda uzun süre dayanıklı kalmasını sağlar.

2.5. Tekstil Kumaşların Kendi Kendini Temizleyebilme Özelliği (Fotokatalitik Etki)

Kumaşlarda fotokatalitik etkiler, UV ışınları altında kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesini sağlayarak çeşitli kirlerin temizlenmesine olanak sağlayan bir süreçtir. Bu etki, fotokatalizörlerin kumaşın yüzeyine uygulanmasıyla elde edilir. Kumaşlarda fotokatalitik özelliklerin sağlanması, genellikle titanyum dioksit (TiO_2) ve ZnO nanopartikülleri ile gerçekleştirilir. TiO_2 ve ZnO gibi yarı iletkenler, UV ışığı altında su ve havadaki organik kirleticilerin bozunmasını sağlayan etkili fotokatalizörler olarak büyük ilgi görmüştür (Anbuvarannan vd., 2015; Hong vd., 2009; Zhu vd., 2017).

Fotokatalizörler, UV ışınları altında elektron çiftlerinin oluşumunu teşvik eder. Bu çiftler, kumaş yüzeyinde fotokatalitik reaksiyonları başlatır. Kumaş üzerindeki TiO_2 veya ZnO nanopartikülleri, UV ışınları tarafından uyarılır ve bu enerjiyi kullanarak oksijen ve su buharı gibi aktif ürünlerin oluşumunu sağlar. Bu aktif ürünler, kumaş üzerinde organik bileşiklerin oksidasyonunu kolaylaştırır ve böylece fotokatalitik etkinlik sağlanır (Anbuvarannan vd., 2015; Hong vd., 2009; Tabrizi vd., 2019).

2.6. UV Koruma (UPF Faktörü)

UV ışınları, UV-A (320-400 nm) ve UV-B (290-320 nm) olmak üzere iki ana dalga boyu içerir. UV-C ışınları atmosferde emilir, ancak UV-A ve UV-B ışınları cilt ve kumaşla etkileşime girer. UV-A ışınları daha derinlemesine cilt hasarına yol açarken, UV-B ışınları daha doğrudan güneş yanığına ve DNA hasarına neden olabilir.

Kumaşlar, UV ışınlarını geçirebileceği gibi, bu ışınları absorbe edebilir, yansıtabilir ya da dağıtabilir. UV ışınlarının engellenmesi için kumaşın yüzeyinde bazı fiziksel ve kimyasal bariyerler oluşturulması gerekir. Bunun için kullanılan teknolojiler, ışınların kumaşa girmesini veya kumaş üzerinden geçişini en aza indirmeye odaklanır. Kimyasal kaplamalar veya katkı maddeleri, kumaşlara UV koruma sağlamak için yaygın olarak kullanılır. Titanyum dioksit (TiO_2) ve çinko oksit (ZnO) gibi nanopartiküller, UV ışınlarını yansıtarak kumaşın daha fazla koruma sağlamasına yardımcı olur. Bu maddeler aynı zamanda fotokimyasal stabiliteye sahip olup, uzun süreli koruma sağlar (Broasca vd., 2013; Kathirvelu vd., 2009).

UPF (Ultraviolet Protection Factor), bir kumaşın hem UVA (320-400 nm) hem de UVB (290-320 nm) ışınlarını engelleme kapasitesini test etmek için yapılan bir değerlendirmedir. Uluslararası standartlara göre UPF değerlerinin kategorileri Çizelge 2.2’de özetlenmiştir (Grifoni vd., 2011).

Çizelge 2.2. Uluslararası standartlara göre UPF değerlerinin kategorileri

UPF Değeri	Koruma Düzeyi	UV Işını Geçirgenlik (%)
15-24	İyi Koruma	%6,7 - %4,2
25-39	Çok İyi Koruma	%4,1 - %2,6
40-50+	Mükemmel Koruma	%2,5 veya daha az

Uluslararası bilim topluluğu, güneş kremleri, kumaşlar ve renkli gözlükler gibi çeşitli koruma araçlarının UV ışınlarına karşı etkinliğini ölçmek için, aşağıdaki Denklem (2.3) ile hesaplanan Ultraviyole Koruma Faktörü (UPF) yöntemini geliştirmiştir (Bhattacharya vd., 2015; Sahito vd., 2015). UV-A ve UV-B bölgesindeki geçirgenliğin hesaplanması için kullanılan denklemler de Denklem (2.1) ve Denklem (2.2)’de verilmektedir (Bhattacharya vd., 2015; Sahito vd., 2015).

UV-A (320-400 nm) için UPF hesaplanması aşağıdaki Denklem (2.1)’deki gibidir:

$$UPF_{UVA} = \frac{\sum_{320\text{ nm}}^{400\text{ nm}} E\lambda S\lambda\Delta\lambda}{\sum_{320\text{ nm}}^{400\text{ nm}} E\lambda S\lambda\Delta\lambda} \quad (2.1)$$

UV-B (290-320 nm) için UPF hesaplanması aşağıdaki Denklem (2.2)’deki gibidir:

$$UPF_{UV-B} = \frac{\sum_{290\text{ nm}}^{320\text{ nm}} E\lambda S\lambda\Delta\lambda}{\sum_{290\text{ nm}}^{320\text{ nm}} E\lambda S\lambda\Delta\lambda} \quad (2.2)$$

$$UPF = \frac{\sum_{280\text{ nm}}^{400\text{ nm}} E\lambda S\lambda\Delta\lambda}{\sum_{280\text{ nm}}^{400\text{ nm}} E\lambda S\lambda\Delta\lambda} \quad (2.3)$$

$E(\lambda)$: Güneşin spektral UV ışınlamı (280-400 nm aralığında)

$S(\lambda)$: İnsan cildinin UV ışınlarına duyarlılık fonksiyonu

$T(\lambda)$: Kumaşın dalga boyuna bağlı UV ışın geçirgenliği

λ : Dalga boyu (nm)

$\Delta \lambda$: Nanometre cinsi olarak bant genişliği veya dalga boyu (Tsurutani ve Lakhina, 2014)'dur.



3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Süperhidrofobik nanokompozit kaplamalar, kendi kendini temizleme, su iticilik, alev geciktiricilik, UV koruma gibi benzersiz özelliklerinden dolayı son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Pürüzlü bir yüzey oluşturmak için nanoparçacıkların ve hidrofobik malzemelerin kullanılması, bu kaplamaların geliştirilmesi için umut verici bir yaklaşımdır. Son yıllarda araştırmacılar, bitki özleri, biyopolimerler gibi doğal malzemeler kullanarak bu tür yüzeyleri geliştirmek için çeşitli yaklaşımları araştırdılar. Bu tez çalışmasında, polidimetilsiloksan (PDMS), silisyum dioksit (SiO_2) ve çinko oksit (ZnO) içeren süperhidrofobik nanokompozit kaplamaların kendi kendini temizleme, UV koruma, yağ/su ayırma ve anti-bakteriyel gibi özelliklerin kazandırılmasında kullanılan çevre dostu yöntemler alanındaki son gelişmelere odaklanılmıştır. Aynı zama, süreç parametreleri değerlendirilerek özetlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada Zhu vd. (2017), flor içermeyen malzemelerle düşük maliyetli ve ölçeklenebilir bir yöntem kullanarak, çok işlevli kumaşlar hazırlamak için basit bir daldırma kaplama işlemi yoluyla süperhidrofobik pamuklu kumaşlar üretmeyi amaçlamışlardır. İlk olarak yapışkan bir tabaka oluşturmak için kumaşın yüzeyine PDMS uygulanmıştır, ardından ZnO nanoparçacıklarının substrat yüzeyinde büyümesini sağlamak için 100°C 'de 6 saat yağ banyosunda tutulmuştur. Son olarak, süperhidrofobik bir PDMS- ZnO -PDMS katmanı, tekrarlanan bir daldırma işlemi ile pamuklu kumaşların yüzeyi üzerinde başarılı bir şekilde oluşturulmuştur. Yapılan bu işlemlerin sonucunda, çok katmanlı kaplanmış numunelerin 160° 'yi aşan bir su temas açısı (CA) ile süperhidrofobik özellik gösterdiği kaydedilmiştir. Sonuç olarak, oluşturulan PDMS- ZnO -PDMS@pamuk kumaşın, UV ışınını önleme, kendi kendini temizleme ve yağ-su ayırma dâhil olmak üzere mükemmel çoklu işlevler sergilediği görülmüştür. Uygulanan tekniğin, şeffaf cam, taş ve silikon elektrik panoları gibi zeminlere uygulanabileceği öne sürülmüştür (Zhu vd., 2017).

Xu ve Zhang (2021), süperhidrofobik yüzeyler elde etmek için pamuklu kumaşlar üzerinde iki basit yöntem kullanmışlardır. İlk önce farklı yüzey pürüzlülüğü (SiO_2 ve ZnO ile) ve morfolojisine sahip iki pamuklu kumaş oluşturulmuş ve daha sonra su itici yüzeyler elde etmek için pamuklu kumaşlar HDTMS ile modifiye edilmiştir. İki farklı pamuklu kumaş numunesinin ıslanabilirliği, istenen süperhidrofobik yüzeyi tasarlama ve uygulanabilirliğini araştırmak amacıyla karşılaştırmışlardır. Pamuklu kumaş numunelerinin ıslanabilirliğini, su temas açısı (WCA) ve kayma açısı ölçümleri vasıtasıyla araştırmışlardır. ZnO ve DTMS ile

işlenmiş pamuklu kumaşın, 150°'den fazla temas açısı ve daha düşük kayma açısı ile daha iyi bir su itici özellik sergilediği görülmüştür (Xu ve Zhang., 2021).

Agrawal vd. (2019), süperhidrofobik, antibakteriyel ve UV ışını önleme işlevlerine sahip pamuklu kumaşlar üzerinde dayanıklı kaplamalar hazırlamak için yeni ve basit bir yöntem bildirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaca ulaşmak adına, bir silan birleştirme ajanının ZnO nanoparçacıklarını kumaşa bağlamak için bir silan çapraz bağlayıcısı (APTES) olarak görev yapmıştır ve diğerinin (HDTMS) yüzey enerjisini düşürmek için bir silan hidrofob olarak işlev gördüğü bir çift silanizasyon yaklaşımını benimsemişlerdir. Bu çalışmada, çinko oksit nanoparçacıkları, APTES silan çapraz bağlayıcı kullanılarak saf pamuklu kumaşın yüzeyinde biriktirilmiştir ve ayrıca HDTMS silan hidrofob ile modifiye edilmiştir. Bu ikili silanizasyon yaklaşımı ile antibakteriyel aktivite ve saf pamuğun 200 katından fazla UV ışını önleme yeteneği ile süperhidrofobiklik sergileyen son derece işlevsel kumaşlar elde edilmiştir. Hazırlanan kumaşların aşınmaya, ultrasonik yıkamaya, farklı pH çözeltilerine daldırmaya ve UV ışınlarına karşı mükemmel dayanıklılık gösterdiği görülmüştür. Ayrıca temas açısının 154° ve kayma açısının da 2° olduğu kaydedilmiştir (Agrawal vd., 2019).

Lin vd. (2019), pamuklu kumaş için aynı anda hem alev geciktirici hem de süperhidrofobiklik sağlayan çift işlevli bir kaplama oluşturmaya yönelik yenilikçi bir yöntemi açıklamaktadır. Yaklaşım, pamuklu kumaşın tetraetoksisilan (TEOS), hidroksil-sonlu polidimetilsiloksan (HPDMS) ve amonyum polifosfat (APP) içeren bir etanol süspansiyonuna daldırılmadan önce O₂ plazması ile muamele edildiği tek kaptaki bir sol-jel reaksiyonunu içerir. Bu çalışmanın sonucunda alev geciktirici katkı maddeleri ile işlenen pamuklu kumaşların suyla temas açısı 160°'nin üzerindedir. Kazandıkları bu özellik sayesinde olağanüstü dayanıklılık ve kendi kendini temizleme yeteneği göstermişlerdir. Alev geciktirici özellikleri ölçmek için mikro ölçekli yanma kalorimetrisi (MCC) ve dikey alev testi yapılmıştır. Bu testlere maruz kaldığında, hızla koruyucu bir bariyer görevi görerek kalın bir tabaka oluşturmuştur ve ayrıca yanıcı olmayan gazlar salarak yangını söndürmek için katkıda bulunmuştur. Yöntem, basitliği, maliyet etkinliği ve düşük toksisitesiyle çok işlevli alev geciktirici kaplamaların üretiminde umut verici bir yaklaşım sunmaktadır (Lin vd., 2019).

Yang vd. (2023), yaptıkları çalışmada, yeşil ve çevre dostu bir yöntem geliştirmişler ve pamuklu kumaş yüzeyini alev geciktirici modifikasyon için biyokütle tanen (TA) ve fitik

asit (PA) ile kaplamak için LbL yöntemini kullanmışlardır. Ardından hidrofobik özellikler için tek katmanlı polidimetilsiloksan (PDMS) ile birleştirmişlerdir. Modifiye edilmiş kumaşlar, kendi kendine söndürme özellikleri ve karbon katmanları göstererek önemli bir gelişme sergilemişlerdir. Ayrıca, modifiye edilmiş kumaşlar, toplam ısı ve duman salınımında önemli azalmalar sağlamıştır. PDMS, kumaşlara belirli bir hidrofobik özellik (106°) kazandırmıştır (Yang vd., 2023).

He vd. (2023), florlu PDMS, silikon kauçuk ve amonyum polifosfatın (APP) birleşimiyle elde edilen bir kaplama yöntemi kullanmışlardır. PET kumaşların yüzeyine püskürtme yöntemiyle uygulanan bu kaplamalar, yüksek süperhidrofobiklik, kendi kendini temizleme yeteneği ve mükemmel alev geciktirici performans sağlamıştır. Dikey yanma testleri, kaplanmış kumaşların alev geciktirici özelliklerinin belirgin bir şekilde geliştiğini göstermiştir (He vd., 2023).

Guo vd. (2020), iki aşamalı bir püskürtme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen alev geciktirici ve süperhidrofobik bir kaplama geliştirmişlerdir. Bu kaplama işlemi, ilk aşamada alkilamonyum fonksiyonel silseskioksan (A-POSS)/fitik asit (PA) kompleksinden oluşan alev geciktirici bir katman ve ikinci aşamada hiyerarşik yapıdaki titanyum oksit@polidimetilsiloksan (TiO_2 @PDMS) bileşenlerinden oluşan süperhidrofobik bir katman içerir. Kaplama bileşenlerinin kumaşın alev geciktirme, termal ve ıslatma özellikleri üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Bunun sonucunda, yanıcılık testlerinde yapılan ölçümlerde saf pamuklu kumaşlara göre önemli ölçüde iyileşme gösterdiği görülmüştür. Kaplanan kumaşlar, dikey yanma testlerinde kendi kendine sönmeye davranışı sergilemişlerdir. Süperhidrofobik yüzeyi sayesinde kendi kendini temizleme yeteneği gösteren kaplanmış kumaşlar, su-yağ ayrımı testlerinde de etkili bir performans sergilemiştir. Ayrıca, kaplanmış kumaşlar süper aşınma direnci ve yıkama dayanıklılığı açısından da başarılı sonuçlar vermiştir (Guo vd., 2020).

Zheng vd. (2021), yaptıkları bir çalışmada, çevre dostu ve sürdürülebilir fonksiyonel tekstillerin geliştirilmesi amacıyla doğal kahverengi deniz yosunundan elde edilen aljinat liflerini kullanmışlardır. Bu lifler, tipik olarak kalsiyum aljinat gibi, mükemmel içsel alev geciktiriciliğe, biyo uyumluluğa ve hidrofiliğe sahiptir. Ancak, su emiliminin neden olduğu deformasyon sorununu çözmek için, süperhidrofobik aljinat kumaşları, heksadesiltrimetoksisilan (HDTMS) alkol içinde tek adımlı bir daldırma kaplama işlemiyle

hazırlanmıştır. Bu işlem sonucunda elde edilen kumaşlar, mükemmel su iticiliği göstererek suya karşı yüksek direnç kazanmıştır. Ayrıca, kalsiyum aljinatın doğal alev geciktirici özellikleri sayesinde, işlenmiş aljinat kumaşlar olağanüstü bir yangına dayanıklılık sergilemiştir. Özellikle, işlenmiş kumaşlardan yapılan dekoratif bir çiçek, su direnci ve alev geciktiricilik özellikleriyle dikkat çekmiş ve aljinat tekstilin çevre dostu alev geciktirici nksiyonel tekstiller alanındaki uygulama potansiyelini artırmıştır (Zheng vd., 2021).



4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Kullanılan Materyaller

Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan cihazlar; UV lambası (Phillips 15W, UVC, 45 cm, 395 nm), 6'lı ısıtıcılı manyetik karıştırıcı (WiseStir Wisd), santrifüj cihazı (WiseStir Wisd), ultrasonik banyo (Bandelin Sonorex RK 100). Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasallar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan kimyasal maddeler

Kimyasalın Adı	Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Firma Adı
Ethanol, %99,9	C ₂ H ₅ OH	46,07	Merck
Çinko Nitrat-6-hidrat kristali	Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	297,47	Merck
Polidimetilsiloksan	C ₂ H ₆ OSi	236,53	Sigma-Aldrich
Hekzan	C ₆ H ₁₄	86,18	Sigma-Aldrich
Aseton	C ₃ H ₆ O	58,08	Merck
Sodyum Hidroksit	NaOH	39,99	Merck
Tetraetil Ortosilika (TEOS)	Si(OC ₂ H ₅) ₄	208,33	Sigma-Aldrich
Hidroklorik Asit, %37	HCL	36,46	Merck
Malachite Yeşili	C ₂₃ H ₂₅ N ₂ Cl	329,46	Gündüz Kimya
Metilen Mavisi	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S	319,85	Gündüz Kimya

4.2. Yöntem

Çizelge 4.2'de farklı kombinasyonlarda hazırlanan kompozit malzemelerin kumaşlara uygulama süreçleri ve hazırlık aşamaları özetlenmiştir. Bu tablonun amacı; her bir bileşenin kumaş yüzeyine nasıl uygulandığını ve bu süreçlerin birbirleriyle olan ilişkisini göstermektir.

Çizelge 4.2. ZnO, SiO₂ ve PDMS ile hazırlanan kompozitlerin uygulama detayları

Kaplama Metodu	Kaplama Süreci	Kaplama Şekli
PDMS	Sadece PDMS çözeltisi	Tek aşamalı homojen kaplama
PDMS/ZnO	ZnO + PDMS (homojen çözelti)	Tek aşamalı homojen kaplama
PDMS/SiO₂	SiO ₂ + PDMS (homojen çözelti)	Tek aşamalı homojen kaplama
ZnO/SiO₂-PDMS	ZnO/SiO ₂ kaplama → Üzerine PDMS kaplama	Katmanlı kaplama
ZnO/SiO₂/PDMS	ZnO + SiO ₂ + PDMS (homojen çözelti)	Tek aşamalı homojen kaplama
ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS	ZnO + PDMS kaplama → Üzerine SiO ₂ + PDMS kaplama	Katmanlı kaplama

4.2.1. Kumaşların hazırlanması

Bursa’da bulunan “Karesi” tekstil firmasından alınan viskon ve polyester kumaşlar, sırasıyla 5x5 cm ve 7x7 cm boyutlarında kesilerek etanol + aseton karışımında yıkandı. Daha sonra 30 dakika ultrasonik banyoda temizlenerek, saf su ile yıkandı. Tüm bu temizleme işlemlerinin ardından 70°C’ye ayarlanmış etüvde kurutularak kumaşlar kaplanmaya hazır hale getirildi (Chauhan vd., 2019).

4.2.2. ZnO nanopartiküllerinin yeşil sentez ile eldesi

Tokat yöresinde yetişen Eşme Ayvasından ayıklanmış, temizlenmiş ve kurutulmuş ayva çekirdeği tartıldı. Distile su ortamında 4 saat karıştırıldı ve santrifüjlendi. Elde edilen bitki müsilajı çinko nitrat heksahidrat ile karıştırılarak hacim 100 ml’ye ulaştırıldı ve 2 saat aynı hacimde tutuldu (Şekil 4.1).

80°C’de su banyosunda karışımın hacmi 15 ml’nin altına düşürüldü. Bu işlemin ardından 80°C’deki etüvde kurutuldu. Daha sonra 500 °C de 2 saat kalsinasyona tabi tutuldu (Moghaddas vd., 2020).



Şekil 4.1. Ayva çekirdeklerinden müsilaj eldesi

4.2.3. SiO₂ nanopartiküllerin eldesi

Bir miktar etanol/su karışımı ultrasonik banyoda bekletildikten sonra, bu karışıma HCl eklenerek 800 rpm’de 60°C’de 50 dakika manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Manyetik karıştırıcının hızı 270 rpm’e düşürüldükten sonra TEOS bu karışıma damla damla ilave edildi. Beyaz şeffaf homojen bir çözelti haline geldikten sonra oda sıcaklığında 2 saat bekletildi.

Elde edilen süspansiyon 110°C’de kurutulduktan sonra SiO₂ nanoparçacıkları elde edildi (Nandanwar vd., 2015).

