

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OLİVETOL TEMELLİ SOL JEL KAPLAMALAR İLE SU TUTMAYAN
TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ELDESİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan KÜRÇE

Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Turgay SEÇKİN

Haziran 2025

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OLİVETOL TEMELLİ SOL JEL KAPLAMALAR İLE SU TUTMAYAN
TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ELDESİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gökhan KÜRÇE
(36213613003)**

Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Turgay SEÇKİN

Haziran 2025

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Olivetol Temelli Sol Jel Kaplamalar ile Su Tutmayan Tekstil
Yüzeylerinin Eldesi ve Morfolojik Özelliklerinin Araştırılması**

Tezi Hazırlayan: Gökhan KÜRÇE
Yüksek Lisans Tezi

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her anında, yalnızca akademik rehberliğiyle değil, aynı zamanda düşünce ufkumu genişleten engin birikimiyle yolumu aydınlatan; bilimsel yolculuğumun sessiz pusulası, değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Turgay SEÇKİN'e en içten şükranlarımla...

Hayatımın her döneminde olduğu gibi, bu çalışmanın sancılı ve sabırlı serüveninde de yanımda dimdik duran, varlıklarıyla beni her zaman güçlendiren aileme ; onların sessiz direnci ve sonsuz inancı olmasaydı, bu metin yalnızca kelimelerden ibaret kalırdı...

Tezin uygulama aşamasında, bilgi ve desteğin yalnızca sözle değil, yürekle de verilebileceğini gösteren; bilimsel üretimin görünmeyen emekçileri arasında yer alarak katkılarını esirgemeyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine...

Ve özellikle, bu sürecin düşünsel mimarisine zarafet ve derinlik katan, çalışmamın temel taşlarından birine dönüşen kıymetli hocam Prof. Dr. Süleyman KÖYTEPE'ye; akademik emeğiyle olduğu kadar, tevazu ve bilgelik taşıyan yaklaşımıyla da bu yolculuğu anlamlı kıldığı için gönülden teşekkür ederim.

“Per aspera ad astra”

(Zorluklar arasından yıldızlara)

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Olivetol Temelli Sol Jel Kaplamalar ile Su Tutmayan Tekstil Yüzeylerinin Eldesi ve Morfolojik Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Gökhan KÜRÇE



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ.....	i
ONUR SÖZÜ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER ve KISALTMALAR.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. FONKSİYONEL TEKSTİL YAPILARI.....	6
2.1. Fonksiyonel Tekstiller	6
2.1.1. Fonksiyonel tekstil türleri ve özellikleri.....	7
2.1.2 Fonksiyonel tekstillerde kullanılan başlıca teknolojiler.....	11
2.1.2.1. Nanoteknoloji.....	11
2.1.2.2. Akıllı lif teknolojisi.....	12
2.1.2.3. Sol-Jel kaplamalar	13
2.1.2.4. Enzimatik işlem teknolojisi	13
2.2. Tekstilde Yüzey Modifikasyonu ve Uygulamaları.....	14
2.2.1. Yüzey modifikasyonunun amaçları.....	15
2.2.2 Yüzey modifikasyon yöntemleri.....	16
2.2.3 Yüzey modifiye tekstil yapıların kullanım alanları.....	18
2.2.4 Yüzey modifikasyonunun önemi.....	20
2.2.5. Yüzey modifiye tekstil türleri.....	21
2.2.5.1. Su ve yağ iticilik (Hidrofobik/Hidrofilik Modifikasyon).....	23
2.2.5.2. Antibakteriyel ve antimikrobiyal modifikasyonlar.....	24
2.2.5.3. UV koruyucu tekstil yüzey modifikasyonu.....	25
2.2.5.4. Alev geciktirici (Flame Retardant) uygulamalar.....	26
2.2.5.5. Antistatik yüzey modifikasyonu.....	27
2.2.5.6. Kendini temizleyen (Self-Cleaning) tekstil yüzeyleri.....	28
2.2.5.7. Fonksiyonel boya ve baskı öncesi yüzey modifikasyonu.....	29
2.2.5.8. Termal ve ısı iletken tekstil modifikasyonu.....	30
2.2.5.9. Renk değiştiren yüzey modifikasyonları (Akıllı Tekstiller).....	31
2.3. Su Tutmayan (Hidrofobik) Tekstil Yapıları.....	32
2.3.1. Su tutmayan kumaşların temel üretim yöntemleri.....	32
2.3.2. Su tutmayan (Hidrofobik) tekstil yapıların uygulama alanları.....	33
2.4. Tekstil Yüzeylerinde Elektrostatik Yüklenme Problemi.....	33
2.5. Tekstilde Antistatik Yüzey Modifikasyonları: Sol-Gel Teknolojisi Perspektifi.....	35
2.6. Tekstilde Sol-Jel Uygulamaları.....	35
2.6.1 Sol-Jel yöntemi nedir?.....	37
2.6.2 Tekstilde sol-jel uygulama amaçları.....	38