4.2.4. PDMS kaplı yüzeylerin eldesi

Kaplama çözeltisi hazırlanırken, çapraz bağlayıcı/PDMS (1:10) oranında kullanıldı. PDMS üzerine hekzan eklenerek 200 rpm’de manyetik karıştırıcıda 30 dakika karıştırıldı. Daha sonra üzerine sertleştirici eklenerek 2 saat ultrasonikasyona tabii tutuldu. Ultrasonikasyon işleminin ardından manyetik karıştırıcıda 4 saat karıştırıldı.

Temizlenen kumaşlar, hazırlanan PDMS çözeltisine aynı hızda daldırılıp çıkartıldı. Son olarak, 130°C’de 1 saat etüvde kurutuldu (Zhu vd., 2017).

4.2.5. ZnO/PDMS kaplı yüzeylerin eldesi

Elde edilen ZnO nanopartikülleri etanol içinde çözünmesi için 3 saat manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Daha sonra 0,1 M NaOH çözeltisi ilave edilerek 5 saat ultrasonik banyoda karıştırıldı. Elde edilen çözelti, tek tip süspansiyon oluşturmak için PDMS/hekzan çözeltisine ilave edilerek 30 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırıldı.

Temizlenen kumaşlar, hazırlanan çözeltiye aynı hızda daldırılıp çıkartıldı. Son olarak, 130°C’de 1 saat etüvde kurutuldu (Zhu vd., 2017).

4.2.6. SiO₂/PDMS kaplı yüzeylerin eldesi

Elde edilen SiO₂ nanoparçacıklar havanla ezilerek toz haline getirildi. Toz haline gelen SiO₂ nanoparçacıkları propanol içerisinde ultrasonikasyon yardımı ile 3 saat karıştırıldı.

Daha sonra 4.2.4’de anlatılan yöntemle hazırlanan PDMS çözeltisi, SiO₂ çözeltisine ilave edilerek ultrasonikasyonda bir saat karıştırıldı. Bu işlemin ardından 6 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılarak kaplama çözeltisi hazırlandı.

Temizlenen kumaşlar, hazırlanan SiO₂/PDMS çözeltisine aynı hızda daldırılıp çıkartıldı ve 130°C’de 1 saat etüvde kurutuldu (Gültaktı, 2020).

4.2.7. ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kaplı yüzeylerin eldesi

Bölüm 4.2.4’de anlatılan yöntemle hazırlanan PDMS çözeltisi, SiO₂ çözeltisine ilave edilerek ultrasonikasyonda bir saat karıştırıldı. Bu işlemin ardından 6 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılarak kaplama çözeltisi hazırlandı.

Temizlenen kumaşlar, hazırlanan ZnO/PDMS çözeltisine aynı hızda daldırılıp çıkartıldı ve 130°C’de 1 saat etüvde kurutuldu. ZnO/PDMS ile kaplanan kumaşlar,

SiO₂/PDMS çözeltisine aynı hızda daldırılıp çıkartıldı. Son olarak, 130°C’de 1 saat etüvde kurutuldu (Zhu vd., 2017; Gültaktı, 2020).

4.2.8. ZnO/SiO₂/PDMS kaplı yüzeylerin eldesi

SiO₂ çözeltisinden 5 ml alınarak PDMS çözeltisine ilave edildi. Bu solüsyon 4 saat manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra ZnO çözeltisi ilave edildi.

Temizlenen kumaşlar, SiO₂/ZnO/PDMS çözeltisine aynı hızda daldırılıp çıkartıldı. Son olarak, 130°C’de 1 saat etüvde kurutuldu (Zhu vd., 2017; Gültaktı, 2020; Long vd., 2019).

4.2.9. ZnO/SiO₂-PDMS kaplı yüzeylerin eldesi

Temizlenen kumaşlar, hazırlanan SiO₂/ZnO çözeltisine aynı hızda daldırılıp çıkartıldı ve 130°C’de 1 saat etüvde kurutuldu. SiO₂/ZnO kaplı kumaşlar, 4.2.4’de anlatılan yöntemle hazırlanan PDMS çözeltisine aynı hızda daldırılıp çıkartıldı ve 130°C’de 1 saat etüvde kurutuldu (Zhu vd., 2017; Gültaktı, 2020; Long vd., 2019).

4.3. Sentezlenen Nanopartikül Ve Kumaşların Karakterizasyonu

SiO₂ nanopartikülleri ve yeşil sentez ile ZnO nanoparçacıkları sentezlenmiş ve farklı kombinasyonlarda kompozitler sentezlendi. Elde edilen kompozitlerin farklı tür kumaşlara kaplanması yapıldıktan sonra UV koruma, fotokatalitik etki (kendi kendini temizleme) ve süperhidrofobiklik (temas açısı) performansı gibi özellikleri incelendi. Bu nanopartiküllerin, kompozitlerin ve kaplanmış kumaşların karakterizasyonları aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

4.3.1. X-Işınları Difraktometresi (XRD)

Sentezlenen nanopartiküllerin karakterizasyonu Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı (ARUM) X-ışınları bölümünde Panalytical EMPYREAN marka XRD cihazı ile yapıldı. Malzemelerin yapısı ve fazı, Cu-Ka, 40 kV ve 30 mA radyasyonu 1,5406 Å dalga boyunda belirlendi. XRD analizinde 0-80° (2Teta) aralığında ölçümler alındı. Partikül çapını belirlemek için Denklem 4.1’de verilen formül kullanıldı.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (4.1)$$

Burada,

D: tane büyüklüğü, nm

K: bir sabit olarak alınır: 0,94

λ : X-ışını radyasyonunun dalga boyu, 1,5406 Å

β : X-ışını radyasyonunun yarı maksimumda tam genişlik, 80°

Θ : Kırınım açısı, 2 Θ

4.3.2. Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM)

Sentezlenen nanopartiküllerin yüzey morfolojisini incelemek, partikül boyutlarını ve elementlerini tayin etmek için ARUM bünyesinde bulunan Hitachi Regulus 8230 markalı FE-SEM cihazı kullanıldı. Kumaşların SEM görüntülerinin alınabilmesi için yüzeyin iletken olması gerekmektedir. Bu nedenle, iletken bir yüzey elde etmek amacıyla kumaşlara Leica EMACE 200 vakumlu kaplama cihazı kullanılarak Au kaplama uygulandı.

4.3.3. UV-Vis Spektrofotometresi

İşlem görmüş ve işlem görmemiş kumaşlar üzerinde UV koruma özelliğini test edebilmek için ARUM merkezindeki Perkin Elmer Lambda 750 markalı UV-Vis Spektrofotometre cihazı ile 250-800 nm arasında ölçümler yapılarak % geçirgenlik değerleri elde edildi.

4.3.4. Temas Açısı Ölçer

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan TerraLab markalı temas açısı ölçer cihazı (Şekil 4.2) kullanıldı. Çalışmada saf viskon ve polyester kumaşların ve kaplanmış kumaşlar üzerine 10 µL hacminde ultra saf su damlatıldı ve temas açıları ölçüldü. Her bir tekstil kumaşı için üç ayrı temas açısı ölçümü yapıldı ve ortalaması alındı.



Şekil 4.2. Temas açısı ölçer cihazı

4.3.5. Kendi Kendini Temizleme (Fotokatalitik Etki)

Saf ve kaplanmış kumaşlar üzerinde kirleticilerin fotokatalitik etkisi için Phillips markalı, UV lambası (15 W, UVC, 45 cm, 395 nm) kullanıldı. Tekstil kumaşlarına uygulanan nanopartiküllerin fotokatalitik aktivitesi, UV ışınımı altında metilen mavisi (MB), malahit yeşili boyasının ve ketçabın bozunması yoluyla zaman ile incelendi. Kirleticilerin derişimi 50 ppm olarak kullanıldı. Saf ve farklı tür kumaşlarda fotokatalitik etkinin incelenmesi için Şekil 4.3’de görülen düzenek kullanıldı.



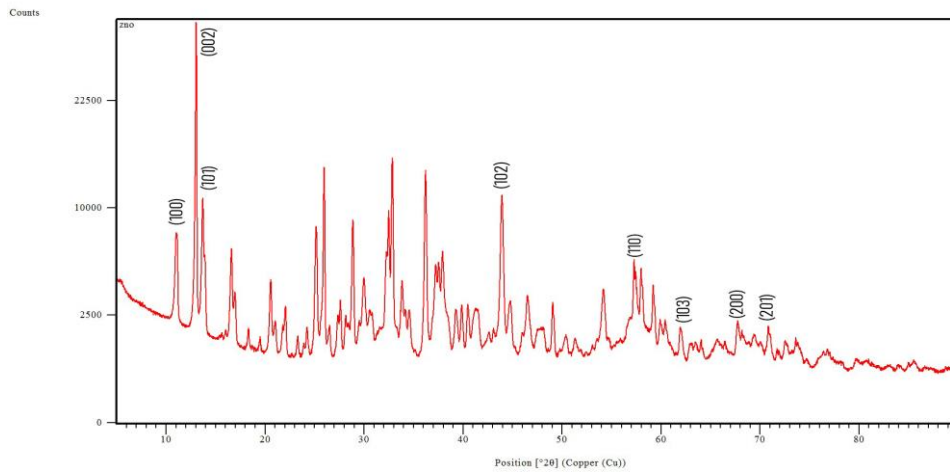
Şekil 4.3. Saf ve farklı tür kumaşlarda fotokatalitik etkinin incelenmesi için kurulan düzenek

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ayva çekirdeği musilajından yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartikül ve sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO₂ nanopartikülün yüzey morfolojisini incelemek için FE-SEM, EDS, XRD analizi yapıldı. Elde edilen ZnO ve SiO₂ nanopartikülleri kullanılarak hazırlanan kompozitlerle kaplanmış viskon ve polyester kumaşların yüzey morfolojisini incelemek için SEM, EDS, XRD analizi, UV ölçümleri ve ayrıca fotokatalitik etki testleri ve temas açısı ölçümleri yapıldı.

5.1. Sentezlenen Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

Yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartiküllerinin XRD analiz grafiği Şekil 5.1’de verilmektedir.

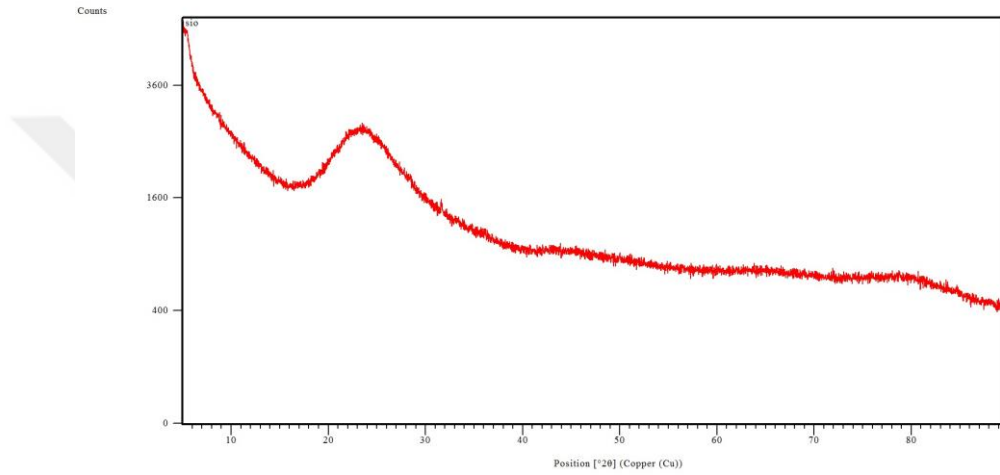


Şekil 5.1. Yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartikülün XRD grafiği

Yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartiküllerinin XRD analizi sonucunda elde edilen grafik, kristal yapının belirlenmesi ve faz analizi açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Bu tür analizlerde genellikle ZnO'nun altıgen (wurtzite) kristal yapısına ait difraksiyon tepe noktaları gözlenir. Grafikte, özellikle 2θ açılarında belirgin difraksiyon pikleri tespit edilmektedir. ZnO'nun karakteristik wurtzite yapısı için önemli olan tepe noktaları genellikle $2\theta = 31,7^\circ; 34,4^\circ; 36,2^\circ; 47,5^\circ; 56,6^\circ; 62,8^\circ; 66,3^\circ; 68,0^\circ$ ve $69,1^\circ$ civarında görülmektedir. Bu tepe noktaları, (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), ve (201) düzlemlerine (JCPDS 36-1451) karşılık gelmektedir (Tabrizi vd., 2019).

Sentezlenen ZnO nanopartiküllere ait XRD grafiği üzerinde bu pozisyonlara ait tepe noktaları $30,8312^\circ$ (100), $34,5004^\circ$ (002), $36,4064^\circ$ (101), $47,8099^\circ$ (102), $56,6820^\circ$ (110), $62,9788^\circ$ (103), $66,4733^\circ$ (200), $69,1562^\circ$ (201) şeklinde elde edilmiştir. Sentezlenen nanopartiküllerin tane boyutu, Debye-Scherrer formülü kullanılarak hesaplandı ve partikül çapı 74,46 nm olarak hesaplandı (Denklem 4.1).

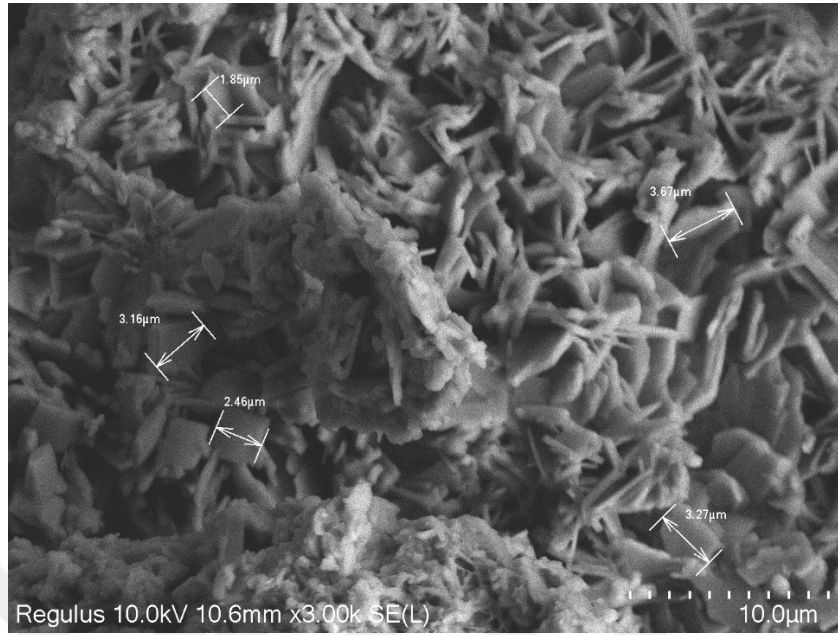
Sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO_2 nanopartikülüne ait olan XRD grafiği Şekil 5.2’de verildiği gibidir.



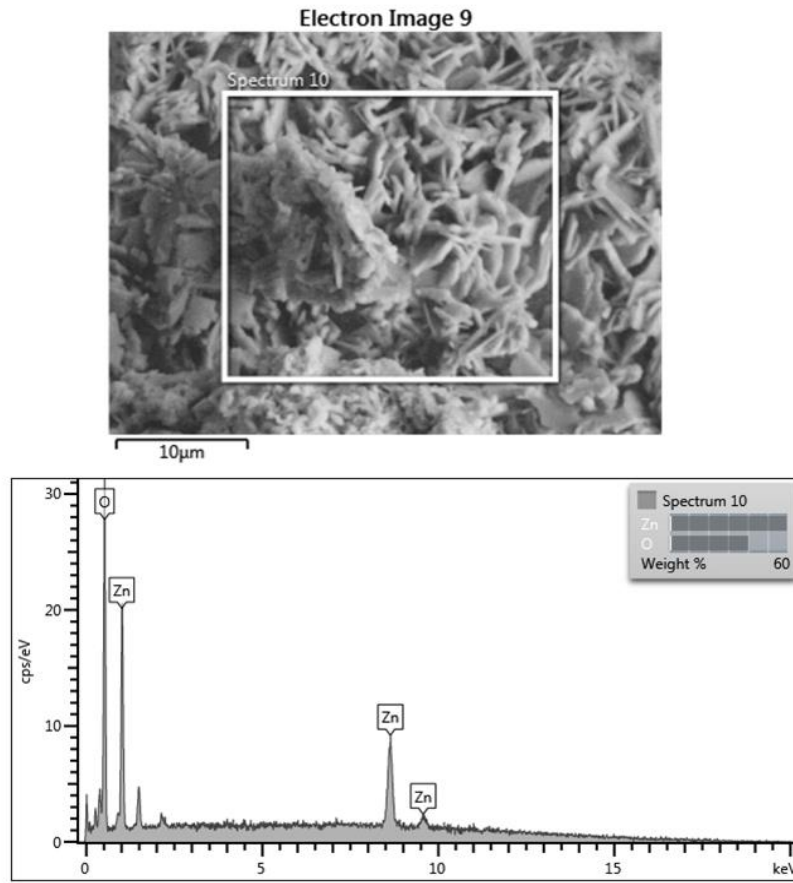
Şekil 5.2. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO_2 nanopartikülünün XRD grafiği

Sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO_2 nanopartikülüne ait olan XRD grafiği Şekil 5.2’de verildiği gibidir. Sentezlenen SiO_2 nanopartikülüne ait olan grafikte keskin, belirgin zirveler yerine geniş bir tepe görülmektedir (Musić vd., 2011). Amorf yapılar, düzenli kristal yapı yerine düzensiz bir atom düzenlemesine sahiptir. XRD grafiğinden, elde edilen SiO_2 nanopartikülünün altıgen kristal yapıya sahip olduğu açıktır (Nandarwal vd., 2015). Geniş tepe genellikle $2\theta = 15^\circ - 30^\circ$ aralığında görülür. Bu, SiO_2 ’nin amorf yapısına işaret eder.

Ayva çekirdeği musilajından yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartikülünün FE-SEM görüntüsü ve EDS analizi sonuçları sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4’te görüldüğü gibidir. FE-SEM görüntüsünde elektronların hızı 10.0kV, elektronların örneğe olan mesafesi 10.6 mm ve x3000 büyütmededir. FE-SEM görüntüsü, ZnO nanopartiküllerinin çoğunlukla çubuk şeklinde olduğunu ve alt tabakadan dik olarak dışarı doğru olduğunu görülmektedir. Partikül çapı 74,46 nm olan ZnO nanopartiküllerinin uzunlukları düzgün dağılmaktadır.



Şekil 5.3. Yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartiküllerin FE-SEM görüntüsü



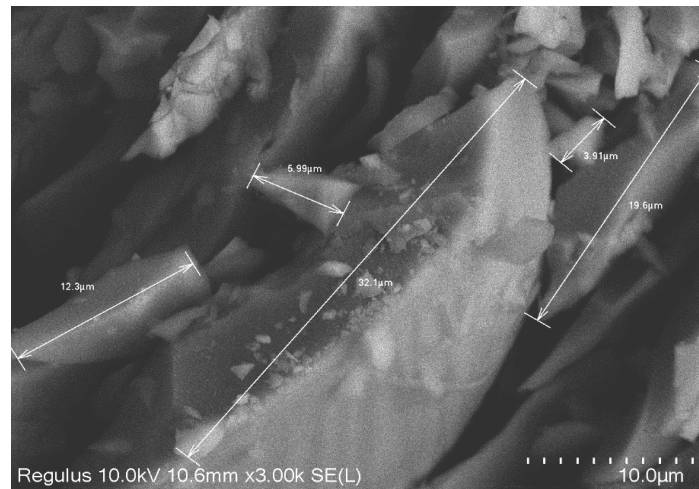
Şekil 5.4. Yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartiküllerin EDS analizi

Yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartiküllerindeki elementlerin ağırlık yüzdesi Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelge 5.1’de O ve Zn elementlerinin ağırlık yüzdelерinin sırasıyla 40,32 ve 59,68 olduğu görölmektedir. Yüksek Zn ve O element bileşimi içeren bu veriler, sentezlenen ZnO nanopartiküllerinin saflığını kanıtlamaktadır.

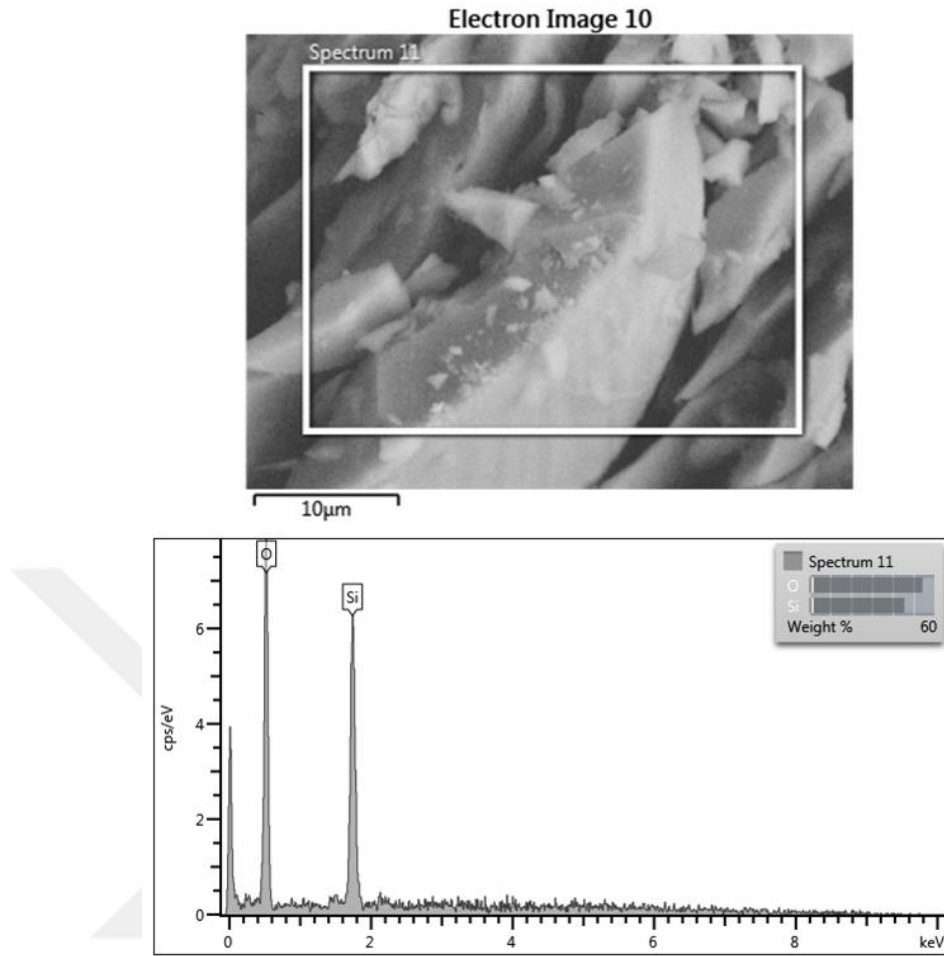
Çizelge 5.1. ZnO Nanopartiküllerinin EDS analizi

Element	Wt%	Wt% Sigma
O	40,32	0,99
Zn	59,68	0,99
Total:	100,00	

Şekil 5.5-5.6’da sol-jel yöntemiyle elde edilen SiO₂ nanopartiküllerinin sırasıyla FE-SEM görüntüsü ve EDS analizi görölmektedir. Şekil 5.5’de verilen FE-SEM görüntüsünde elektronların hızı 10.0kV, elektronların örneğe olan mesafesi 10.6 mm ve x3000 büyütmededir. Şekil 5.5’de parçacıkların düzensiz, amorf bir yapıya sahip olduğu görölmektedir. Parçacıkların boyutuna bakıldığında en uzun ölçüm 32,1 µm’dir. En kısa ölçüm 3,91 µm’dir. Bu parçacıklar, keskin kenarlar ve sivri köşeler dâhil olmak üzere çeşitli şekiller sergilemektedir. Bu düzensiz ve amorf yapı, geniş bir tepe görülen XRD grafiği ile örtüşmektedir. Çizelge 5.2’de sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO₂ nanopartiküllerinin EDS analizi sonucu görölmektedir. SiO₂’nin içeriği; %45,61 Si ve %54,39 O olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.5. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO₂ nanopartiküllerinin FE-SEM görüntüsü



Şekil 5.6. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO₂ nanopartiküllerinin EDS analizi

Çizelge 5.2. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO₂ Nanopartiküllerinin EDS analizi

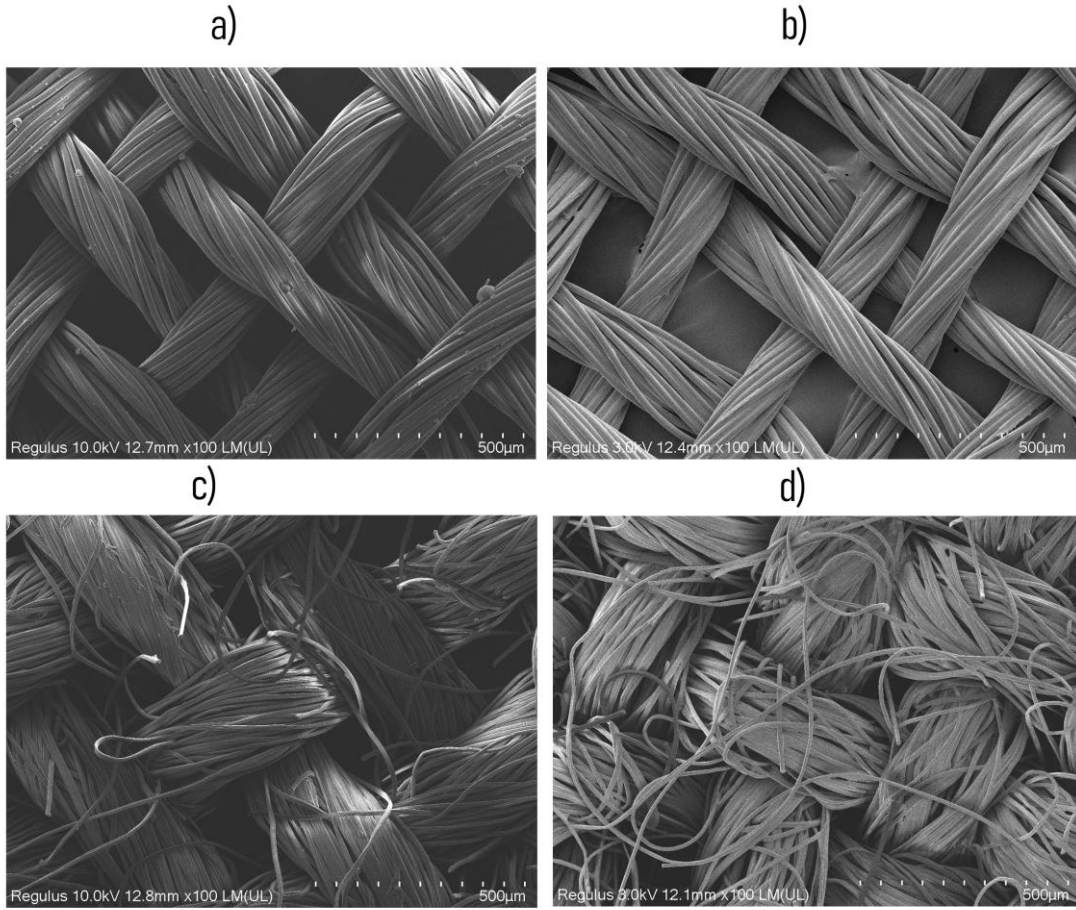
Element	Wt%	Wt% Sigma
O	54,39	1,59
Si	45,61	1,59
Total:	100,00	

5.2. Kumaşların Karakterizasyonu

Saf kumaşların ve optimum şartlarda hazırlanan süperhidrofobik kumaşların yüzey morfolojisini ve elementel analizini belirlemek için FE-SEM-EDS analizi yapıldı (Şekil 5.7-5.18). Şekil (5.7 a-c)'de saf viskon ve polyester kumaşların kendine özgü kırışıklıkları olduğu ve doğal çizgiler dışında kumaşın pürüzsüz olduğu görüldü. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'e

bakıldığında PDMS kaplamanın viskon kumaşa daha iyi tutunduğu, Si elementlerinin daha yoğun olduğu görülmektedir.

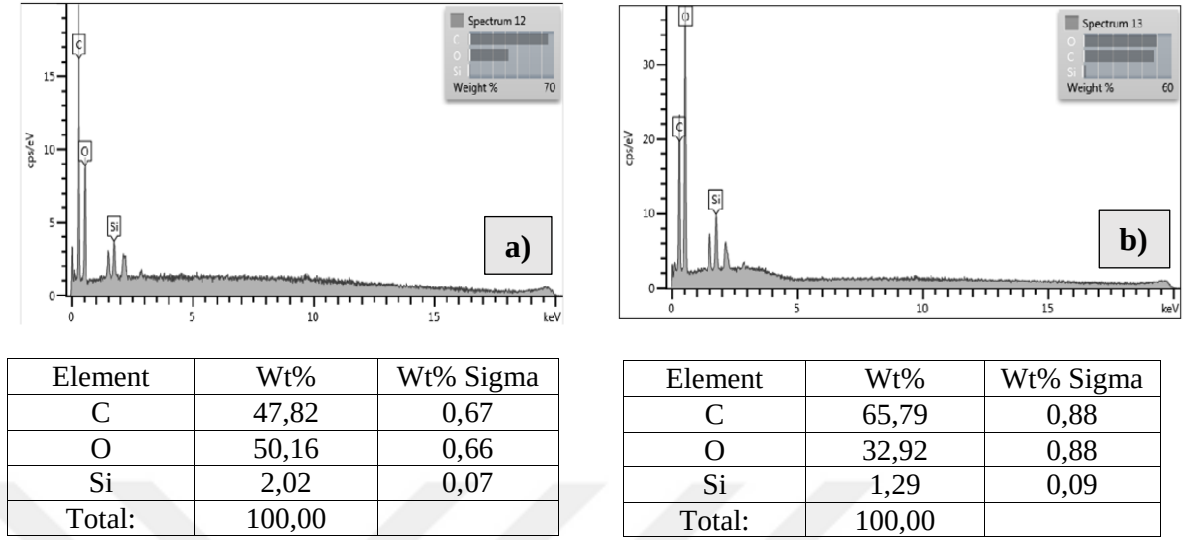
Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'a bakıldığında ZnO ve PDMS nanoparçacıkların modifikasyonundan sonra kumaşlarda istenildiği gibi pürüzlülük oluştuğu görüldü. Şekil 5.10 (a)'da verilen EDS analiz sonucuna göre Si elementlerinin viskon kumaşta % 11,84, Zn elementlerinin %1,93 olduğu, Şekil 5.10 (b)'de verilen polyester kumaşlara ait EDS analiz sonucunda ise Si elementlerinin %8,13, Zn elementlerinin % 0,61 olduğu görülmektedir. Bu veriler ZnO ve SiO₂ nanopartikülerinin viskon kumaşın yüzeyine daha iyi tutunduğu şeklinde yorumlanabilir.



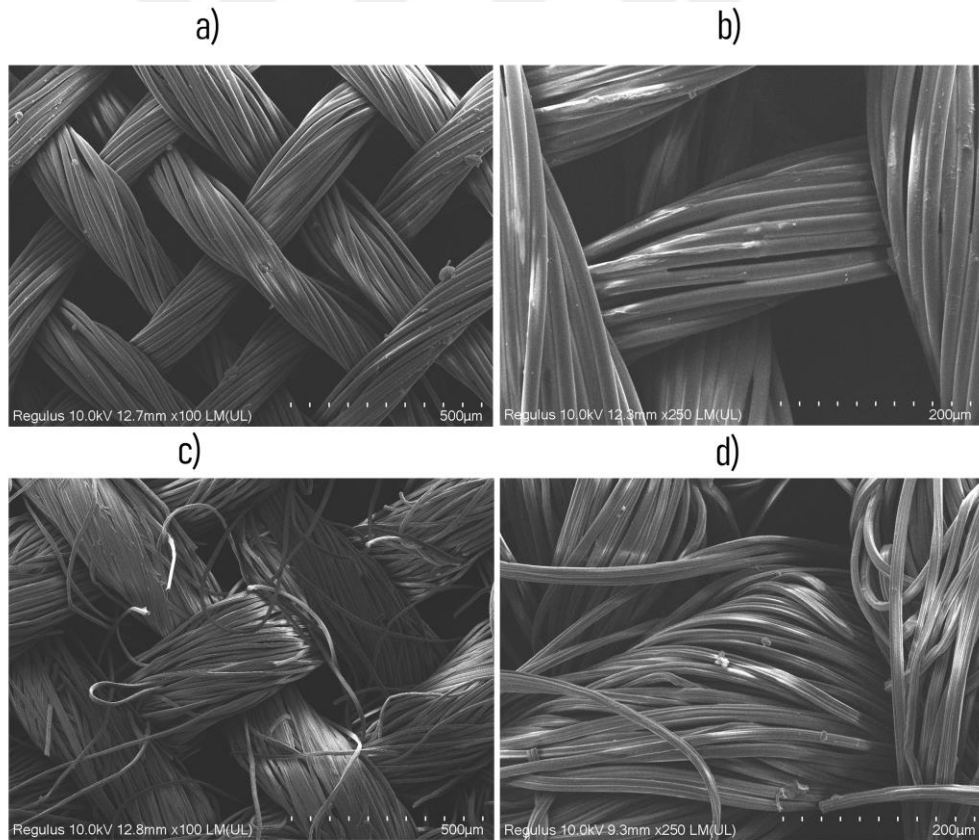
Şekil 5.7. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri

a) Saf viskon b) PDMS kaplı viskon c) Saf polyester

d) PDMS kaplı polyester



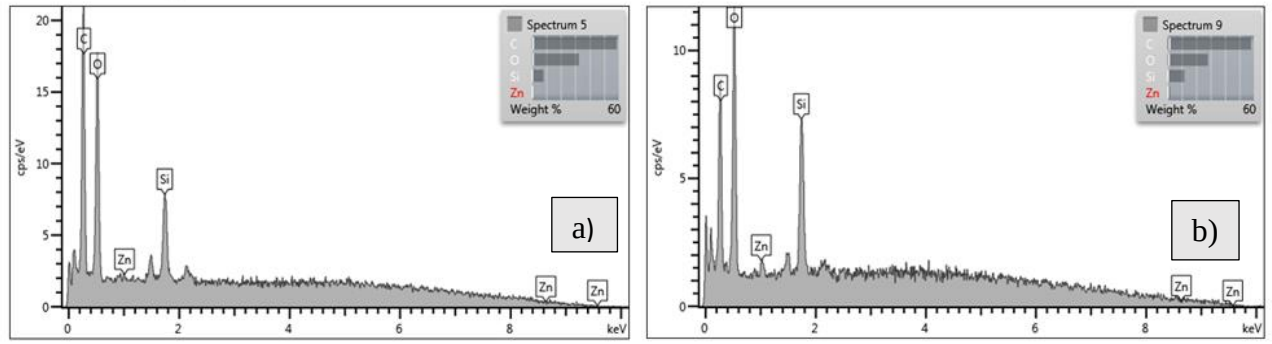
Şekil 5.8. PDMS kaplı kumaşların EDS analizi a) viskon b) polyester



Şekil 5.9. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri

a) saf viskon b) PDMS/ZnO kaplı viskon c) saf polyester

d) PDMS/ZnO kaplı polyester



Element	Wt%	Wt% Sigma
C	58,02	1,63
O	28,21	1,25
Si	11,84	0,60
Zn	1,93	0,54
Total:	100,00	

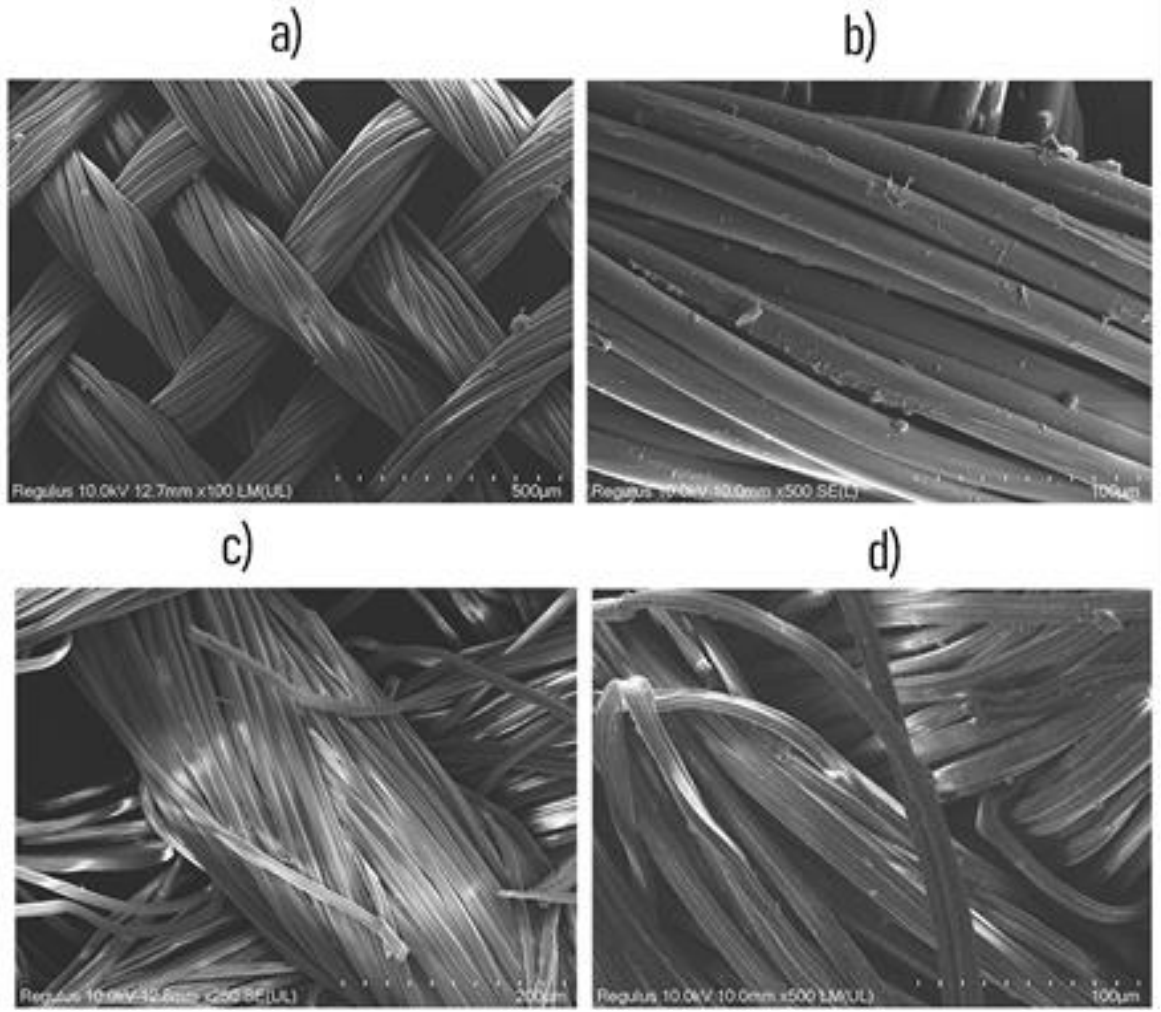
Element	Wt%	Wt% Sigma
C	58,73	0,96
O	32,53	0,89
Si	8,13	0,38
Zn	0,61	0,49
Total:	100,00	

Şekil 5.10. PDMS/ZnO kaplı kumaşların EDS analizi

a) viskon b) polyester

Şekil 5.11-12’de PDMS/SiO₂ kaplı viskon ve polyester kumaşın FE-SEM görüntüleri bulunmaktadır. Hem viskon hem de polyester kumaşlarda, PDMS/SiO₂ kaplaması liflerin yüzey özelliklerini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Şekil 5.11 (a)’da, saf viskon kumaşın liflerinin karakteristik düz ve pürüzsüz yüzeyi görülmektedir. Lifler arasındaki düzenli dokuma yapısı açıkça belirgindir. Kaplama sonrası, liflerin yüzeyinde belirgin pürüzlü bir yapı oluşmuştur. PDMS/SiO₂ kaplamasının, lif yüzeyine homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Bu durum, kumaşın hidrofobik özellik kazanmış olabileceği ve kir tutma kapasitesini azaltılabileceği sonucuna varılabilir (Liu vd., 2021).

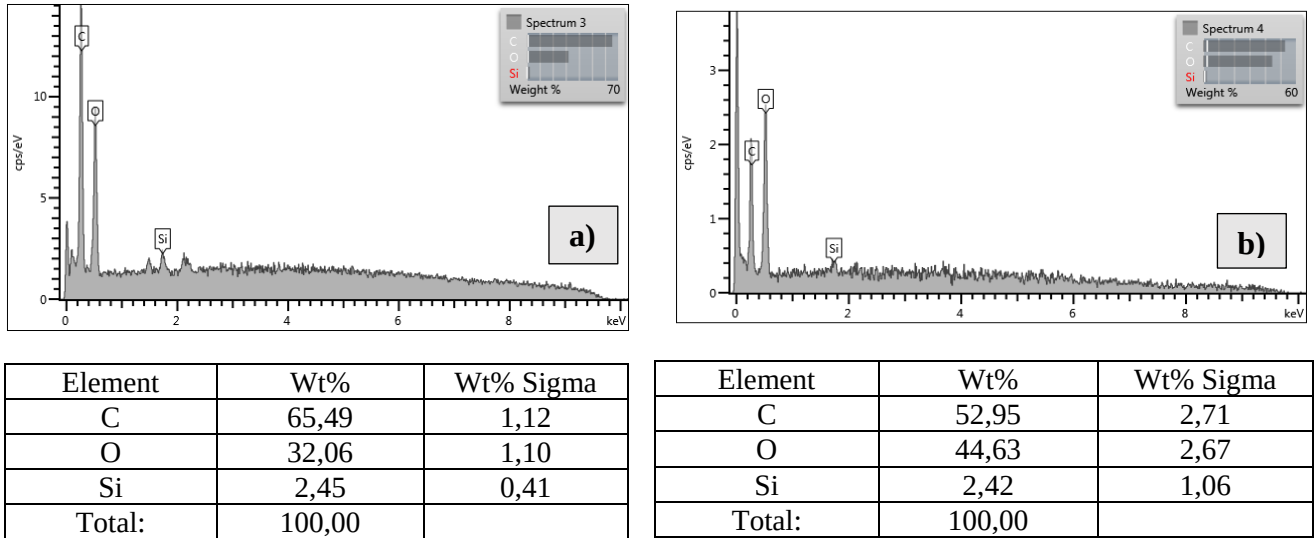
Şekil 5.11 (c)’de saf polyester kumaş yüzeyinin daha dalgalı ve pürüzlü bir yüzeyi vardır. PDMS/SiO₂ ile kaplı polyester kumaşın yüzeyinde de benzer şekilde bir pürüzlenme gözlemlenir. Ancak, viskona göre kaplama kalınlığı ve homojenliği farklılık gösterebilir. Bu durum, viskon kumaşın daha hidrofil yapısı nedeniyle kaplama sıvısının lif içerisine daha fazla nüfuz etmesinden kaynaklandığı söylenebilir (Liang vd., 2019).