2.6.3 Tekstilde sol-jel uygulamaları için kullanılan malzemeler.....	38
2.7. Tekstilde Yüzey Analiz Metotları.....	39
2.7.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	40
2.7.2. Enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi (EDS).....	41
2.7.3. Temas açısı ölçümü.....	41
2.7.4. ATR-FTIR spektroskopisi.....	41
2.7.5. XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy).....	42
2.7.6. AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu).....	42
2.7.7. TGA (Termogravimetrik Analiz).....	42
2.7.8. UV-Vis spektrofotometri.....	42
2.7.9. Yıkama dayanımı testleri (ISO 6330, AATCC 61).....	42
3. MATERYAL VE METOT.....	43
3.1 Çalışma Kapsamında Kullanılan Kimyasal Maddeler.....	43
3.1.1. Tekstil yüzeylerinin temini ve hazırlığı.....	43
3.1.2. Sol-Jel kaplama çözeltilerinin hazırlanması.....	43
3.2 Çalışma Kapsamında Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar.....	45
3.2.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	45
3.2.2. X-Işını kırınımı (XRD) analizi.....	45
3.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	45
3.2.4. Temas açısı ölçümü.....	46
3.2.5. Mekanik çekme testleri.....	46
3.3 Olivetol Temelli Yüzey Kaplamalarında Optimum Kaplama Parametrelerinin Belirlenmesi.....	48
3.4. Farklı Kumaş Türü Üzerine Yüzey Kaplamaların Gerçekleştirilmesi.....	50
3.5. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Genel Değerlendirme.....	56
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	57
4.1 Olivetol Temelli Sol Jel Kaplı Ribana Kumaşların Karakterizasyonu.....	59
4.2 Olivetol Temelli Sol Jel Kaplı İnterlok Kumaşların Karakterizasyonu.....	64
4.3 Olivetol Temelli Sol Jel Kaplı Lakoste Kumaşların Karakterizasyonu.....	70
4.4 Olivetol Temelli Sol Jel Kaplı Süprem Kumaşların Karakterizasyonu.....	76
4.5. Olivetol Temelli Tekstil Yapılarının Mekanik Özellikleri.....	81
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
5.1. Yapısal Analizler (FTIR ve X-Ray):.....	84
5.2. Morfolojik Analizler (Optik Mikroskop ve SEM):.....	84
5.3. Termal Analizler (TGA ve DSC):.....	84
5.4. Mekanik Testler:.....	85
5.5. Yüzey Özellikleri (Sıvı Temas Açısı Ölçümleri):.....	85
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	101

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Tekstilde Sol-Jel uygulamaları için kullanılan kimyasal malzemeler ve özellikleri.....	39
Çizelge 2.2: Tekstilde yüzey analiz metotları.....	40
Çizelge 3.1: Ribana kumaş yapılarına yapılan olivetol Sol-Jel kaplamalar.....	51
Çizelge 3.2: İnterlok kumaş yapılarına yapılan olivetol Sol-Jel kaplamalar.....	52
Çizelge 3.3: Lacoste kumaş yapılarına yapılan olivetol Sol-Jel kaplamalar.....	53
Çizelge 3.4: Süprem kumaş yapılarına yapılan olivetol Sol-Jel kaplamalar.....	54



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Pamuklu kumaş ve selüloz yapısı.....	1
Şekil 1.2: Ribana, interlok, lacoste ve süprem türü örme kumaş yapıları.....	2
Şekil 3.1: Olivetol temelli Sol-Jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait fotoğraf görüntüleri.....	51
Şekil 3.2: Olivetol temelli Sol-Jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait fotoğraf görüntüleri.....	52
Şekil 3.3: Olivetol Sol-Jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait fotoğraf görüntüleri.....	53
Şekil 3.4: Olivetol Sol-Jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait fotoğraf görüntüleri....	54
Şekil 4.1: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait FTIR spektrumları.....	60
Şekil 4.2: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait optik mikroskop görüntüleri.....	60
Şekil 4.3: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait SEM görüntüleri (RPT; a, RPT-0; b, RPT-1; c, RPT-2; d, RPT-3; e, RPT-4; f).....	61
Şekil 4.4: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait sıvı temas açısı görüntüleri.....	62
Şekil 4.5: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait x-ray spektrumları.....	63
Şekil 4.6: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait FTIR spektrumları.....	65
Şekil 4.7: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait optik mikroskop görüntüleri.....	66
Şekil 4.8: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait SEM görüntüleri (İPT; a, İPT-0; b, İPT-1; c, İPT-2; d, İPT-3; e, İPT-4; f).....	67