Şekil 5.11. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri

a) saf viskon b) PDMS/SiO₂ kaplı viskon c) polyester

d) PDMS/SiO₂ kaplı polyester

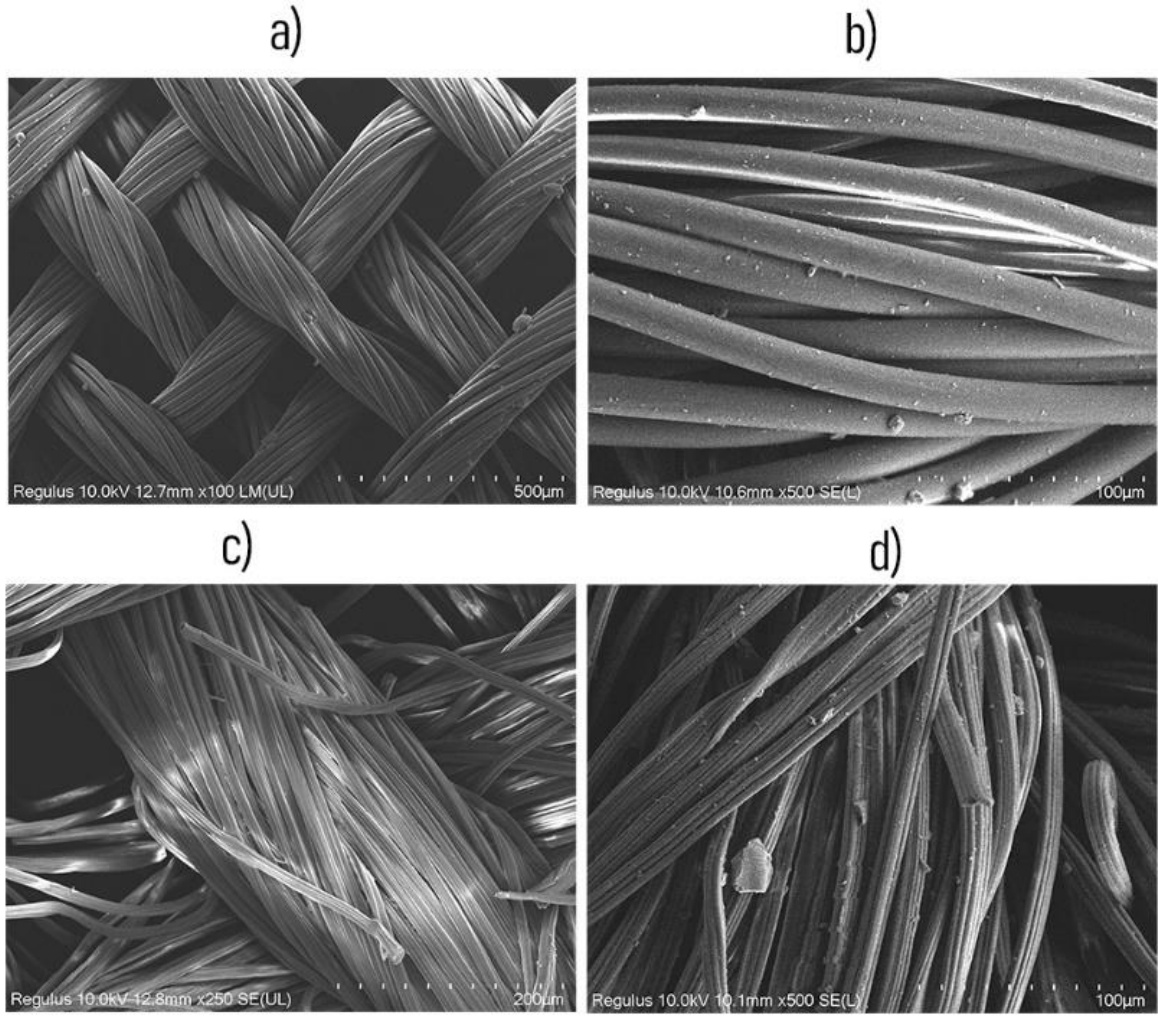


Şekil 5.12. PDMS/SiO₂ kaplı kumaşların EDS analizleri

a) viskon b) polyester

Şekil 5.13'te verilen FE-SEM görüntülerinde, ZnO/SiO₂-PDMS kombinasyonu ile kaplanmış polyester ve viskon kumaşların yüzey morfolojileri incelenmektedir. Şekil 5.14'te ise ZnO/SiO₂-PDMS kombinasyonu ile kaplanmış polyester ve viskon kumaşların EDS analizi yapılmıştır. Şekil 5.13 (a-b)'de verilen saf ve ZnO/SiO₂-PDMS viskon kumaşa ait olan FE-SEM görüntülerinde, kumaş üzerindeki ZnO/SiO₂-PDMS kaplamanın homojen bir şekilde dağıldığı ve lif yüzeyinde belirgin bir pürüzlülük olduğu görülmektedir. ZnO/SiO₂ ve PDMS kaplaması, mikro-nano yapı oluşturarak lif yüzeylerini kapladığı söylenebilir. Bu pürüzlülük, süperhidrofobiklik ve UV koruma gibi özelliklere katkı sağlayabilir. Şekil 5.14 (a)'da verilen EDS analizi sonucunda kaplama yüzeyindeki % miktar olarak Si 9,56; Zn 0,97 olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.13 (c-d)'de verilen saf ve ZnO/SiO₂-PDMS polyester kumaşa ait olan FE-SEM görüntülerinde, kaplamanın liflerin yüzeyine tutunduğu ve pürüzlülük oluşturduğu görülmektedir. ZnO/SiO₂ nanopartiküllerinin homojen dağılımı ve PDMS'in yapışma etkisi kaplamanın etkinliğini artırmıştır. Şekil 5.13 (b-d)'de görülen ZnO/SiO₂-PDMS ile kaplı olan kumaşlarda gözlemlenen pürüzlülük, süperhidrofobik özelliklerin yanı sıra UV koruma ve fotokatalitik aktivite gibi özelliklerin artışına katkı sağlayabilir. Şekil 5.14 (b)'de verilen polyester kumaşlara ait EDS analizi sonucunda kaplama yüzeyindeki % miktar olarak Si 7,98; Zn 0,57 olarak belirlenmiştir.

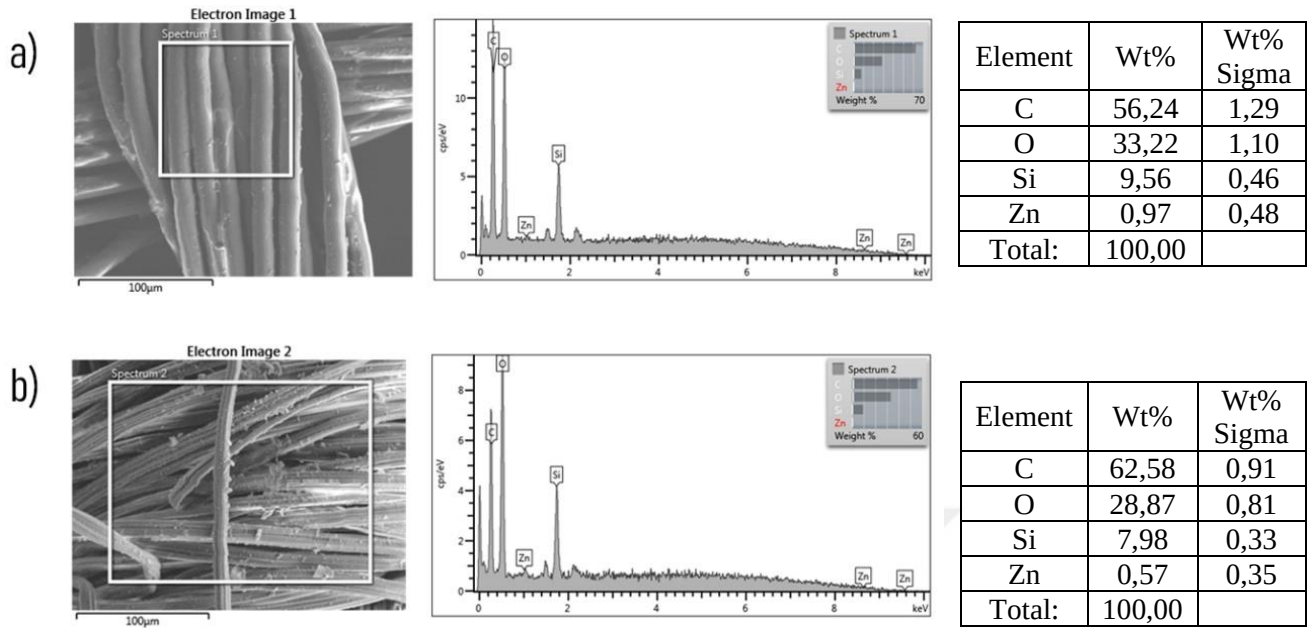


Şekil 5.13. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri

a) saf viskon b) ZnO/SiO₂-PDMS kaplı viskon c) polyester

d) ZnO/SiO₂-PDMS kaplı polyester

PDMS, düşük yüzey enerjili bir polimer olarak liflere iyi yapışarak kaplamanın stabilitesini artırmış ve hidrofobik özellik kazandırmıştır. Özellikle polyester kumaşlarda (Şekil 5.14-b), kaplamanın daha düzgün yayıldığı ve lifleri neredeyse tamamen kapladığı görülmektedir. Bunun nedeni, polyester kumaşın sentetik yapısının kaplamanın homojenliğini artırması olabilir. Viskon kumaş ise doğal bir lif yapısına sahip olduğundan, daha fazla pürüzlülük ve kaplama kalınlığı olduğu söylenebilir. Bu durum, kaplama yönteminin kumaş türüne göre ayarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır (Liang vd., 2019).



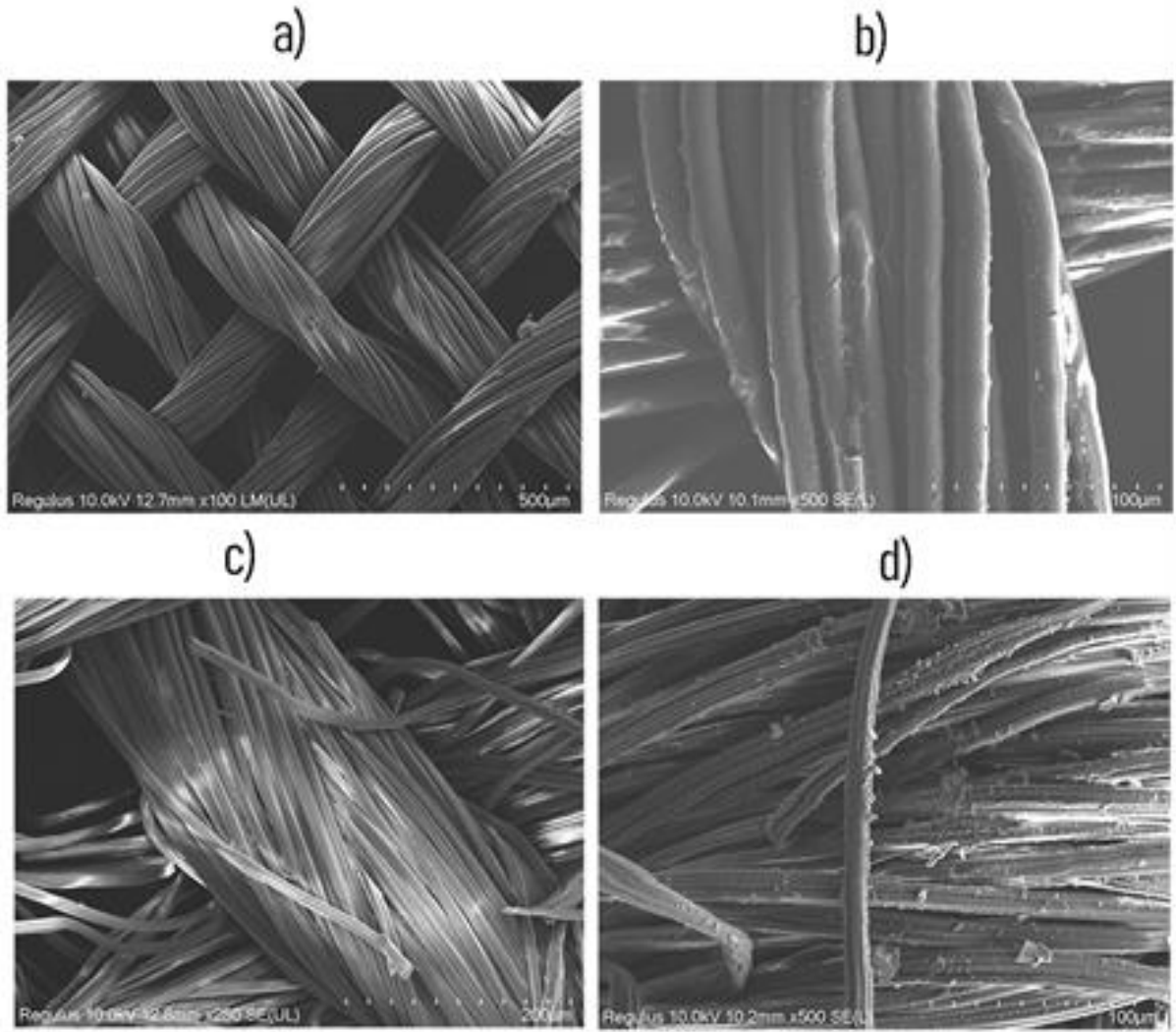
Şekil 5.14. ZnO/SiO₂-PDMS kaplı kumaşların EDS analizleri

a) viskon b) polyester

Şekil 5.15-16'da ZnO/SiO₂/PDMS ile kaplı viskon ve polyester kumaşların FE-SEM görüntüleri ve EDS analizleri bulunmaktadır. ZnO/SiO₂/PDMS kaplama, Şekil 5.15 (b)'de de görüldüğü üzere viskon kumaşın yüzeyinde de belirgin bir pürüzlülük oluşturmuştur. Bu, kaplamanın başarılı bir şekilde uygulanmış olduğunu ve ZnO/SiO₂ partiküllerinin kumaş iplikleri üzerinde biriktiğini göstermektedir. PDMS'in yüzeyde dağıldığını ve nanopartikülleri stabilize ettiğini düşündüren yapılar görülmektedir (Liu vd., 2021).

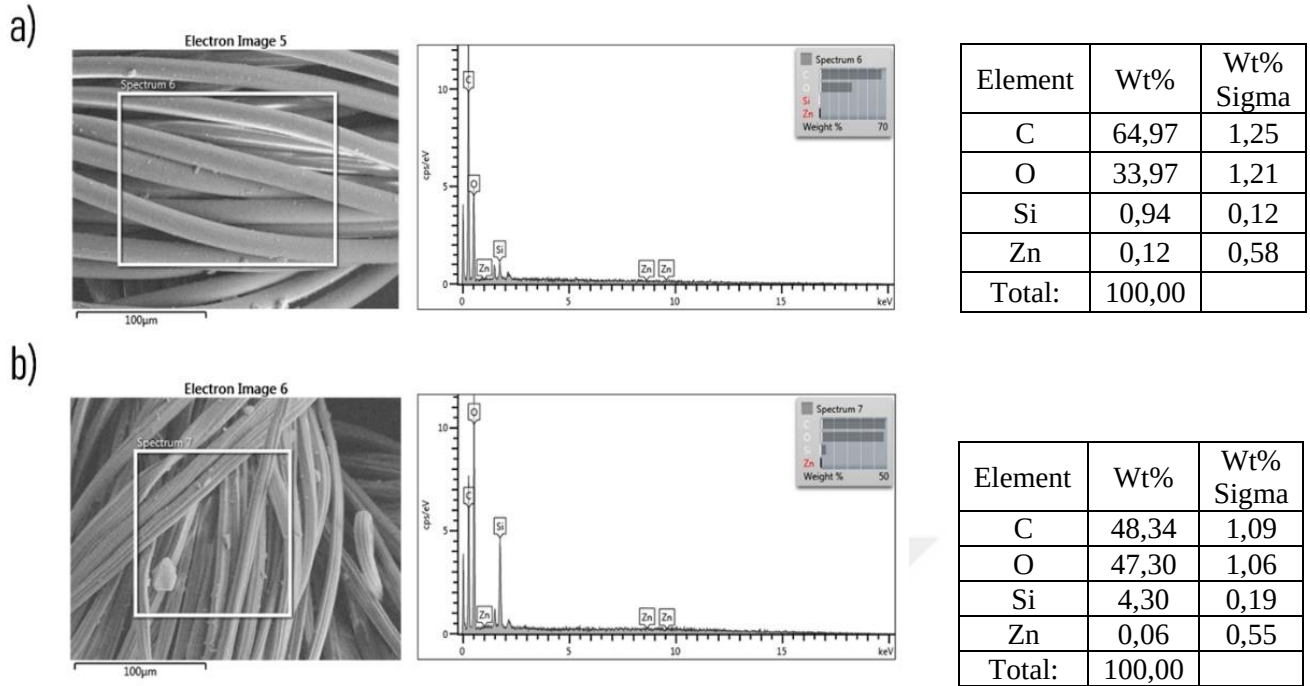
Şekil 5.15 (c-d)'de saf ve ZnO/SiO₂/PDMS ile kaplı polyester kumaşların FE-SEM görüntüleri görülmektedir. ZnO/SiO₂/PDMS kaplama sonrası polyester kumaşta (Şekil 5.15-d), liflerin etrafında belirgin kaplama kalıntıları ve mikro/nano ölçekli düzensizlikler görülmektedir. Bu, kaplamanın homojen bir şekilde yerleştiğini ve lifler üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturduğunu düşündürmektedir.

ZnO/SiO₂/PDMS ve ZnO/SiO₂-PDMS ile kaplı kumaşlar arasında belirgin bir fark yoktur. Her iki kombinasyonlu kaplamalarda kumaşların yüzeyini pürüzleştirmiş ve süperhidrofobiklik, UV Koruma ve fotokatalitik gibi özellikler kazandırmıştır.



Şekil 5.15. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri

- a) saf viskon b) ZnO/SiO₂/PDMS kaplı viskon c) polyester
d) ZnO/SiO₂/PDMS polyester



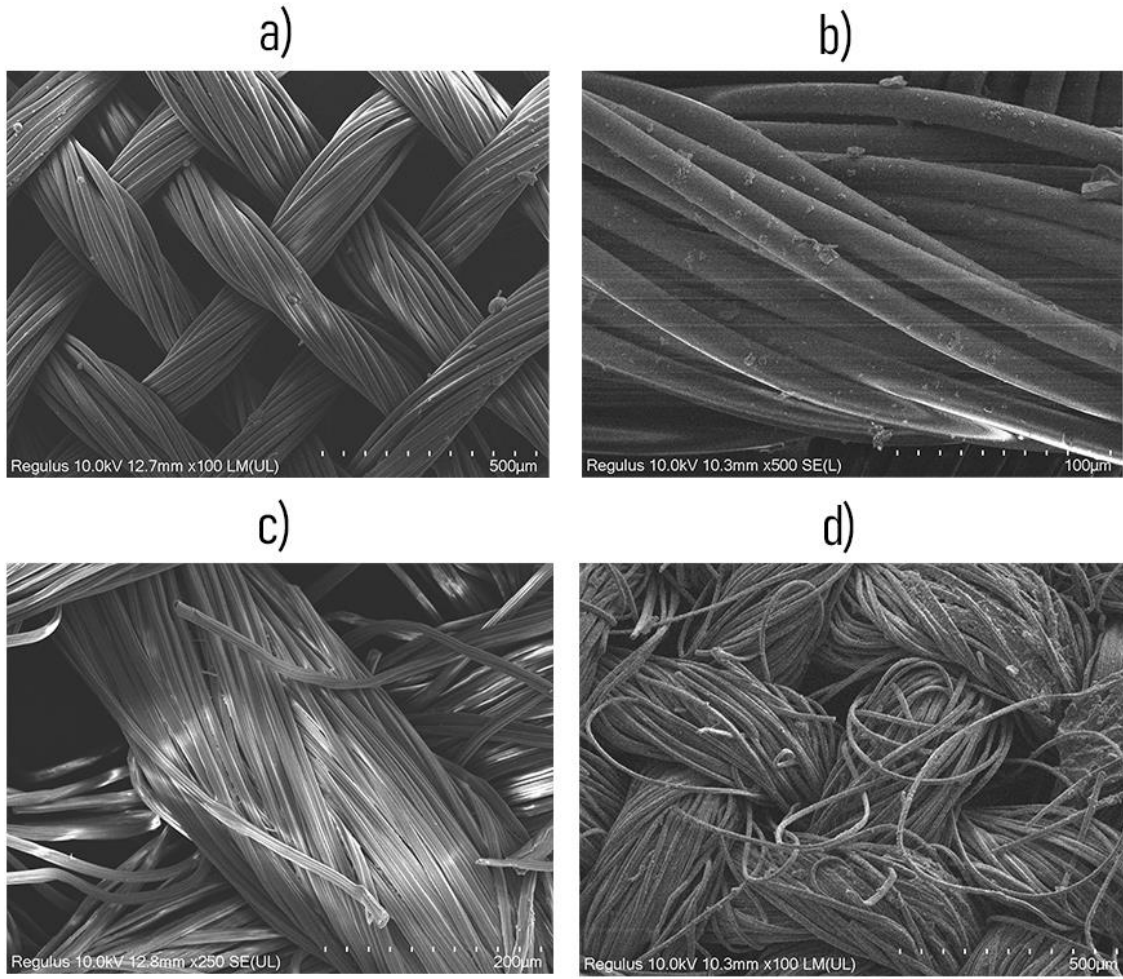
Şekil 5.16. ZnO/SiO₂/PDMS kaplı kumaşların EDS analizleri

a) viskon b) polyester

Şekil 5.17-18’de ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşların FE-SEM görüntüleri ve EDS analizleri yer almaktadır. Görüntülerde saf polyester ve viskon kumaşların yanı sıra bu kumaşların ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kaplamalı halleri de gösterilmektedir. Her iki kumaşın kaplama öncesi ve sonrası mikroyapıları arasındaki farklar, kaplamaların kumaşların fonksiyonel özelliklerini nasıl değiştirdiğine dair önemli bilgiler sunmaktadır.

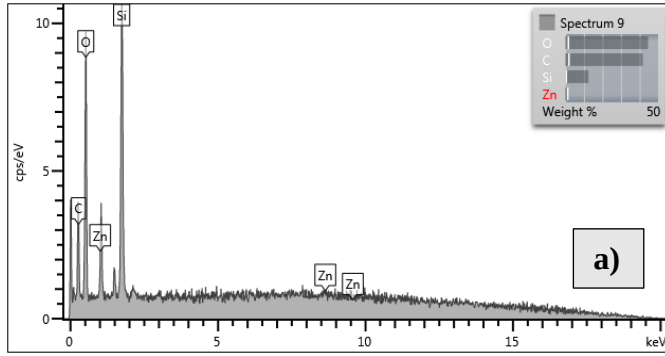
Şekil 5.17 (b)’de görülen viskon kumaşın yüzeyinde kaplama tabakasının varlığı açıkça görülmektedir. Bu, nanopartiküllerin homojen bir şekilde kumaş liflerine yapıştığını göstermektedir. Yüzeyde kaplamanın düzgün bir dağılım sağladığı ve kumaş liflerini tam olarak kapladığı söylenebilir. Şekil 5.18 (a)’da, ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kaplı viskon kumaşa ait EDS analiz sonucunda Si elementlerinin %12,44 olduğu, Zn elementlerinin ise %1,31 olduğu görülmektedir. Si elementlerinin varlığının yoğunluğu, Zn elementlerini yüzeye bağlayabileceği ve iyi hidrofobik özellik göstereceği söylenebilir.

Şekil 5.17 (d)'ye bakıldığında ise kaplama sonrası lifler arasında düzensiz bir kaplama dağılımı görülmektedir; bu, kaplamanın kumaşın yapısal farklılıkları nedeniyle polyester kumaşta, viskon kumaşa göre daha heterojen şekilde bağlandığı şeklinde yorumlanabilir (Liang vd., 2019).

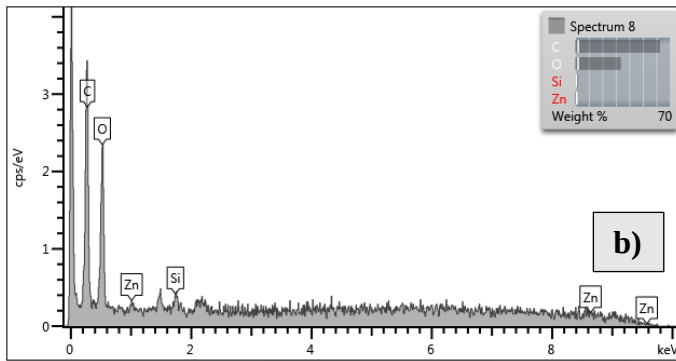


Şekil 5.17. Farklı tür saf ve kaplanmış kumaş çeşitlerinin FE-SEM görüntüleri

- a) Saf viskon b) ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kaplı viskon c) saf polyester
d) ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS



Element	Wt%	Wt% Sigma
C	41,71	1,94
O	44,53	1,68
Si	12,44	0,53
Zn	1,31	1,30
Total:	100,00	



Element	Wt%	Wt% Sigma
C	62,69	2,26
O	33,74	2,14
Si	1,97	0,71
Zn	1,60	1,17
Total:	100,00	

Şekil 5.18. ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kaplı kumaşların EDS analizleri

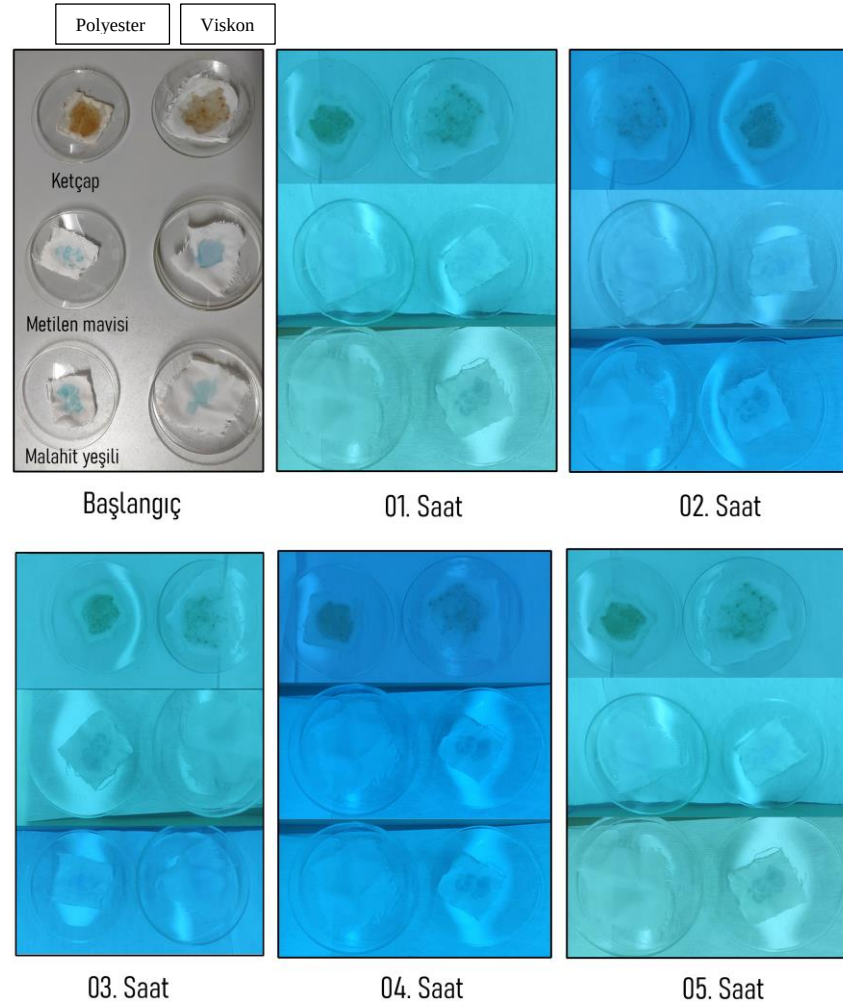
a) viskon b) polyester

5.3. Kaplanan Kumaşlarda Fotokatalitik Etki

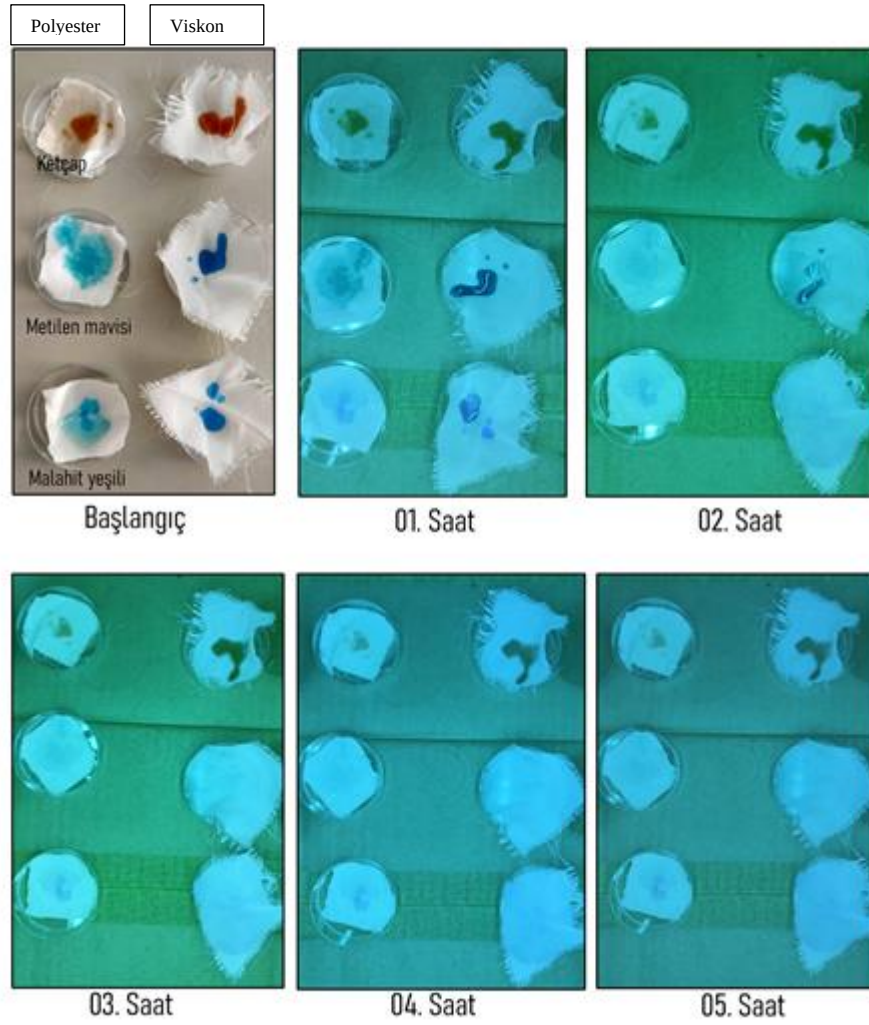
Şekil 5.19’da saf kumaşların kendi kendine temizleyebilme özellikleri için yapılan fotokatalitik test görülmektedir. Fotokatalitik etkinin incelenmesi için saf viskon ve polyester kumaşlara damlatılan kirleticilerin farklı zaman aralıklarındaki değişimi incelenmiştir. Viskon ve polyester kumaşlara sırasıyla metilen mavisi, malahit yeşili ve ketçap damlatılmıştır. Saf kumaşlara UV ışığı altında yapılan fotokatalitik etki incelendiğinde bu konuda başarısız olduğu görülmüştür. 1.saat ile 5. saat arasında fark yok denecek kadar azdır, kendi kendine temizleyebilme özelliği çok zayıftır.

Şekil 5.20’de görülen PDMS ile kaplı viskon ve polyester kumaşlara aynı kirleticiler için fotokatalitik etki uygulandığında daha iyi sonuç verdiği, lekelerin biraz daha parçalanabildiği görülmüştür. Ketçap lekesinin zamanla azaldığı fakat yok olmadığı, diğer kirleticilerin ise neredeyse yok olduğu görülmektedir. PDMS kaplaması, kumaşlara su itici

(hidrofobik) özellik kazandırdığı için kirleticilerin bir kısmını uzaklaştırmada etkili olduğu söylenebilir. Özellikle ketçap lekesinin azalmış olması, hidrofobik yüzeyin sıvıların kumaşa daha az nüfuz etmesini sağladığı söylenebilir. Ancak bu kaplama, fotokatalitik özellik göstermediğinden, ketçap gibi daha karışık organik kirleticiler tamamen uzaklaştırılamamıştır.

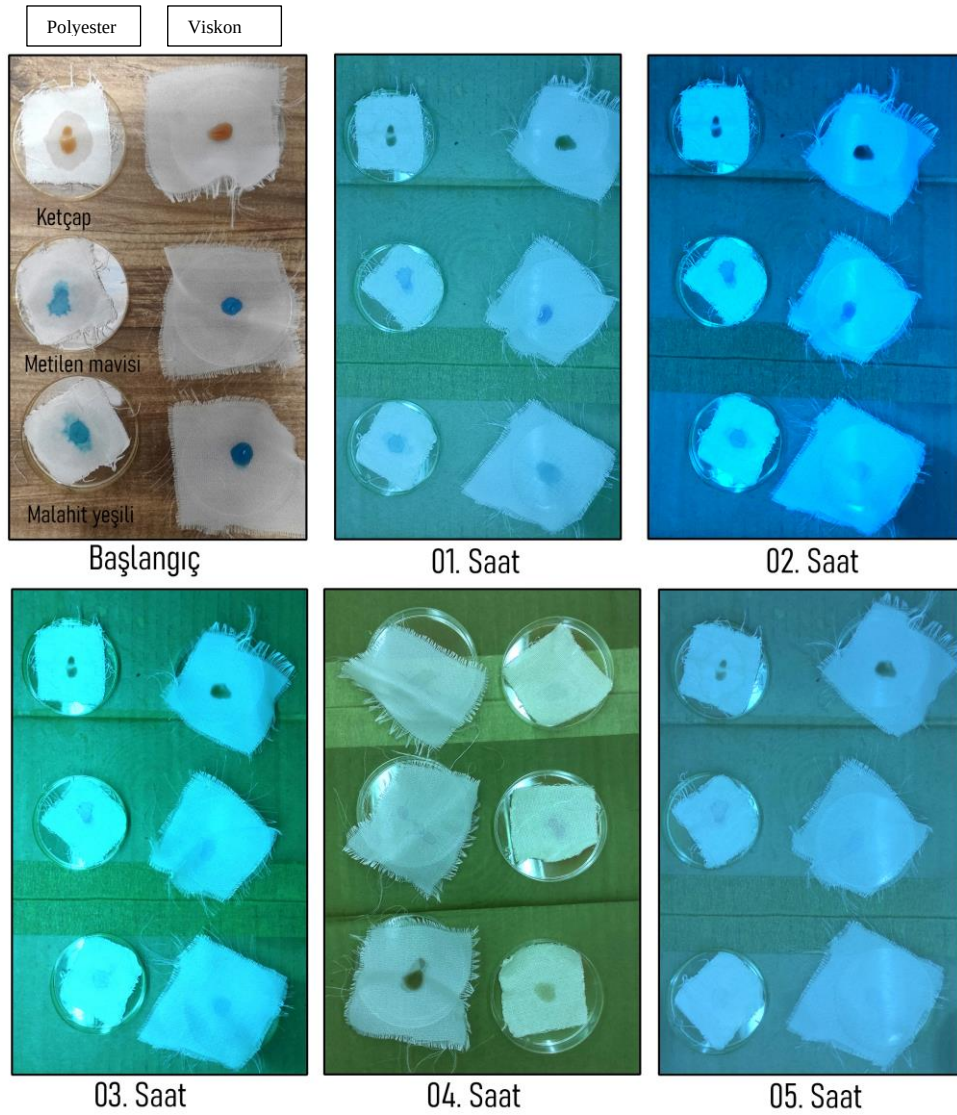


Şekil 5.19. Saf viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği



Şekil 5.20. PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği

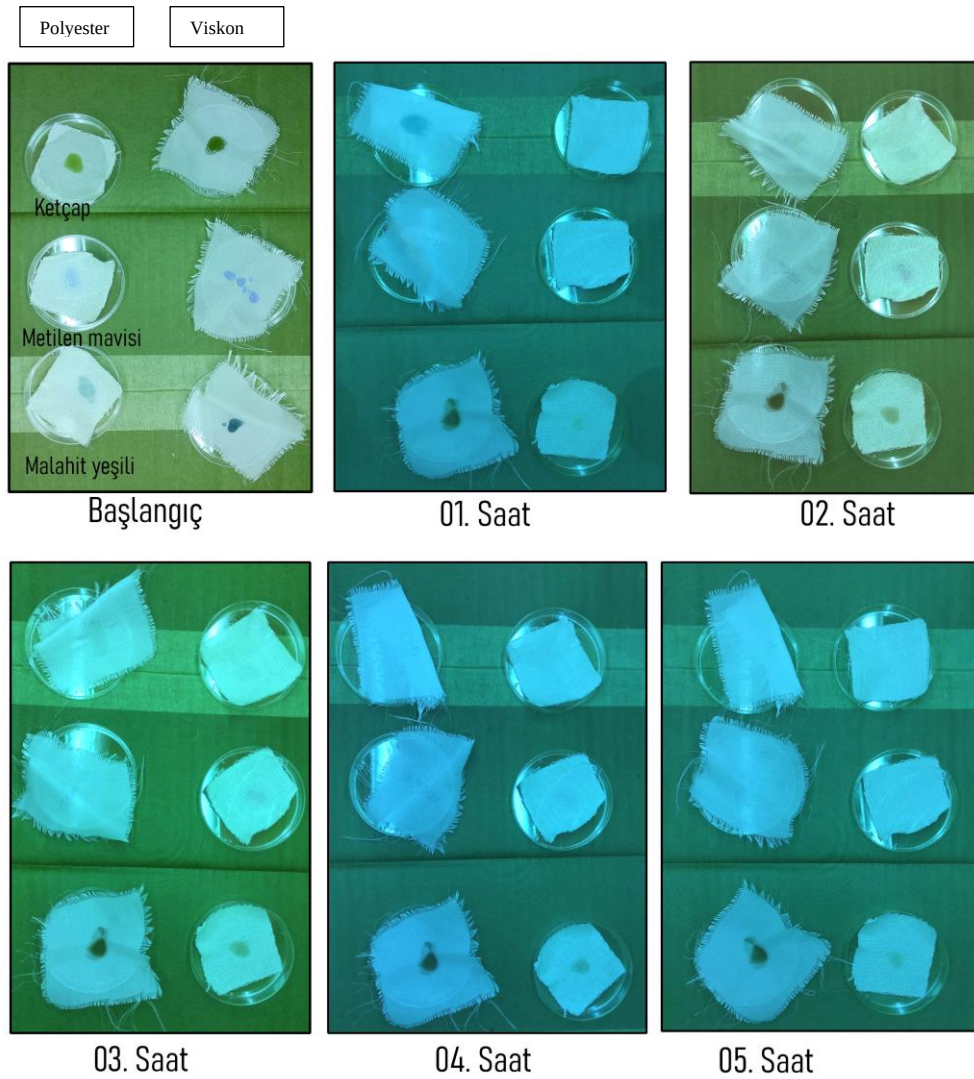
Şekil 5.21’de görülen PDMS/SiO₂ kaplı viskon ve polyester kumaşların farklı zaman aralıklarındaki fotokatalitik etkinliği verilmiştir. PDMS/SiO₂ kaplamada-, polyester ve viskon kumaş arasında belirgin bir fark olmadığı söylenebilir. Fotokatalitik aktivite zamanla kendini göstererek organik kirleticileri kısmen uzaklaştırmaya başlasa da tamamen uzaklaştıramamıştır.



Şekil 5.21. PDMS/SiO₂ kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği

Şekil 5.22’de PDMS’ye ayva çekirdeği musilajından yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartikülleri ilave edilerek, fotokatalitik etkinin incelenmesi için PDMS/ZnO kombinasyonu denendi. PDMS/ZnO kombinasyonlu viskon ve polyester kumaşlara ZnO’nun kaplanmasıyla kumaşların fotokatalitik aktivitesinde artış olduğu gözlemlenmiştir. ZnO’nun etkisiyle her iki kumaş türünde de daha kısa sürede kirleticilerin azalarak yok olmaya yaklaştığı görüldü. Ancak, PDMS/ZnO kaplı polyester kumaşta metilen mavisinin 1.saatte belirgin bir şekilde azaldığı görülürken, viskon kumaşta kendi kendini temizleme etkisi derecesinin biraz azaldığı görüldü.