Şekil 4.9: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait sıvı temas açısı görüntüleri.....	68
Şekil 4.10: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait x-ray spektrumları.....	69
Şekil 4.11: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait FTIR spektrumları.	70
Şekil 4.12: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait optik mikroskop görüntüleri.....	72
Şekil 4.13: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait SEM görüntüleri (LPT; a, LPT-0; b, LPT-1; c, LPT-2; d, LPT-3; e, LPT-4; f).....	73
Şekil 4.14: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait sıvı temas açısı görüntüleri.....	74
Şekil 4.15: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait x-ray spektrumları.	75
Şekil 4.16: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait FTIR spektrumları.....	76
Şekil 4.17: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait optik mikroskop görüntüleri.....	78
Şekil 4.18: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait SEM görüntüleri(SPT; a, SPT-0; b, SPT-1; c, SPT-2; d, SPT-3; e, SPT-4; f).....	79
Şekil 4.19: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait sıvı temas açısı görüntüleri.	80
Şekil 4.20: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait x-ray spektrumları.....	81

Şekil 4.21: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait Mekanik analiz sonuçları.....	82
Şekil 4.22: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait Mekanik analiz sonuçları.....	82
Şekil 4.23: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait Mekanik analiz sonuçları.....	83
Şekil 4.24: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait Mekanik analiz sonuçları.....	83
Şekil 5.1: Ribana kumaş yüzeyine olivetol temelli sol jel kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüleri.(RPT; a, RPT-0; b, RPT-1; c, RPT-2; d, RPT-3; e, RPT-4; f)	87
Şekil 5.2: İnterlok kumaş yüzeyine olivetol temelli sol jel kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüleri. (İPT; a, İPT-0; b, İPT-1; c, İPT-2; d, İPT-3; e, İPT-4; f)	88
Şekil 5.3: Lacoste kumaş yüzeyine olivetol temelli sol jel kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüleri. (LPT; a, LPT-0; b, LPT-1; c, LPT-2; d, LPT-3; e, LPT-4; f)	89
Şekil 5.4: Süprem kumaş yüzeyine olivetol temelli sol jel kaplamanın yüksek büyütme SEM görüntüleri. (SRPT; a, SPT-0; b, SPT-1; c, SPT-2; d, SPT-3; e, SPT-4; f)	90

SEMBOLLER ve KISALTMALAR

TEOS	: Tetraetil ortosilikat
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
SEM	: Tarama Elektron Mikroskobu
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
TGA	: Termogravimetrik Analiz
XRD	: X-Işını Kırınımı (X-Ray Diffraction)
Si-O-Si	: Silika Ağı Bağı
OH	: Hidroksil Grubu
C-H	: Karbon-Hidrojen Bağı
C-O-C	: Eterik Bağ
RPT	: Ribana Kumaş Kaplama Kodu
SPT	: Süprem Kumaş Kaplama Kodu
IPT	: İnterlok Kumaş Kaplama Kodu
LPT	: Lacoste Kumaş Kaplama Kodu

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OLİVETOL TEMELLİ SOL JEL KAPLAMALAR İLE SU TUTMAYAN TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ELDESİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Gökhan Kürçe

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı

101+xi sayfa
2025

Danışman: Prof. Dr. Turgay SEÇKİN

ÖZET

Dünya genelinde hızla büyüyen ve stratejik önemi giderek artan tekstil endüstrisi, insanlık tarihi boyunca varlığını sürdüren ve gelecekte de varlığını devam ettirecek temel sektörlerden biri olmuştur. Bu endüstride, çok işlevli tekstil yapılarına olan ihtiyaç her geçen gün artmış; aynı anda birden fazla özelliği bünyesinde barındırabilen yenilikçi çözümler geliştirilmesi sektörün başlıca hedefleri arasında yer almıştır. Yanmazlık, antibakteriyel özellik, kir tutmama ve kırışmama gibi fonksiyonların aynı tekstil yapısında sağlanması bu doğrultudaki temel gerekliliklerden biri olmuştur.