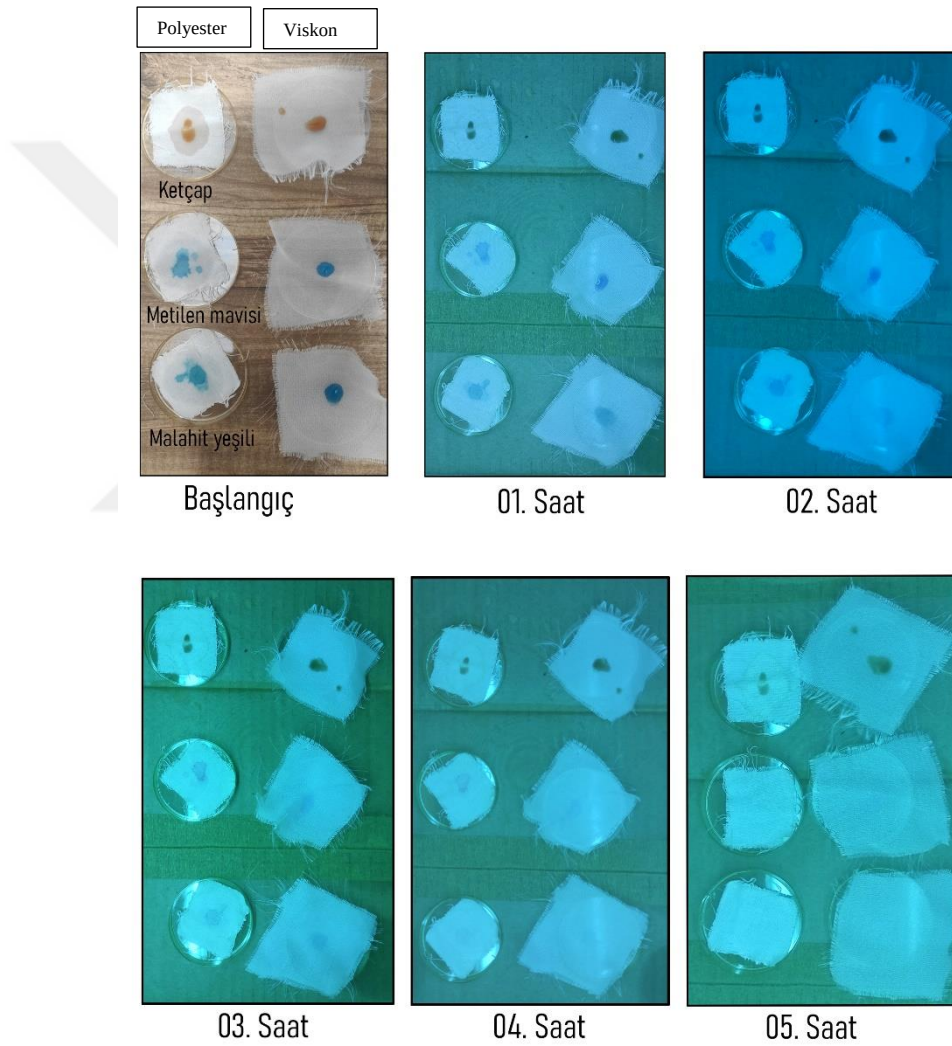
ZnO, UV ışığı altında fotokatalizör görevi görerek organik kirleticilerin bozunmasını hızlandırmıştır. Metilen mavisi ve malahit yeşili gibi daha basit organik moleküllerin hızlı bir şekilde azalması, ZnO'nun bu kirleticiler üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Ayrıca viskon kumaşın üzerindeki metilen mavisi damlacığının küresel bir şekilde durduğu görülmektedir. Viskon kumaşların farklı zaman aralıklarında çekilen görüntülerine bakıldığında kendi kendini temizleme yönünden daha etkin olduğu söylenebilir.



Şekil 5.22. PDMS/ZnO kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği

Farklı kombinasyonlarda hazırlanan kompozitler ile fotokatalitik etkinin incelenebilmesi için ZnO/SiO₂/PDMS kaplı kumaşlara aynı kirleticiler damlatılmıştır. Şekil 5.23’de, ZnO/SiO₂/PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşlara damlatılan kirleticilerin

farklı zaman aralıklarındaki değişimi gözlemlenmektedir. ZnO/SiO₂/PDMS kaplı polyester ve viskon kumaşlardaki metilen mavisinin ve malahit yeşilinin 3. saatten sonra giderek azaldığı, 5.saatten sonra ise tamamen yok olduğu görülmektedir. Ancak ZnO/SiO₂/PDMS kombinasyonlu kaplamanın viskon ve polyester kumaşlar üzerindeki fotokatalitik etkisi ketçap gibi daha karışık kirleticiler damlatıldığında sınırlı olduğu söylenebilir. Bu durum, ketçapın fotokatalizle parçalanmasının daha zor olduğu şeklinde açıklanabilir. 5.saatten sonra herhangi bir değişim gözlenmediği için süreç fotoğraflanmamıştır.

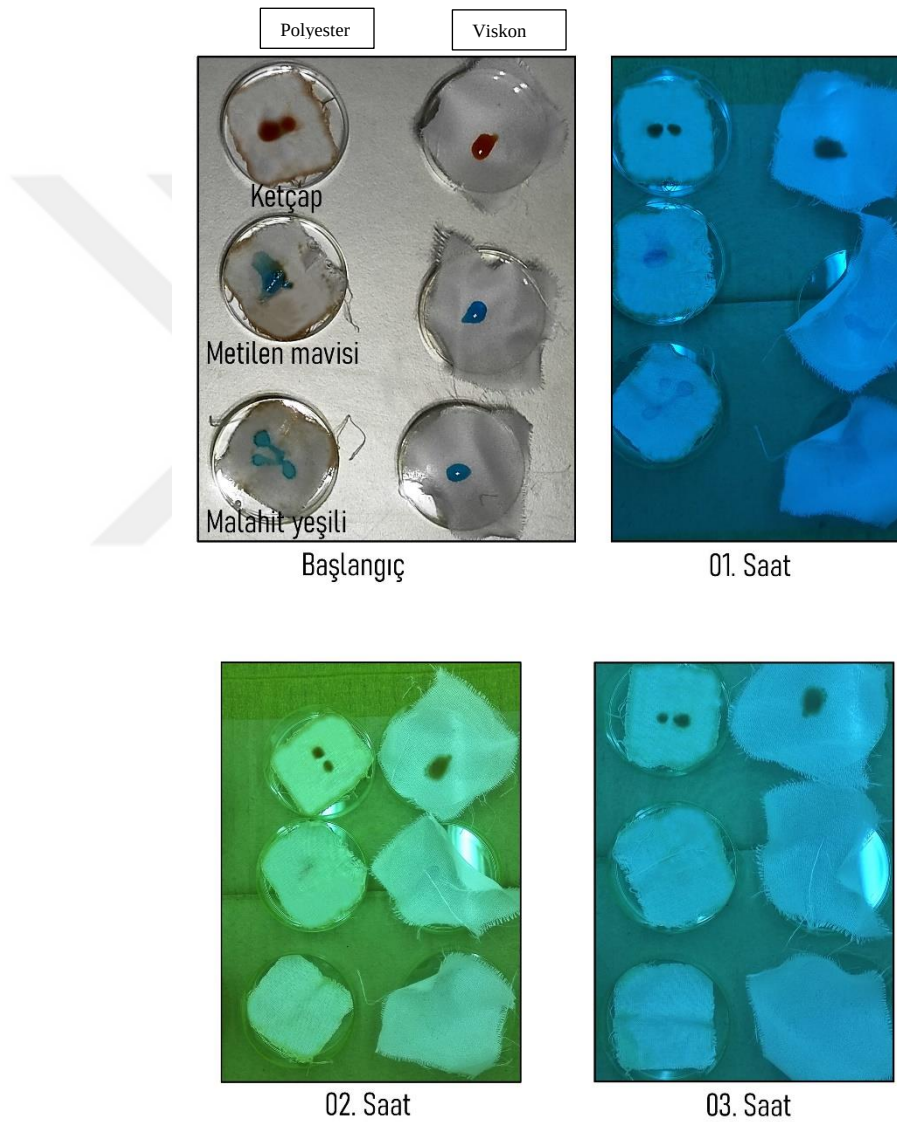


Şekil 5.23. ZnO/SiO₂/PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği

Şekil 5.24’de ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kaplı kumaşlara da aynı testin uygulanmasıyla 2.saatten sonra viskon ve polyester kumaşlarda metilen mavisinin ve malahit yeşilinin giderek azaldığı, 3.saatte tamamen yok olduğu görülmektedir. Ketçap

lekesinde ise önemli bir değişim gözlenmemiştir. 3.saatten sonra herhangi bir değişim gözlenmediği için süreç fotoğraflanmamıştır.

Bu kaplama kombinasyonu, en hızlı ve etkili temizleme performansını göstermiştir. Bu sonuç, ZnO ve SiO₂'nin fotokatalitik özelliklerinin PDMS ile bir araya geldiğinde önemli bir etki oluşturduğu söylenebilir. Yine de ketçap lekesi gibi daha karmaşık kirleticiler üzerinde etkisi sınırlı kalmıştır.

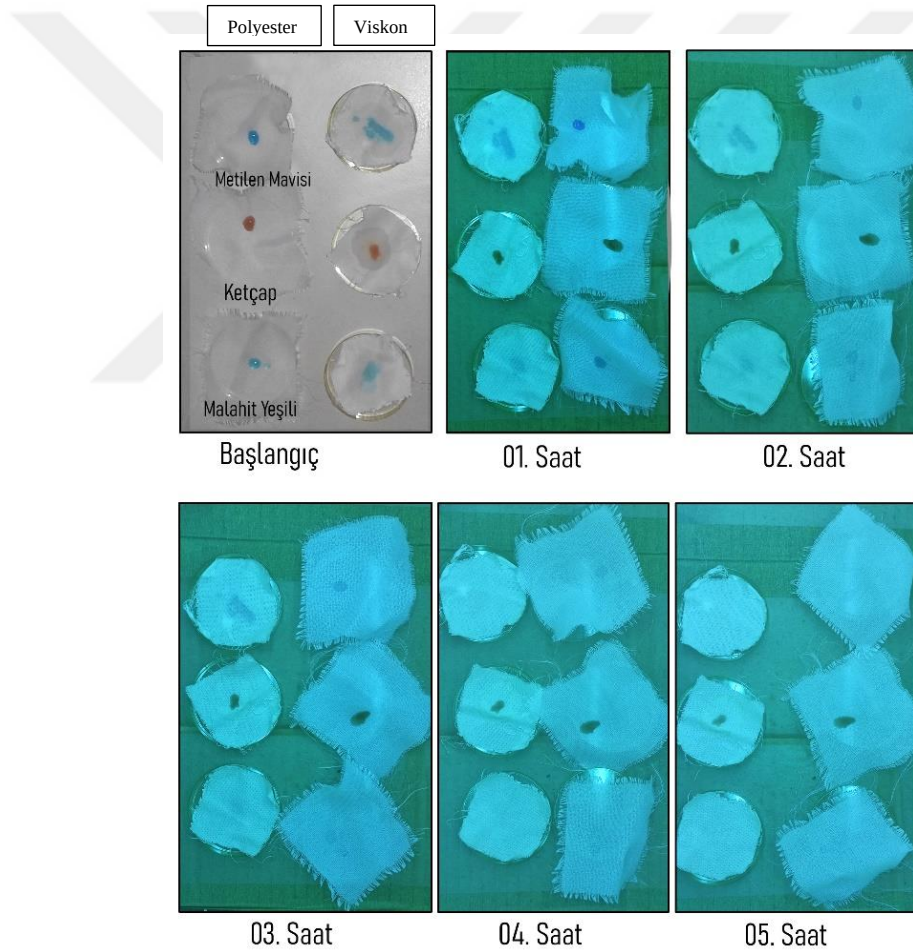


Şekil 5.24. ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği

Şekil 5.25'te ZnO/SiO₂-PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşlara damlatılan kirleticilerin farklı zaman aralıklarındaki değişimi görülmektedir. Metilen mavisinin 1

saatten itibaren giderek solduğu ve 5. saate kadar neredeyse tamamen yok olduğu görülmektedir.

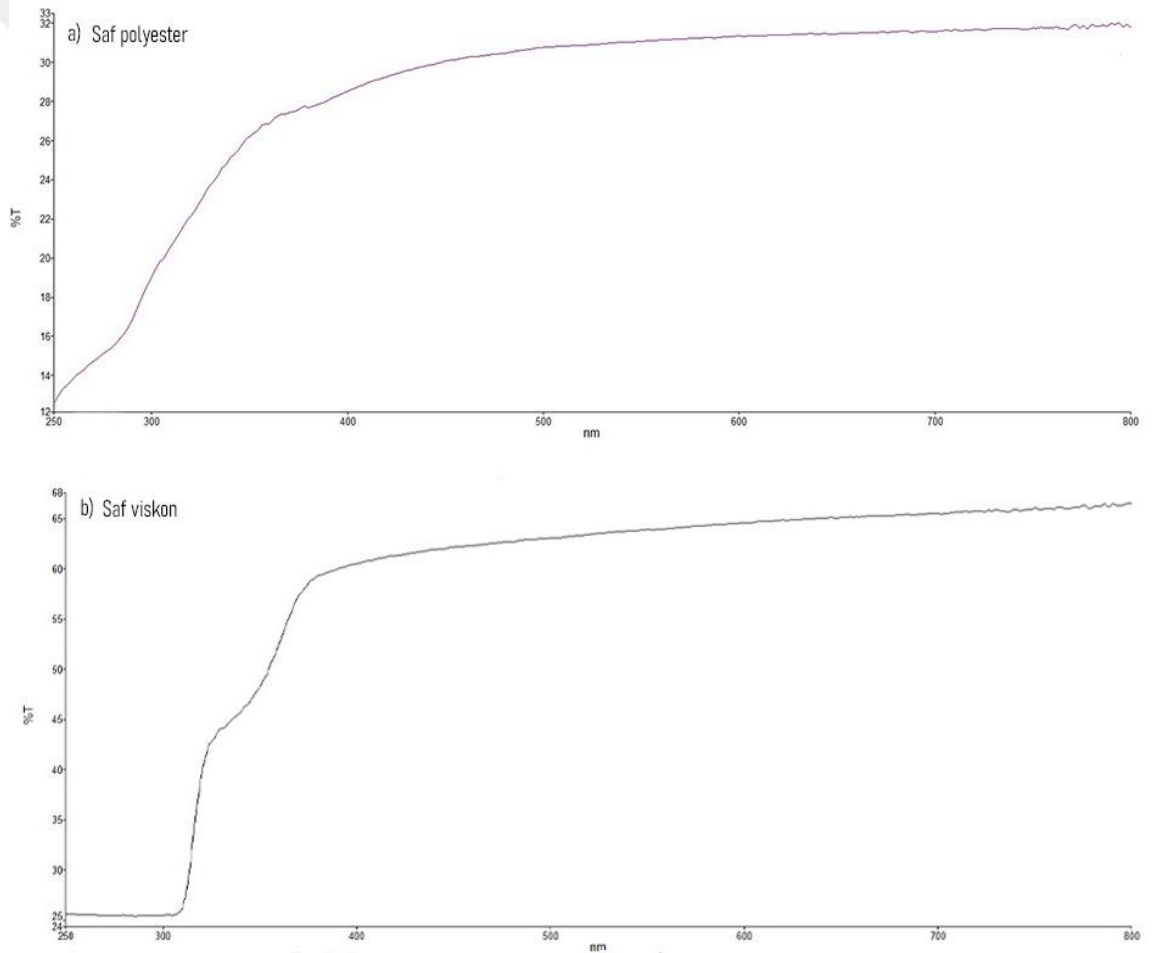
Bu, ZnO/SiO₂-PDMS kaplamasının UV ışığı altında metilen mavisini bozundurarak etkili bir fotokatalitik aktivite gösterdiğini ortaya koymaktadır. Malahit yeşilinin renk yoğunluğunun giderek azaldığı, özellikle 3. saatten sonra hızlı bir azalma olduğu ve 5. saatte tamamen kaybolduğu görülmektedir. Malahit yeşilinin parçalanmasında ZnO'nun fotokatalitik etkisinin etkili olduğu söylenebilir. Ketçapın başlangıçtaki rengi ve yoğunluğu 5. saate kadar neredeyse sabit kalmıştır.



Şekil 5.25. ZnO/SiO₂-PDMS kaplı viskon ve polyester kumaşların fotokatalitik etkinliği

5.4. UV Koruma Özellikleri

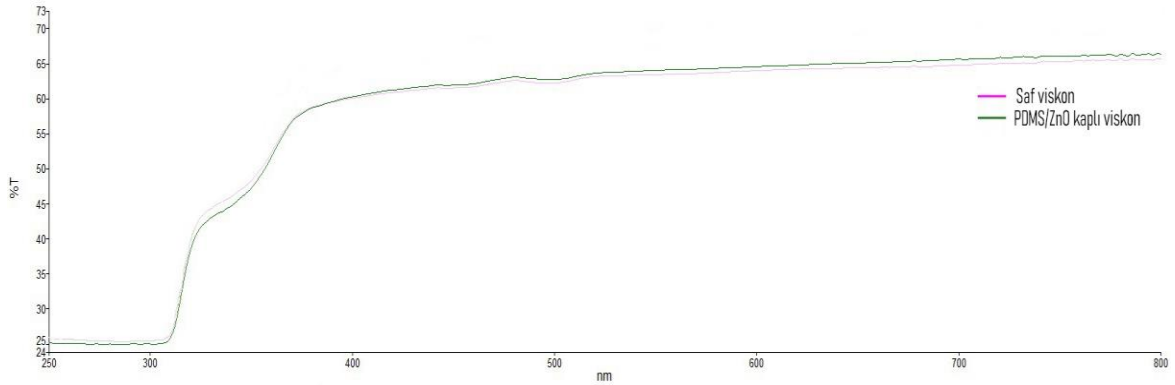
Bu bölümde, farklı kombinasyonlarda hazırlanan kompozitlerin (PDMS, PDMS/ZnO, PDMS/SiO₂-ZnO/PDMS, SiO₂/ZnO-PDMS, SiO₂/ZnO/PDMS ve SiO₂/PDMS) daldırma yöntemiyle saf viskon ve polyester kumaşlara kaplanmasıyla UV Koruma özelliği kazandırılması amaçlanmıştır. Saf viskon ve polyester kumaşlar ve farklı kombinasyonlarda hazırlanan kompozitlerin UV Koruma özelliklerini gösteren %T – nm grafikleri (Şekil 5.26 – 5.30)'da görülmektedir. Ayrıca, saf kumaşların ve kaplanmış kumaşların UPF değerleri Denklem 2.3'de verilen formüle göre hesaplandı. Hesaplanan UPF değerleri Çizelge 5.15'de verildi.



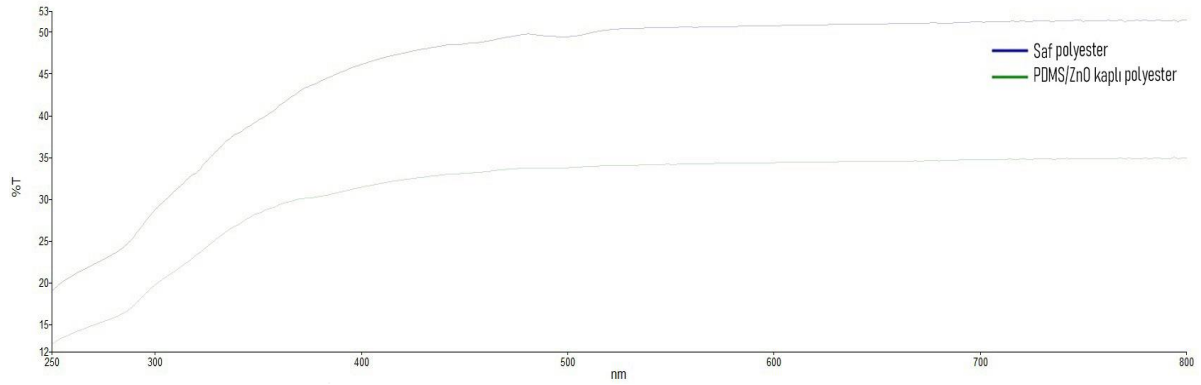
Şekil 5.26. Saf kumaşların 250-800 nm dalga boyu aralığındaki % geçirgenlik değerleri

Saf polyester ve viskon kumaşlar, başlangıçta düşük UV koruma performansına sahiptir. Bu kumaşın UV ışınlarını emme ya da dağıtma kapasitesinin sınırlı olduğunu

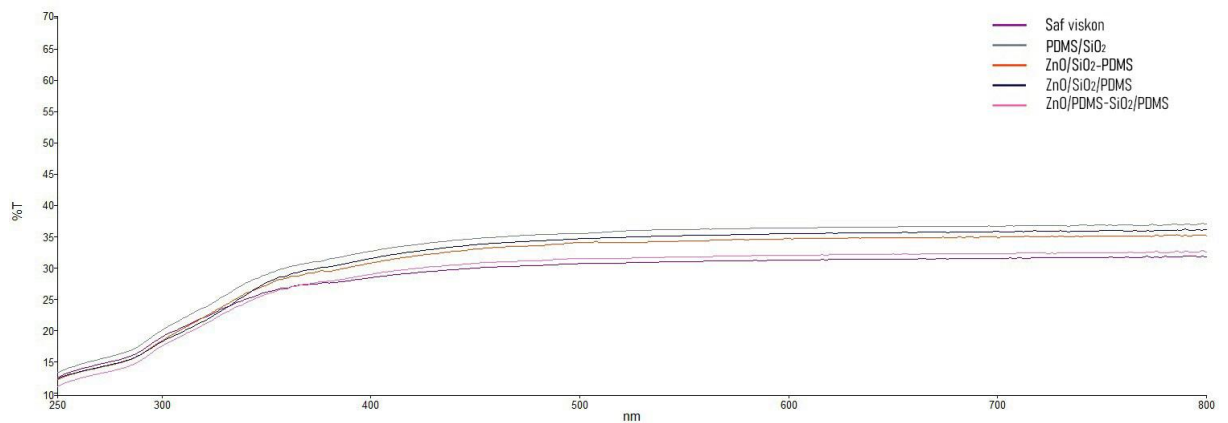
göstermektedir. Her iki kumaş türüne de yeşil sentezlenmiş ZnO, SiO₂ ve PDMS gibi katkıların yapılması, bu özelliklerinde iyileşme olmasını sağlamıştır.



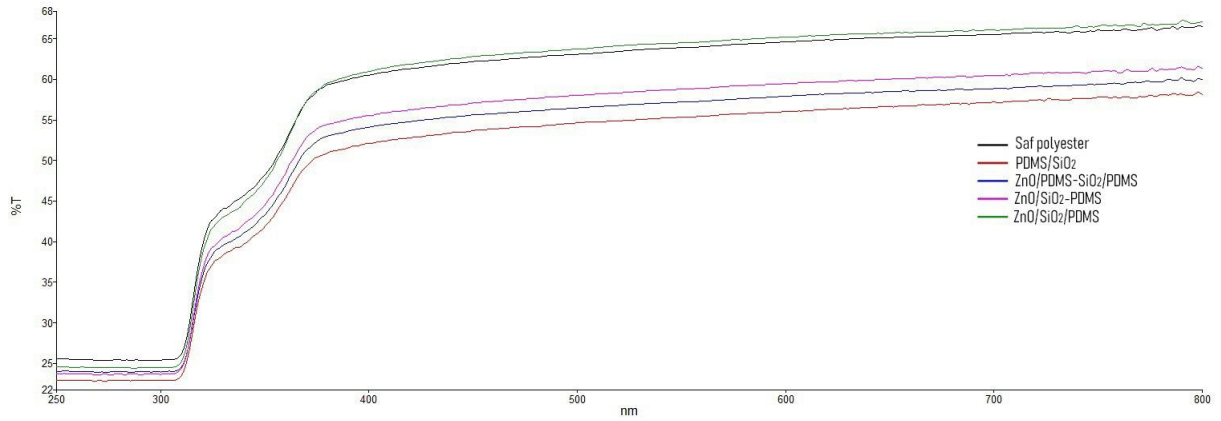
Şekil 5.27. Saf ve PDMS/ZnO kaplı viskon kumaşların 250-800 nm dalga boyu aralığındaki % geçirgenlik değerleri



Şekil 5.28. Saf ve PDMS/ZnO kaplı polyester kumaşların 250-800 nm dalga boyu aralığındaki % geçirgenlik değerleri



Şekil 5.29. Saf ve farklı tür kaplamalı viskon kumaşların 250-800 nm dalga boyu aralığındaki % geçirgenlik değerleri



Şekil 5.30. Saf ve farklı tür kaplamalı polyester kumaşların 250-800 nm dalga boyu aralığındaki % geçirgenlik değerleri

Kaplama yapılmamış saf kumaşlar arasında viskonun, polyesterden daha yüksek bir UPF değerine sahip olduğu Çizelge 5.15'te görülmektedir. Farklı kombinasyonlarda hazırlanan kompozitler ile kaplanması sonrası polyester kumaşlar genel olarak viskon kumaşlara göre daha yüksek bir UV koruma seviyesine ulaşmaktadır. Bunun nedeni, polyester liflerinin yapısal özelliklerinin UV ışınlarını emmeye daha uygun olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Farklı kombinasyonlarla hazırlanan kompozitlerle kaplanmasıyla birlikte polyester kumaşların çok daha yüksek koruma seviyesine ulaştığı görülmektedir.

Çizelge 5.15. Saf ve farklı tür kaplamalı kumaşlara ait UPF değerleri

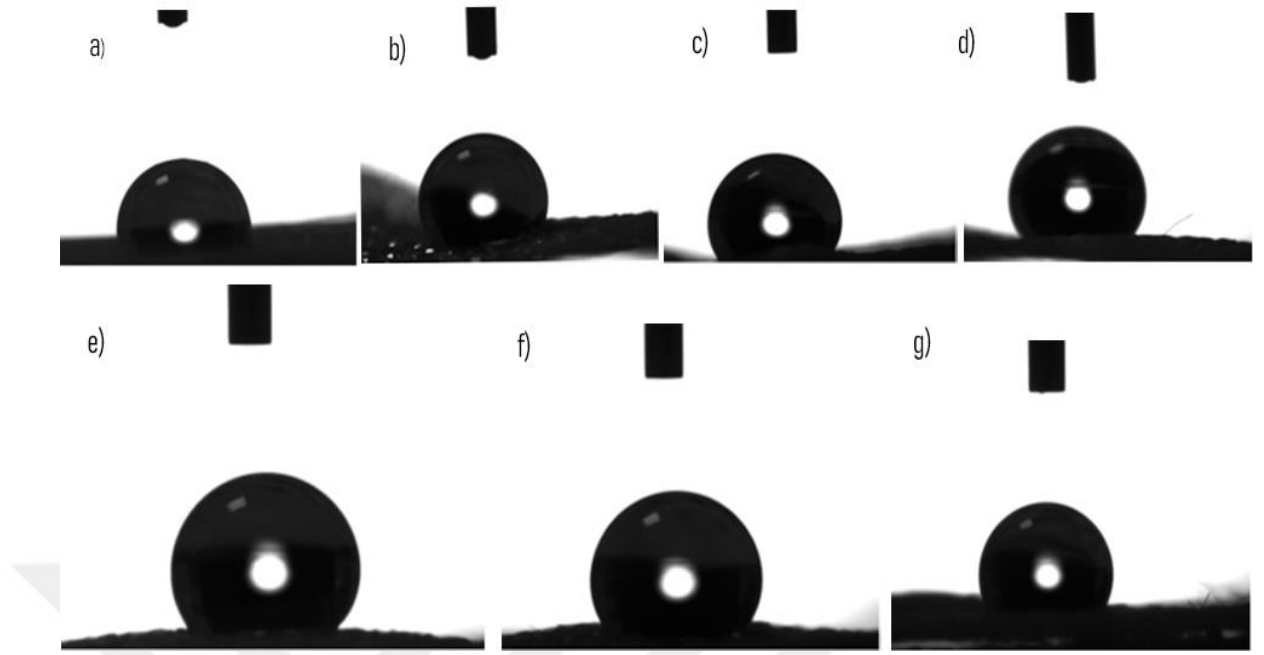
Kumaş Türü (Saf ve kaplanmış)	Kaplama						
	Saf	PDMS	PDMS/ZnO	PDMS/SiO ₂	ZnO/SiO ₂ /PDMS	ZnO/SiO ₂ -PDMS	ZnO/PDMS-SiO ₂ /PDMS
Viskon (UPF)	17	18	19	18	18	19	20
Polyester (UPF)	19	20	25	24	28	26	32

PDMS tek başına kullanıldığında her iki kumaş türünde de sınırlı bir artış sağlamıştır. PDMS ile birlikte kullanılan ZnO ve SiO₂ gibi nanopartiküllerin, kumaşların UV koruma kapasitesini artırdığı (Şekil 5.26-30)'da ve Çizelge 5.15'de görülmektedir. ZnO'nun UV ışınlarını emme ve dağıtma kapasitesinin oldukça yüksek olduğu bilinmektedir, bu özelliğin etkinliği ZnO'nun kullanıldığı kaplamalarda UPF değerlerinin ciddi bir artış sağlamasıyla görülmektedir (Zhu vd., 2017). SiO₂ nanopartiküllerinin ise bu partiküllerin kumaşa daha güçlü tutunmasını sağladığı söylenebilir. Özellikle polyester kumaşlarda ZnO katkısı ile UPF 25'e, SiO₂ ile birlikte kullanıldığında 32'ye ulaşılmıştır. Aynı kombinasyonda hazırlanan kompozit ile kaplanan viskon kumaş ise en yüksek UPF değerini göstererek 20'ye yükselmiştir. Böylelikle Çizelge 2.2'de verilen Uluslararası standartların UPF değerlerine göre, ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kombinasyonlu kompozit ile kaplanan polyester kumaş “iyi koruma” kategorisinden “mükemmel koruma” kategorisine geçmiştir.

Kaplama işlemi ile saf viskon ve polyester kumaşların UV koruma özelliklerinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. PDMS'nin kaplama işlemlerinde bağlayıcı ve koruyucu bir taban oluşturduğu, ZnO ve SiO₂ gibi nanomalzemelerin ise spesifik UV ışını koruma işlevlerini yerine getirdiği görülmektedir.

5.5. Su İtme Testleri (Temas Açısı Ölçümleri)

Temas açısı, süperhidrofobiklik seviyesini ölçmek için kullanılan önemli bir parametredir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında müdahale görmemiş polyester ve viskon kumaşlar ile PDMS, PDMS/ZnO, PDMS/SiO₂-ZnO/PDMS, SiO₂/ZnO-PDMS, SiO₂/ZnO/PDMS ve SiO₂/PDMS kaplı kumaşların hidrofobiklik-süperhidrofobiklik özellikleri temas açıları ölçülerek belirlendi (Şekil 5.31 – 5.32). Şekil 5.31'de 10 µL hacminde ultra saf su damlatılan ve 10 saniye süreyle kayda alınan viskon kumaşların temas açısı ölçümleri yer almaktadır. Temas açısı değerleri, aynı tekstil kumaşının farklı noktaları üzerinde üç ayrı ölçüm yapılarak elde edilen temas açılarının ortalaması alınarak bulundu.



Şekil 5.31. Saf ve kaplanmış viskon kumaşların temas açısı ölçümleri

- a) saf b) PDMS c) PDMS/ZnO d) PDMS/SiO₂ e) ZnO/SiO₂-PDMS
f) ZnO/SiO₂/PDMS g) ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS

Temas açısının 90° 'den küçük olması yüzeyin ıslanabilir olduğunu ve su damlasının yüzeyde yayılacağını gösterir. Temas açısının 90° 'den büyük olması ise su damlasının yüzeyde damlacık halinde durabileceğini gösterir ve 90° ile 150° arasında temas açısına sahip yüzeyler hidrofobiktir. 150° 'nin üzerinde ise bu yüzeylere süperhidrofobik yüzeyler denilmektedir (Zhu vd., 2017).

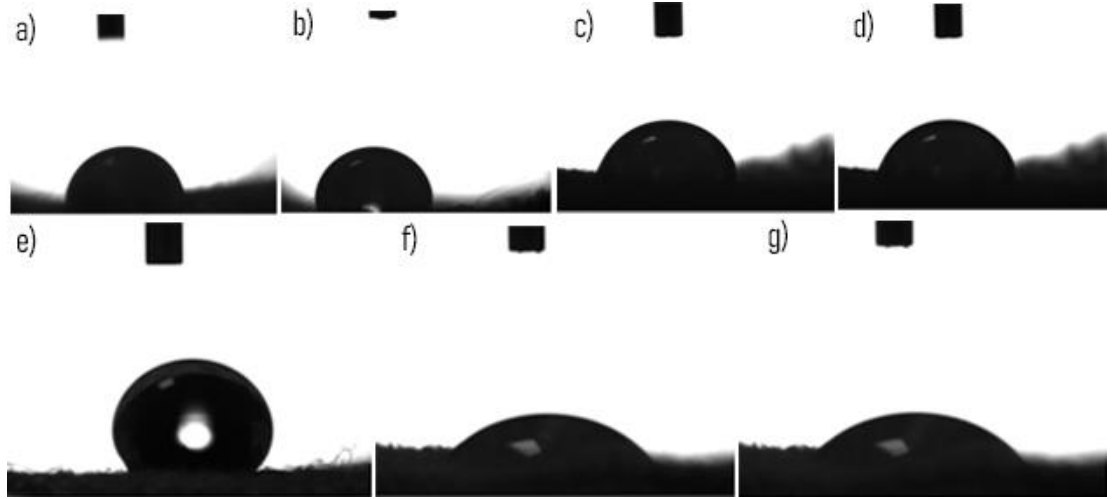
Çizelge 5.16'da hareketsiz damla için ve tanjant 1 hesaplama sistemi ile alınan saf ve sentezlenen farklı kompozit malzemeler ile kaplı polyester ve viskon kumaşlara ait ortalama temas açısı ölçümleri verilmektedir. Bu kompozitler, ayva çekirdeği musilajından yeşil sentez ile elde edilen ZnO ve sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO₂ nanopartikülleri ile PDMS kullanılarak hazırlanmıştır.

Çizelge 5.16. Saf ve farklı tür kaplamalı kumaşlara ait temas açıları

Kumaş Türü (Saf ve kaplanmış)	Kaplama						
	Saf	PDMS	PDMS/ZnO	PDMS/SiO ₂	ZnO/SiO ₂ /PDMS	ZnO/SiO ₂ -PDMS	ZnO/PDMS-SiO ₂ /PDMS
Viskon (Temas Açısı) °	83,7	94,7	114,1	126,7	117,2	144,7	112,6
Polyester (Temas Açısı) °	47,6	65,8	53,1	42,6	46,1	111,3	50,7

Çizelge 5.16'ya bakıldığında saf viskon kumaş için ortalama temas açısı 83,7°'dir, bu değer hidrofobik olmaya yakın olsa da su damlacıkları yüzeyde hâlâ ıslanma eğilimi gösterebilir. PDMS kaplama ile temas açısı 94,7°'ye çıkmıştır ve PDMS ile kaplı viskon kumaşın hidrofobik özellik kazandığını göstermektedir. Bu çalışmada, PDMS/ZnO, PDMS/SiO₂ ve ZnO/SiO₂/PDMS olarak farklı kombinasyonlarda hazırlanan kompozitler ile kaplı viskon kumaşların ortalama temas açıları sırasıyla 114,1°, 126,7° ve 117,2° olarak elde edilmiştir. Bu verilerden, yeşil sentez ile elde edilen ZnO ve sol-jel yöntemiyle sentezlenen SiO₂ nanopartiküllerin PDMS ile yaptığı kompozitlerin, kumaşlara kaplanması ile oldukça hidrofobik özellik kazandırıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, ZnO/SiO₂-PDMS kombinasyonu ile kaplı viskon kumaşın ortalama temas açısının 144,7° olduğu ve bu değerın süperhidrofobikliğe çok yakın olduğu görülmektedir (Hasanzadeh vd., 2022). Sonuç olarak, yukarıda bahsedilen kombinasyon çeşitlerinden ZnO/SiO₂-PDMS kaplı polyester kumaşın en iyi süperhidrofobiklik performansını gösterebileceği söylenebilir.

Şekil 5.32'de 10 µL hacminde ultra saf su damlatılan ve 10 saniye süreyle kayda alınan polyester kumaşların temas açısı ölçümleri yer almaktadır.



Şekil 5.32. Saf ve kaplanmış polyester kumaşların temas açısı ölçümleri a) saf b) PDMS c) PDMS/ZnO d) PDMS/SiO₂ e) ZnO/SiO₂-PDMS f) ZnO/SiO₂/PDMS g) ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS

Çizelge 5.16’da saf ve sentezlenen farklı kompozit malzemeler ile kaplı polyester kumaşlara ait ortalama temas açısı ölçümleri verilmektedir. Çizelge 5.16’ya bakıldığında saf polyester kumaş için ortalama temas açısı 47,6°’dir, bu değer polyester kumaşların hidrofobiklik yönünden oldukça istenmeyen özellikte olduğunu ve suyu kolayca emebildiğini göstermektedir (Liu vd., 2021). PDMS/ZnO ve PDMS/SiO₂ kaplamalı polyester kumaşlar için ortalama temas açıları sırasıyla 53,1° ve 42,6° olarak ölçülmüştür. Bu tür kombinasyonlu kompozitlerin polyester kumaşlar için hidrofobiklik yönünden uygun olmadığı sonucuna varılabilir. PDMS kaplı polyester kumaş için ortalama temas açısı 65,8°’ye yükselmiştir. Fakat bu tür kaplamalı kumaşların hidrofobiklik yönünden kullanılabileceği düşünülebilir. ZnO/SiO₂-PDMS kaplama ile ortalama temas açısı 111,3°’ye çıkmıştır, bu kompozit kaplamalı polyester kumaşın en iyi hidrofobiklik özelliği gösterdiği ve süperhidrofobik olarak da kullanılabileceği söylenebilir.

Bu veriler, aynı tür kombinasyonun süperhidrofobik özellik kazandırmak için viskon kumaşların daha uygun olduğunu ve özellikle ZnO/SiO₂-PDMS kombinasyonunun en başarılı sonuçları verdiğini göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada viskon ve polyester kumaş yüzeylere hidrofobik özellik, UV koruma ve fotokatalitik olarak kendi kendini temizleme özellikleri kazandırılmıştır. Bu amaçla ayva çekirdeği musilajından yeşil sentez ile ZnO nanopartikülleri ve sol-jel yöntemiyle SiO₂ nanopartikülleri elde edilerek farklı kombinasyonlarda ZnO ve SiO₂ kompozitleri hazırlanmış ve kumaş yüzeylerine kaplanmıştır.

Yüzeylerin hidrofobik-süperhidrofobik özellik gösterip göstermediği temas açısı ölçümleri yapılarak anlaşılmıştır. ZnO/SiO₂-PDMS kombinasyonlu kompozit ile kaplı olan viskon ve polyester kumaşların ortalama temas açıları sırasıyla 144,7° ve 111,3° olarak ölçülmüştür.

FE-SEM görüntüleri ve EDS analizi sonuçları yüzeyde istenen yapının oluştuğunu göstermiştir. SiO₂ ve ZnO nanopartiküllerinin yüzeyde var olduğu EDS analizi sonucunda ortaya çıkmıştır. ZnO nanopartikülünün yüzey üzerindeki varlığı yüzeyleri pürüzlü hale getirdiğinden temas açıları yüksek çıkmış ve UV koruma sağlanmıştır.

EDS ile yüzeyin elementel kompozisyonu tespit edilmiştir. En yüksek temas açısına sahip ZnO/SiO₂-PDMS kombinasyonlu kompozit ile kaplı olan viskon kumaşın (144,7°) % 9,56 Si, % 0,97 Zn içerdiği görüldü. ZnO/SiO₂-PDMS kombinasyonlu kompozit ile kaplı olan polyester kumaşın (111,3°) elementel kompozisyonu ise % 7,98 Si, % 0,57 Zn içermektedir. ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kombinasyonu ile kaplanıp en yüksek UPF değerine sahip olan polyester kumaş %12,44 Si ve %1,31 Zn içerirken, ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kombinasyonu ile kaplanıp en yüksek UPF değerine sahip olan viskon kumaş ise %1,97 Si ve %1,60 Zn içermektedir. Bu verilere göre ZnO ve SiO₂ nanopartiküllerinin yüzeye yerleştiği söylenebilir.

XRD analizi, ayva çekirdeği musilajından yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartiküllerinin ZnO'nun altıgen kristal yapısına ait difraksiyon tepe noktalarına sahip olduğu bulunmuştur. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen nanopartikül amorf yapıda olduğundan geniş tepe $2\theta = 15^\circ - 30^\circ$ olarak gözlenmiştir.

Saf kumaşların kendi kendine temizleyebilme (fotokatalitik etki) özellikleri UV ışığı altında incelendiğinde bu konuda başarısız olduğu görüldü. PDMS ile kaplı kumaşlar ile aynı kirleticiler ile testi yaptığımızda daha iyi sonuç verdiği, lekelerin biraz daha fotokatalitik

olarak parçalanabildiği görülmüştür. PDMS/ZnO karışımı için aynı fotokatalitik test yapıldığında ise daha kısa sürede sonuç verdiği, kumaşların üzerindeki lekelerin azalarak yok olmaya yaklaştığı görüldü. ZnO/PDMS-SiO₂/PDMS kombinasyonlu kaplamada ise en iyi sonuç verdiği, ketçap dışındaki organik kirleticilerin 3 saat gibi kısa bir sürede yok olduğu görülmüştür. Bu kaplama kombinasyonu, en hızlı ve etkili temizleme performansını göstermiştir. Bu sonuç, ZnO ve SiO₂'nin fotokatalitik özelliklerinin PDMS ile bir araya geldiğinde önemli bir etki oluşturduğu söylenebilir. Yine de ketçap lekesi gibi daha karmaşık kirleticiler üzerinde etkisi sınırlı kalmıştır.

Hidrofobik-süperhidrofobik özellik için ZnO/SiO₂-PDMS ile hazırlanan kompozit, her iki kumaş türü için en etkili kaplama olarak öne çıkmıştır. Aynı tür kompozit kombinasyonlu, aynı daldırma kaplama yöntemi kullanılarak kaplanan kumaşlarda ZnO/SiO₂-PDMS kaplama türünün her iki kumaş türü için de iyi özellikler kazandığı, polyester kumaşlar için süperhidrofobik özellik ve viskon kumaşlar için hidrofobik özellik kazandığı görülmektedir. İki kumaş türünün özelliklerinin iyileştiği görülmektedir. Polyester kumaşın hidrofilik yapısı, süperhidrofobik davranışın viskondan daha zor oluşmasına neden olsa da ZnO/SiO₂-PDMS ile kaplanmasıyla birlikte ortalama temas açısı 47,6 iken 111,3'e yükselmiştir.