Bu çalışmada, moleküler hidrofobite özellikleri taşıyan yapılar kullanılarak, sol-jel kaplama yöntemiyle tekstil kumaş yüzeylerinde su ve yağ tutmayan, aynı zamanda termal özellikleri iyileştirilmiş kaplamalar elde edilmiştir. Suprem, interlok, ribana ve lacoste gibi kumaşlar, ham pamuk yapılı olmaları nedeniyle yüksek oranda hidroksil grubu içermekte ve bu da onların oldukça hidrofilik karakter göstermelerine neden olmaktadır. Bu bağlamda, söz konusu kumaş yapılarına farklı oranlarda olivetol grubu içeren kaplamalar uygulanmış ve böylece yüzeyin hidrofilik karakteri azaltılmaya çalışılmıştır. Çalışmada yalnızca su ve yağ itici özellikler değil, aynı zamanda uygulanan sol-jel kaplama yöntemiyle kumaşların termal dayanım özellikleri de artırılmıştır. Ayrıca, kaplamalarda kullanılan hidrofob yan gruplar içeren olivetol temelli moleküler ünitelerin oranı değiştirilerek, kumaş özellikleriyle olivetol miktarı arasındaki korelasyon da analiz edilmiştir. Elde edilen olivetol temelli yüzey kaplamaları, yapısal olarak FTIR spektroskopisi ve X-ışını spektroskopisi (XRD) ile detaylı biçimde incelenmiştir. Kullanılan kumaşlar interlok, ribana, lacoste ve suprem gibi pamuk esaslı yapılar olmuştur. Kaplamaların yüzey morfolojisi ve kalınlığı ise SEM, AFM ve optik mikroskopi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, uygulanan sol-jel kaplamaların kumaşların termal özelliklerine etkisi TGA, DTA ve DSC analizleri ile ortaya konulmuştur. Su iticilik özellikleri sıvı temas açısı ölçümleri ile belirlenmiş ve olivetol miktarı ile kaplama kalınlığına bağlı olarak yüzeyin hidrofobik karakteri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil, Yüzey Modifikasyonu, Sol-Jel Kimyası, Hidrofobik Yüzeyler, Fizikokimyasal Özellikler

ABSTRACT

Master Thesis

FABRICATION OF WATER-REPELLENT TEXTILE SURFACES VIA OLIVETOL-BASED SOL-GEL COATINGS AND INVESTIGATION OF THEIR MORPHOLOGICAL PROPERTIES

Gökhan KÜRÇE

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Chemistry

101+xi sayfa

2025

Supervisor: Prof. Dr. Turgay SEÇKİN

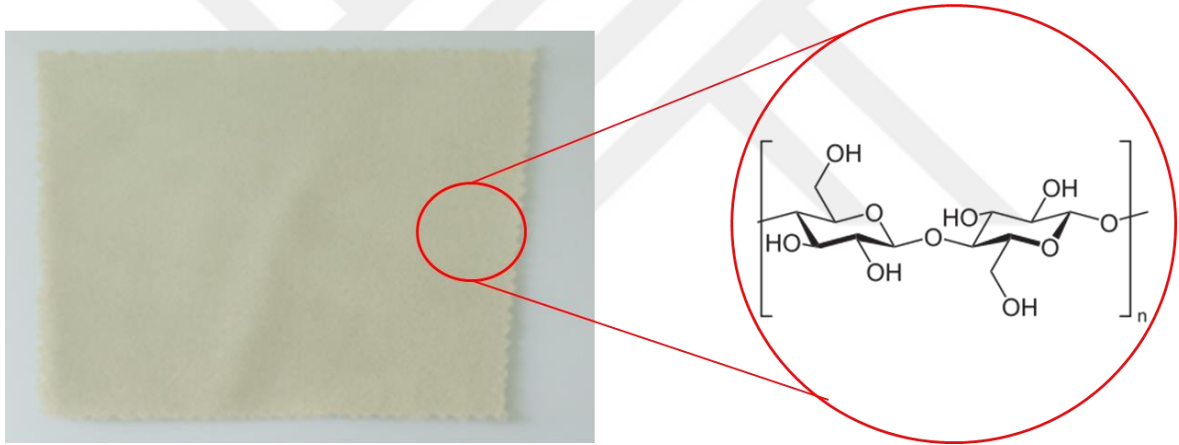
The textile industry, which has rapidly grown worldwide and gained increasing strategic importance, has been one of the fundamental sectors throughout human history and is expected to maintain its significance in the future. In this industry, the demand for multifunctional textile structures has continuously increased, and developing innovative solutions that integrate multiple properties simultaneously has become a key objective. Providing functionalities such as flame retardancy, antibacterial activity, stain resistance, and wrinkle resistance within a single textile structure is considered essential.

In this study, textile fabrics were coated with olivetol-based sol-gel structures possessing molecular hydrophobicity, aiming to achieve water- and oil-repellent as well as thermally enhanced textile surfaces. Fabrics such as suprem, interlock, rib, and lacoste, being composed of raw cotton, contain a high density of hydroxyl groups, which makes them highly hydrophilic. Therefore, coatings containing various concentrations of olivetol units were applied to these fabrics in order to reduce their hydrophilic character. The study not only focused on the development of hydrophobic and oleophobic surfaces but also on improving the thermal stability of the fabrics through sol-gel coating. Furthermore, the ratio of hydrophobic olivetol-based molecular units in the coating was varied to investigate the correlation between olivetol content and key fabric properties. The olivetol-based surface coatings obtained were structurally analyzed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and X-ray Diffraction (XRD). The coated textile structures included interlock, rib, lacoste, and suprem fabric types. The surface morphology and coating thickness were examined in detail using Scanning Electron Microscopy (SEM), Atomic Force Microscopy (AFM), and optical microscopy. The thermal properties of the coated fabrics were evaluated using Thermogravimetric Analysis (TGA), Differential Thermal Analysis (DTA), and Differential Scanning Calorimetry (DSC). Water repellency was assessed by contact angle measurements, and the influence of olivetol concentration and coating thickness on surface hydrophobicity was thoroughly analyzed.