Bu tez çalışması, farklı tür kompozitli malzemelerin kumaşların UV koruma performansı, kendi kendini temizleme (Fotokatalitik etki) ve hidrofobik/süperhidrofobik özelliklerini nasıl etkilediklerini ele almıştır. ZnO nanopartiküllerin ayva çekirdeği musilajından yeşil sentez gibi çevre dostu yöntemlerle elde edilmiş olması, sürdürülebilirlik açısından çok önemlidir. Bu çalışma, nanoteknolojinin tekstil sektörünü nasıl iyileştirebileceğini gösterirken, aynı zamanda UV koruma özelliği yüksek ve çevre dostu ürünlerin geliştirilmesine zemin hazırlamaya katkı sağlamaktadır.

Çalışma sonucunda, farklı kombinasyonla hazırlanan kompozitler ile kaplı viskon ve polyester kumaşlar, aynı daldırma kaplamayla ve aynı yöntemlerle hazırlanan kompozitlerle kaplanmasına rağmen, farklı UV Koruma, farklı kendi kendini temizleme (Fotokatalitik etki) ve farklı temas açılarıyla birbirinden farklı özellikler gösterdiği görülmüştür. Sonuçlar, saf viskon ve polyester kumaşların sadece UV koruma performansını değil, aynı zamanda farklı tür kaplamalar ile kumaş türlerinin nasıl özellikler kazandığını göstermektedir.

Farklı kombinasyonlarda hazırlanan kompozitler ile kaplı kumaşlar, kumaş türüne göre farklı performans göstermiş olsa da genel olarak UV koruma seviyesinde artış

görülmektedir. Polyester kumaşlar, kaplamaların potansiyelini daha iyi yansıtarak en yüksek UPF değerlerine ulaşmış, viskon kumaşlar ise daha sınırlı iyileşme göstermiştir. Viskon kumaşın geniş endüstriyel kullanımı göz önüne alındığında, bu kumaşlarda UV koruma performansını artırmak için daha yüksek konsantrasyonlu ZnO veya farklı bağlayıcı malzemelerle çalışılabilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adamu, B. F., Gao, J., Jhatial, A. K., & Kumelachew, D. M. (2021). A review of medicinal plant-based bioactive electrospun nanofibrous wound dressings. *Materials & Design*, 209, 109942. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109942>
- Agarwal, H., Kumar, S. V., & Rajeshkumar, S. (2017). A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles – An eco-friendly approach. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.03.002>
- Agrawal, N., Tan, J. S. J., Low, P. S., Fong, E. W. M., Lai, Y., & Chen, Z. (2019). Green synthesis of robust superhydrophobic antibacterial UV-blocking cotton fabrics by a dual-stage silanization approach. *Advanced Materials Interfaces*, 6(11), 1–11. <https://doi.org/10.1002/admi.201801392>
- Aljumaily, M., Alsaadi, A. M., Das, R., & Novikov, M. (2018). Optimization of the synthesis of superhydrophobic carbon nanomaterials by chemical vapor deposition. *Scientific Reports*, 8, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27972-y>
- Anbuvaran, M., Ramesh, M., Viruthagiri, G., Shanmugam, N., & Kannadasan, N. (2015). Synthesis, characterization and photocatalytic activity of ZnO nanoparticles prepared by biological method. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 143, 304–308. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.01.124>
- Bhattacharya, B., Singh, N. B., & Sarkar, U. (2020). Pristine and BN doped graphyne derivatives for UV light protection. *Journal of Computational Chemistry*, 41(4), 319–329. <https://doi.org/10.1002/qua.24910>
- Barthlott, W., & Neinhuis, C. (1997). Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. In *Planta* (Vol. 202, pp. 1–8). Springer.
- Broasca, G., Borcia, G., Dumitrascu, N., & Vranceanu, N. (2013). Characterization of ZnO coated polyester fabrics for UV protection. *Applied Surface Science*, 279, 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.04.084>
- Celia, E., Darmanin, T., Taffin de Givenchy, E., Amigoni, S., & Guittard, F. (2013). Recent advances in designing superhydrophobic surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 402, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.04.031>
- Chakradhar, R., Kumar, V. D., Rao, J., & Basu, B. J. (2011). Fabrication of superhydrophobic surfaces based on ZnO–PDMS nanocomposite coatings: Study of its wetting behaviour. *Applied Surface Science*, 257(20), 8569–8575. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.04.089>
- Deng, S., Wang, F., Wang, M., Wu, N., Cui, H., & Wu, Y. (2023). Integrating multifunctional highly efficient flame-retardant coatings with superhydrophobicity and antibacterial property on cotton fabric. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253(Part 4), 127022. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127022>
- Dou, W., Wang, P., Zhang, D., & Yu, J. (2016). An efficient way to prepare hydrophobic antireflective SiO₂ film by sol–gel method. *Materials Letters*, 167, 69–72. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.12.123>
- Elemike, E. E., Onwudiwe, D. C., & Mbonu, J. I. (2021). Facile synthesis of cellulose–ZnO hybrid nanocomposite using *Hibiscus rosa-sinensis* leaf extract and its antibacterial activities. *Applied Nanoscience*, 11(4), 1349–1358. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01909-4>
- Erayman, Y., & Korkmaz, Y. (2017). Süperhidrofob tekstil yüzeylerin florsuz bileşikler kullanılarak sol-jel yöntemi ile modifikasyonu. *Tekstil ve Mühendis*, 24(105), 41–52. <https://doi.org/10.7216/1300759920172410504>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Fang, Y., Chen, L., Liu, J., & Wu, L. (2024). Multi-functionalization of cotton fabrics with excellent flame retardant, antibacterial, and superhydrophobic properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254(Part 2), 127889. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.127889>
- Gong, X., & He, S. (2020). Highly durable superhydrophobic polydimethylsiloxane/silica nanocomposite surfaces with good self-cleaning ability. *ACS Omega*, 5(8), 4100–4108. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03775>
- Grifoni, D., Bacci, L., Zipoli, G., Albanese, L., & Sabatini, F. (2011). The role of natural dyes in the UV protection of fabrics made of vegetable fibres. *Dyes and Pigments*, 91(3), 279–285. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2011.05.013>
- Guo, W., Wang, X., Huang, J., Zhou, Y., Cai, W., Wang, J., Song, L., & Hu, Y. (2020). Construction of durable flame-retardant and robust superhydrophobic coatings on cotton fabrics for water-oil separation application. *Chemical Engineering Journal*, 398, 125661. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125661>
- Gültaktı, İ. E. (2020). Tek aşamalı sprey kaplama yöntemi ile saydam ve yüksek dayanımlı süperhidrofobik cam yüzeylerin oluşturulması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(3), 1597–1606.
- Hasanzadeh, M., Shahriyari, H., Haji, A., & Rosace, G. (2022). Surface modification of polyester/viscose fabric with silica hydrosol and amino-functionalized polydimethylsiloxane for the preparation of a fluorine-free superhydrophobic and breathable textile. *Coatings*, 12(3), 398. <https://doi.org/10.3390/coatings12030398>
- He, Q., Wang, J., Wang, G., Hao, X., & Li, A. (2023). Construction of a durable superhydrophobic flame-retardant coating on PET fabrics. *Materials and Design*, 233, 112258. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112258>
- Hong, R. Y., Li, J. H., Chen, L. L., Liu, D. Q., Li, H. Z., Zheng, Y., & Ding, J. (2009). Synthesis, surface modification, and photocatalytic property of ZnO nanoparticles. *Powder Technology*, 189(3), 426–432. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2008.07.003>
- Hu, J., Zhang, M., He, Y., Zhang, M., Shen, R., Zhang, Y., Wang, M., & Wu, G. (2020). Fabrication and potential applications of highly durable superhydrophobic polyethylene terephthalate fabrics produced by in-situ zinc oxide (ZnO) nanowires deposition and polydimethylsiloxane (PDMS) packaging. *Polymers*, 12(10), 2333. <https://doi.org/10.3390/polym12102333>
- Jeevahan, J., Chrasekaran, M., Britto Joseph, G., Durairaj, R. B., & Mageshwaran, G. (2018). Superhydrophobic surfaces: A review on fundamentals, applications, and challenges. *Journal of Coatings Technology and Research*, 15(2), 231–250. <https://doi.org/10.1007/s11998-018-0074-0>
- Jeong, S. W., Bolortuya, S., Eadi, S. B., & Kim, S. (2019). Fabrication of superhydrophobic surfaces based on PDMS-coated hydrothermal-grown ZnO on PET fabrics. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 34(1), 102–113. <https://doi.org/10.1080/01694243.2019.1676221>
- Kathirvelu, S., D'souza, L., & Dhurai, B. (2009). UV protection finishing of textiles using ZnO nanoparticles. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 34, 267–273.
- Kumar, P. S., Pavithra, K. G., & Naushad, M. (2019). Characterization techniques for nanomaterials. In S. Thomas, E. H. M. Sakho, & J. Wu (Eds.), *Nanomaterials for Solar Cell Applications* (pp. 97–124). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814487-2.00004-6>
- Lam, Y. L., Kan, C. W., & Yuen, C. W. M. (2010). Effect of zinc oxide on flame retardant finishing of plasma pre-treated cotton fabric. *Cellulose*, 18(1), 151–165. <https://doi.org/10.1007/s10570-010-9477-2>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Lan, N. T. T., & Hoang, C. M. (2022). Fabrication characteristics of silica nanoparticle monolayer assembled by spin coating. *VNU Journal of Science: Mathematics - Physics*, 38(1), 1–10. <https://doi.org/10.25073/2588-1124>
- Latthe, S.S., Terashima, C., Nakata, K., & Fujishima, A. (2014). Superhydrophobic surfaces developed by mimicking hierarchical surface morphology of lotus leaf. *Molecules*, 19, 4256–4283. <https://doi.org/10.3390/molecules19044256>
- Li, D. W., Wang, H. Y., Liu, Y., Wei, D. S., & Zhao, Z. X. (2019). Large-scale fabrication of durable robust superhydrophobic spray coatings with excellent repairable anti-corrosion performance. *Chemical Engineering Journal*, 367, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.032>
- Li, X., Reinhoudt, D., & Crego-Calama, M. (2007). What do we need for a superhydrophobic surface? A review on the recent progress in the preparation of superhydrophobic surfaces. *ChemInform*, 38(44), 1–22. <https://doi.org/10.1002/chin.200744279>
- Liang, L., Lis Arias, M. J., Lou, Z., Mao, Q., Ye, C., & Meng, X. (2019). Preparation of hydrophobic fabrics and effect of fluorine monomers on surface properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 14, 1–9. <https://doi.org/10.1177/1558925019889619>
- Lin, D., Zeng, X., Li, H., Lai, X., & Wu, T. (2019). One-pot fabrication of superhydrophobic and flame-retardant coatings on cotton fabrics via sol-gel reaction. *Journal of Colloid and Interface Science*, 533, 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.08.002>
- Liu, X., Gu, Y., Mi, T., Wang, X., & Zhang, X. (2021) Dip-Coating Approach to Fabricate Durable PDMS/STA/SiO₂ Superhydrophobic Polyester Fabrics. *Coatings*. 11, 326. <https://doi.org/10.3390/coatings11030326>
- Liu, H., Huang, J., Chen, Z., Chen, G., Zhang, K. Q., Al-Deyab, S. S., & Lai, Y. (2017). Robust translucent superhydrophobic PDMS/PMMA film by facile one-step spray for self-cleaning efficient emulsion separation. *Chemical Engineering Journal*, 330, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.031>
- Long, M., Peng, S., Deng, W., Yang, X., Miao, K., Wen, N., Miao, X., & Deng, W. (2017). Robust thermal-healing superhydrophobic surfaces by spin-coating of polydimethylsiloxane. *Journal of Colloid and Interface Science*, 508, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.07.091>
- Mallakpour, S., Sirous, F., & Hussain, C. M. (2021). A journey to the world of fascinating ZnO nanocomposites made of chitosan, starch, cellulose, and other biopolymers: Progress in recent achievements in eco-friendly food packaging, biomedical, and water remediation technologies. In *International Journal of Biological Macromolecules*, 170, 701–716. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.013>
- Marmur, A. (2004). The lotus effect: Superhydrophobicity and metastability. *Langmuir*, 20(9), 3517–3519. <https://doi.org/10.1021/la036369u>
- Mendoza, A. I., Moriana, R., Hillborg, H., & Strömberg, E. (2019). Superhydrophobic zinc oxide/silicone rubber nanocomposite surfaces. *Surfaces and Interfaces*, 14, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2018.11.002>
- Moghaddas, S. M. T. H., Elahi, B., & Javanbakht, V. (2020). Biosynthesis of pure zinc oxide nanoparticles using quince seed mucilage for photocatalytic dye degradation. *Journal of Alloys and Compounds*, 835, 153519. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.153519>
- Mohamad Sukri, S. N. A., Shameli, K., Mohamed Isa, E. D., & Ismail, N. A. (2021). Green synthesis of zinc oxide-based nanomaterials for photocatalytic studies: A mini review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1051(1), 012083. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1051/1/012083>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Musić, S., Filipović-Vinceković, N., & Sekovanić, L. (2011). Precipitation of amorphous SiO₂ particles and their properties. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(1), 89–94. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322011000100011>
- Nandanwar, U., Singh, P., & Haque, F. Z. (2015). Synthesis and characterization of SiO₂ nanoparticles by sol-gel process and its degradation of methylene blue. *American Chemical Science Journal*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.9734/ACSJ/2015/10875>
- Parvate, S., Dixit, P., & Chattopadhyay, S. (2020). Superhydrophobic surfaces: Insights from theory and experiment. *The Journal of Physical Chemistry B*, 124(8), 1323–1360. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b10834>
- Ponnamma, D., Cabibihan, J. J., Rajan, M., Pethaiah, S. S., Deshmukh, K., Gogoi, J. P., Pasha, S. K., Ahamed, M. B., Krishnegowda, J., Chrashekar, B., Polu, A. R., & Cheng, C. (2019). Synthesis, optimization, and applications of ZnO/polymer nanocomposites. *Materials Science and Engineering: C*, 98, 1210–1240. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.01.021>
- Raj, M. K., & Chakraborty, S. (2020). PDMS microfluidics: A mini-review. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(27), 1–10. <https://doi.org/10.1002/app.48883>
- Raman, A., Jayan, J. S., Deeraaj, B., Saritha, A., & Joseph, K. (2021). Electrospun nanofibers as effective superhydrophobic surfaces: A brief review. *Surfaces and Interfaces*, 24, 101140. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101140>
- Sahito, I. A., Sun, K. C., Arbab, A. A., Qadir, M. B., & Jeong, S. H. (2015). Integrating high electrical conductivity and photocatalytic activity in cotton fabric by cationizing for enriched coating of negatively charged graphene oxide. *Carbohydrate Polymers*, 130, 299–306. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.010>
- Shin, J. H., Heo, J. H., Jeon, S., Park, J. H., Kim, S., & Kang, H. W. (2019). Bio-inspired hollow PDMS sponge for enhanced oil–water separation. *Journal of Hazardous Materials*, 365, 494–501. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.10.081>
- Shokuhfar, A., Alzamani, M., Eghdam, E., Karimi, M., & Mastali, S. (2012). SiO₂-TiO₂ nanostructure films on windshields prepared by sol-gel dip-coating technique for self-cleaning and photocatalytic applications. *Nanoscience and Nanotechnology*, 2(1), 16–21.
- Tong, W., Xiong, D. S., Wang, N., Yan, C. Q., & Tian, T. (2018). Green and timesaving fabrication of a superhydrophobic surface and its application to anti-icing, self-cleaning, and oil-water separation. *Surface and Coatings Technology*, 352, 609–618. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.08.056>
- Tsurutani, B. T., & Lakhina, G. S. (2014). Some basic concepts of wave-particle interactions in collisionless plasmas. *Reviews of Geophysics*, 35(4), 457–474. <https://doi.org/10.1029/97RG02200>
- Uikey, P., & Vishwakarma, K. (2016). Review of zinc oxide (ZnO) nanoparticles applications and properties. *International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics (IJETCSE)*, 21(2), 239–242.
- Uribe-López, M., Hidalgo-López, M., López-González, R., Frías-Márquez, D., Núñez-Nogueira, G., Hernández-Castillo, D., & Alvarez-Lemus, M. (2021). Photocatalytic activity of ZnO nanoparticles: The role of the synthesis method on their physical and chemical properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 404, 112866. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2020.112866>
- Verbič, A., Gorjanc, M., & Simončič, B. (2019). Zinc oxide for functional textile coatings: Recent advances. *Coatings*, 9(9), 550. <https://doi.org/10.3390/coatings9090550>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Wang, J., Li, D., Gao, R., Liu, Q., Jing, X., Wang, Y., He, Y., Zhang, M., & Jiang, Z. (2011). Construction of superhydrophobic hydromagnesite films on the Mg alloy. *Materials Chemistry and Physics*, 129(1–2), 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.03.010>
- Wang, S., Guo, X., Xie, Y., Liu, L., Yang, H., Zhu, R., Gong, J., Peng, L., & Ding, W. (2012). Preparation of superhydrophobic silica film on Mg–Nd–Zr magnesium alloy. *Applied Surface Science*, 258(5), 1666–1671. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.10.035>
- Wang, S., Liu, K., Yao, X., & Jiang, L. (2015). Bioinspired surfaces with superwettability: New insights on theory, design, and applications. *Chemical Reviews*, 115(16), 8230–8293. <https://doi.org/10.1021/cr400083y>
- Wen, Q., & Guo, Z. (2016). Recent advances in the fabrication of superhydrophobic surfaces. *Chemistry Letters*, 45(10), 1134–1149. <https://doi.org/10.1246/cl.160515>
- Wenzel, R. N. (1936). Resistance of solid surfaces to wetting by water. *Industrial and Engineering Chemistry*, 28(8), 988–994. <https://doi.org/10.1021/ie50320a024>
- Xie, J., Yang, Y., Gao, B., Wan, Y., Li, Y. C., Cheng, D., Xiao, T., Li, K., Fu, Y., Xu, J., Zhao, Q., Zhang, Y., Tang, Y., Yao, Y., Wang, Z., & Liu, L. (2019). Magnetic-sensitive nanoparticle self-assembled superhydrophobic biopolymer-coated slow-release fertilizer: Fabrication, enhanced performance, and mechanism. *ACS Nano*, 13(3), 3320–3333. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b00152>
- Xiong, M., Ren, Z., & Liu, W. (2019). Fabrication of UV-resistant superhydrophobic surface on cotton fabric by functionalized polyethyleneimine/SiO₂ via layer-by-layer assembly dip-coating. *Cellulose*, 26(16), 8951–8962. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02748-w>
- Xu, B., & Zhang, Q. (2021). Preparation properties of hydrophobically modified nano-SiO₂ with hexadecyltrimethoxysilane. *ACS Omega*, 6(14), 9764–9770. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01095>
- Xu, S., Wang, Q., & Wang, N. (2020). Chemical fabrication strategies for achieving bioinspired superhydrophobic surfaces with micro-nanostructures: A review. *Advanced Engineering Materials*, 23(3), 1–21. <https://doi.org/10.1002/adem.201900941>
- Xue, C. H., Li, Y. R., Zhang, P., Ma, J. Z., & Jia, S. T. (2014). Washable wear-resistant superhydrophobic surfaces with self-cleaning property by chemical etching of fibers and hydrophobization. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6(13), 10153–10161. <https://doi.org/10.1021/am501848f>
- Yang, M., Yang, Y., Shi, J., & Rao, W. (2023). Fabrication of eco-friendly flame-retardant and hydrophobic coating for cotton fabric. *Cellulose*, 30(5), 3267–3280. <https://doi.org/10.1007/s10570-023-05016-3>
- Yin, B., Fang, L., Hu, J., Tang, A. Q., Wei, W. H., & He, J. (2010). Preparation and properties of super-hydrophobic coating on magnesium alloy. *Applied Surface Science*, 257(5), 1666–1671. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.08.036>
- Zhang, J., Zhang, L., & Gong, X. (2021). Large-scale spraying fabrication of robust fluorine-free superhydrophobic coatings based on dual-sized silica particles for effective antipollution and strong buoyancy. *Langmuir*, 37(19), 6042–6051. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.1c00555>
- Zheng, C., Sun, Y., Cui, Y., Yang, W., Lu, Z., Shen, S., Xia, Y., & Xiong, Z. (2021). Superhydrophobic and flame-retardant alginate fabrics prepared through a one-step dip-coating surface treatment. *Cellulose*, 28(9), 5973–5984. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03923-2>

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Zhou, H., Chen, R., Liu, Q., Liu, J., Yu, J., Wang, C., Zhang, M., Liu, P., & Wang, J. (2019). Fabrication of ZnO/epoxy resin superhydrophobic coating on AZ31 magnesium alloy. *Chemical Engineering Journal*, 368, 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.050>
- Zhu, T., Li, S., Huang, J., Mihailiasa, M., & Lai, Y. (2017). Rational design of multi-layered superhydrophobic coating on cotton fabrics for UV shielding, self-cleaning, and oil-water separation. *Materials and Design*, 134, 342–351. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.09.006>