Keywords: Textile, Surface Modification, Sol-Gel Chemistry, Hydrophobic Surfaces, Physicochemical Properties

1. GİRİŞ

Son yıllarda araştırmacılar, çeşitli alanlardaki potansiyel uygulamalara yönelik süperhidrofobik yüzeyler hazırlamak için etkileyici çabalar sarf ettiler [1-8]. Diğerlerinin yanı sıra, süperhidrofobik tekstiller bir dizi farklı yaklaşımla başarılı bir şekilde elde edilmiştir [9-16]. Örneğin, Gao ve McCarthy, 1945 tarihli bir patente göre, kumaşı süperhidrofobik hale getirmek için bir mikrofiber polyester kumaşa silikon kaplama aşılardılar [9], ancak mikrofiber polyester kumaş (2-5 µm kadar küçük tek bir fiberle) sıkı dokunmuş olmalıdır ve bu yaklaşım pamuklu tekstiller için uygun olmayabilir. Wang ve arkadaşları [11] tarafından çift boyutlu bir yüzey topolojisi oluşturmak için pamuklu kumaşlara altın parçacıkları dahil edilmiştir, ancak altın parçacıkları ile pamuk lifi arasında açıkça hiçbir kimyasal bağ yoktur. Hoefnagels ve arkadaşları [14] biyomimetik süperhidrofobik ve oldukça oleofobik pamuklu tekstiller bildirmiştir. Pamuk kimyasal yapı olarak büyük oranda selülozdan oluşmaktadır (Şekil 1.1).

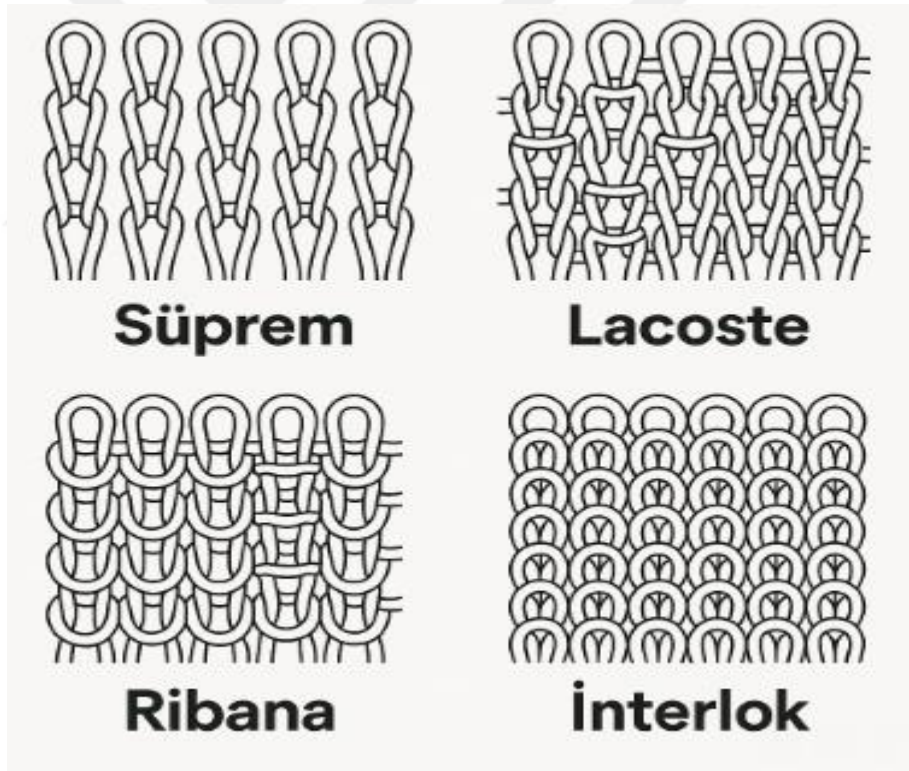


Şekil 1.1: Pamuklu kumaş ve selüloz yapısı.

Pamuk liflerine kovalent olarak bağlanmış, yüzeyinde amin grupları bulunan silika parçacıkları, tek adımlı veya iki adımlı bir reaksiyonla yerinde üretildi; amin grupları daha sonra mono-epoksi-işlevselleştirilmiş polidimetilsiloksan ile reaksiyon yoluyla yüzeyi hidrofobize etmek için kullanıldı. Oleofobik tekstillerde yüzey modifikasyonu için perfloralkil silan kullanıldı. Michielsen ve Lee [16] yapay süperhidrofobik yüzeyler hazırlamak için daha önce naylon 6,6 dokuma kumaş yüzeyine aşılansmış olan poli(akrilik asit) zincirlerine 1H,1H-perflorooktilamin veya oktadesilaminin daha fazla aşılansmasıyla mekanik ve kimyasal yüzey modifikasyonları kullandılar. Li ve arkadaşları [15], pamuk substratlar üzerinde su camı ve florlanmamış alkilsilandan süperhidrofobik yüzeyler hazırladı. Benzer şekilde, sol-jel yöntemleriyle su iticiliğini sağlamak için çeşitli substratlara

parçacıklar eklenmiştir [8,12,13,17]. Sol-jel işlemi, inorganik oksitle modifiye edilmiş tekstillerin hazırlanmasında önemli bir yöntemdir [18-25]. Hribernik ve arkadaşları [18] bir sol-jel işlemi yoluyla rejenere selüloz fiberin yüzeyinde bir silika tabakası oluşturdular ve kaplanmış rejenere selüloz fiberlerin alev geciktirici aktivitesini incelediler. Abidi ve arkadaşları [23] hafif pamuklu kumaşları, gelişmiş UV radyasyon koruması için titanya ve titanya-silis nanosol ile değiştirdiler. Wang ve arkadaşları [24] altıgen yönelimli ZnO nanoçubuk dizilerinin pamuklu kumaşlar üzerinde büyütülmesi için düşük sıcaklıkta bir büyüme yaklaşımı bildirdi. İşlem görmüş pamuklu kumaşlar mükemmel bir UV koruması sağladı.

Tekstilde artan küresel rekabet, dünya çapındaki boyacılar ve apreciler için birçok zorluk yarattı. Yüksek performanslı tekstiller, daha seçici ve talepkar bir tüketici pazarı tarafından büyük beğeni topluyor [26, 27]. Bu nedenle katma değeri yüksek tekstil ürünleri üretmek için büyük çaba sarf edilmektedir [27].



Şekil 1.2: Ribana, interlok, lacoste ve süprem türü örme kumaş yapıları.

Bu çalışma kapsamında, olivetol gruplarının kimyasal yapısından kaynaklanan hidrofobik özelliklerin tekstil yüzeylerinde sol-jel kaplama yöntemi ile uygulanması suretiyle, süperhidrofobik ve su itici özellikler taşıyan çift işlevli pamuklu tekstil materyalleri geliştirilmiştir. Pamuk esaslı örme kumaş yapıları arasında yaygın olarak

kullanılan ve farklı örgü tipolojilerine sahip olan ribana, interlok, lacoste ve süprem gibi kumaş türleri tercih edilmiştir. Bu kumaşların doğal yapılarında bulunan yüksek oranda hidroksil grupları, yüzeyin hidrofilik karakterini artırmakta ve dolayısıyla su ve yağ gibi sıvıların kumaş yüzeyine nüfuz etmesini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, söz konusu kumaşların yüzey özelliklerinin modifikasyonu, kullanım alanlarının genişletilmesi ve dayanıklılıklarının artırılması açısından kritik önem arz etmektedir.

Sol-jel kaplama tekniği, düşük sıcaklıklarda uygulama olanağı, homojen kaplama sağlama ve moleküler düzeyde fonksiyonel grupların kumaş yüzeyine tutunabilmesi gibi avantajları nedeniyle, tekstil yüzey modifikasyonunda etkin bir yöntem olarak benimsenmiştir. Bu yöntemde, olivetol gibi hidrofobik yan gruplar taşıyan moleküllerin kaplama matrisi içine dahil edilmesiyle, kumaş yüzeyinde su ve yağ itici özelliklerin yanı sıra, kaplamanın termal kararlılığını da artıran çok işlevli yüzeyler elde edilmiştir.

Elde edilen süperhidrofobik kumaşlar, sadece su iticilik özelliğiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda yüksek termal dayanıklılık sergileyerek, teknik tekstillerin yanı sıra medikal tekstiller, askeri giysiler, endüstriyel koruyucu malzemeler ve dış mekan uygulamaları gibi geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaya uygundur. Bu bağlamda, plaj şemsiyeleri, gölgelikler, kamp çadırları ve günlük yaşamda kullanılan giysiler gibi ürünlerde de işlevsellik kazandırarak, kullanıcıların konforunu artırması hedeflenmiştir.

Süperhidrofobik yüzeylerin temel avantajlarından biri, sıvıların yüzeye nüfuzunu engellemesi sayesinde kumaşların bozulma ve mikrobiyal büyüme gibi zararlı etkenlerden korunmasıdır. Bu durum, kumaşların mekanik ve estetik özelliklerinin uzun süre korunmasına, dolayısıyla ürün ömrünün uzamasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, sol-jel kaplama teknolojisi sayesinde kumaş yüzeyinde oluşan ince ve dayanıklı tabaka, kumaşın nefes alabilirliğini büyük oranda koruyarak konforu olumsuz etkilememektedir.

Çalışmada, uygulanan kaplamaların yapısal ve morfolojik özellikleri kapsamlı analiz teknikleriyle incelenmiş; Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X-ışını difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskopisi (SEM), atomik kuvvet mikroskopisi (AFM) ve optik mikroskopi gibi yöntemlerle kaplamaların kimyasal yapısı, kristal yapısı, yüzey morfolojisi ve kaplama kalınlığı detaylı olarak karakterize edilmiştir. Su tutmazlık performansı ise temas açısı ölçümleri ile değerlendirilmiş ve olivetol miktarı ile kaplama kalınlığı arasındaki korelasyonlar detaylı biçimde analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, olivetol temelli sol-jel kaplamalarla modifiye edilen pamuklu kumaşların hem süperhidrofobik hem de termal olarak dayanıklı özellikler kazandığı tespit edilmiş olup, bu çok işlevli yüzeylerin tekstil sektöründe yeni nesil fonksiyonel materyal olarak önemli bir potansiyele sahip olduğu ortaya konmuştur. Bu çalışma, sürdürülebilir ve yüksek performanslı tekstil ürünlerinin geliştirilmesi yönünde bilimsel literatüre ve endüstriyel uygulamalara değerli katkılar sunmaktadır. Tekstil sektörü, teknolojik gelişmelerle birlikte fonksiyonel özellikler kazandırılan yeni nesil kumaşların üretimi yönünde hızlı bir dönüşüm yaşamaktadır. Günümüzde tekstil ürünlerinden sadece estetik ve konfor beklentisi değil; su tutmama, leke dirençliği, UV koruması, antibakteriyel özellikler gibi çok çeşitli fonksiyonlar talep edilmektedir. Bu kapsamda, kumaş yüzeylerine uygulanan fonksiyonel kaplamalar, tekstilin performansını artıran kritik bir rol üstlenmektedir.

Sol-jel teknolojisi, düşük sıcaklıklarda inorganik-organik hibrit kaplamaların elde edilmesini sağlayan etkili bir yöntem olarak tekstil kaplamalarında yaygınlık kazanmıştır. Bu yöntemle, yüzeye güçlü kimyasal bağlarla tutunan ve çeşitli fonksiyonel gruplar içeren kaplamalar geliştirilebilmektedir. Özellikle biyobazlı ve çevre dostu maddelerin sol-jel matrisi içerisinde kullanılması, sürdürülebilir tekstil üretimi açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, olivetol bazlı sol-jel kaplamaların farklı tekstil yüzeylerine uygulanması hedeflenmiştir. Olivetol, aromatik yapısı ve yüzey aktif özellikleri ile tekstil yüzeyinde hidrofobiklik ve diğer fonksiyonel özelliklerin kazandırılmasında potansiyel bir bileşen olarak değerlendirilmiştir. Ribana, interlok, lacoste ve süprem gibi farklı örme kumaşlar üzerinde gerçekleştirilen kaplama işlemleri, kaplama etkinliği, morfolojik yapısı, kimyasal bağlanma karakteristikleri ve yüzey özellikleri yönünden kapsamlı olarak incelenmiştir.

Bu bağlamda, çalışmada kaplamaların FTIR ve X-ray spektroskopisi ile yapısal doğrulaması, optik mikroskop ve SEM ile morfolojik analizi, sıvı temas açısı ölçümleriyle yüzey özelliklerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca kaplamaların kumaş mekanik özelliklerine etkileri de araştırılarak, fonksiyonel tekstil üretimi için uygunlukları ortaya konmuştur.

Elde edilen bulgular, olivetol temelli sol-jel kaplamaların tekstil yüzeylerinde etkin ve stabil bir kaplama oluşturduğunu, yüzey özelliklerini istenilen şekilde değiştirdiğini ve temel kumaş özelliklerini koruyarak fonksiyonellik kazandırdığını göstermektedir. Bu

sonuçlar, sürdürülebilir ve fonksiyonel tekstil ürünlerinin geliştirilmesi yolunda önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmanın temel amacı, olivetol bazlı sol-jel kaplamaların farklı örme kumaş türleri (ribana, interlok, lacoste ve süprem) zerine uygulanarak, kaplamaların kumaş yüzeyindeki yapısal, morfolojik, fizikokimyasal ve mekanik etkilerinin kapsamlı olarak incelenmesidir. Özellikle kaplamaların yüzey hidrofilik/ hidrofobik özelliklerine, kimyasal bağlanma yapısına ve kumaş yüzeyindeki homojen dağılımına odaklanılmıştır.

Ayrıca, kaplama işlemlerinin kumaşların temel özelliklerini koruyarak fonksiyonel yüzey özellikleri kazandırıp kazandırmadığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla, sürdürülebilir, evre dostu ve çok fonksiyonlu tekstil ürünlerinin geliştirilmesine yönelik uygun kaplama stratejilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. FONKSİYONEL TEKSTİL YAPILARI

2.1. Fonksiyonel Tekstiller

Fonksiyonel tekstiller, geleneksel tekstillerin ötesine geçerek, belirli teknik, fiziksel veya kimyasal özellikler kazandırılmış ve bu sayede kullanıcılara veya çevreye özgün avantajlar sunan gelişmiş materyallerdir. Bu tekstiller, estetik veya koruyucu amaçların yanı sıra; su iticilik, antibakteriyel etki, UV koruması, alev geciktiricilik, termal yalıtım, nem yönetimi, koku kontrolü gibi çeşitli performans kriterlerini karşılayacak şekilde tasarlanır ve üretilir. Fonksiyonellik, kumaşın yapısal liflerinden başlayarak iplik dokusuna, son katman olarak yüzey kaplamalarına kadar değişen düzeylerde entegre edilebilir.

Fonksiyonel tekstiller, tekstil endüstrisinin farklı segmentlerinde, çok çeşitli uygulamalara hizmet eder. Spor giyim sektöründe; nem emici ve hava geçirgen özellikler ile kullanıcı konforu artırılırken, medikal tekstiller yara iyileşmesini destekleyen antibakteriyel ve biyoyumlu özellikler taşır. Savunma sanayinde ise, balistik koruma, kamuflaj ve kimyasal ajanlara karşı direnç gibi kritik fonksiyonlar sağlanmaktadır. Ayrıca otomotiv ve havacılık sektörlerinde hafif, dayanıklı ve ısıya dayanıklı fonksiyonel tekstiller kullanılarak yakıt verimliliği ve güvenlik artırılmaktadır. Ev tekstillerinde ise su geçirmezlik, leke tutmazlık ve kolay temizlenebilirlik gibi pratik avantajlar ön plandadır.

Fonksiyonel tekstillerin avantajları sadece teknik performansla sınırlı kalmayıp, kullanıcı sağlığı ve güvenliğine de önemli katkılar sağlar. Örneğin, antibakteriyel ve antifungal özelliklere sahip tekstiller, enfeksiyon riskini azaltarak sağlık sektöründe kritik bir rol üstlenir. Isı yalıtımlı tekstiller, enerji verimliliğini destekleyerek çevresel sürdürülebilirliğe dolaylı yoldan katkı sağlar. Ayrıca, kullanıcıların hareket özgürlüğünü kısıtlamadan koruyucu görevler üstlenen iş ve güvenlik kıyafetleri, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını azaltma potansiyeline sahiptir.

Çevresel sürdürülebilirlik açısından fonksiyonel tekstillerin önemi giderek artmaktadır. Daha uzun ömürlü ve çok amaçlı kullanıma uygun olmaları, ürünlerin tüketim döngüsünü uzatmakta ve tekstil atıklarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Antibakteriyel kumaşların daha az sıklıkta yıkanma ihtiyacı doğurması, su ve enerji tüketiminin azalmasına ve deterjan kullanımının minimize edilmesine olanak tanır. Kendini temizleyen ve leke

tutmayan yüzeyler ise çevreye zararlı kimyasal maddelerin kullanımını azaltarak ekosistem üzerindeki baskıyı hafifletir.

Bunun yanında, geri dönüştürülebilir ve biyobazlı hammaddelerin fonksiyonel tekstillerde kullanılması, üretim sürecinde karbon ayak izinin azaltılmasına katkıda bulunur. Örneğin, doğal liflerin yüzey modifikasyonu veya biyopolimer kaplamalarla işlevlendirilmesi, sürdürülebilir ve çevre dostu ürünlerin geliştirilmesini sağlar. Ayrıca, gelişmiş malzeme teknolojileri sayesinde, fonksiyonel tekstillerin üretiminde su bazlı ve solvent içermeyen kaplama tekniklerinin kullanılması, çevresel toksisiteyi azaltan önemli bir adımdır.

Fonksiyonel tekstiller aynı zamanda döngüsel ekonomi prensiplerine uygun üretim ve tüketim modellerini destekler. Ürünlerin kolay geri dönüşümü, tekrar kullanımı ve biyobozunur özellikler kazanması, tekstil endüstrisinin çevresel etkilerini minimize etmeye yönelik stratejiler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, fonksiyonel tekstiller hem ekonomik hem de ekolojik sürdürülebilirlik hedeflerine hizmet eden önemli inovasyon alanlarından biridir.

Sonuç olarak, fonksiyonel tekstiller günümüzün ve geleceğin teknolojik tekstil ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir üretim ve tüketim alışkanlıklarının şekillenmesinde de kritik rol oynamaktadır. Endüstriyel gelişmeler ve bilimsel araştırmalar, fonksiyonel özelliklerin artırılmasıyla birlikte çevresel etkilerin azaltılması için entegre çözümler geliştirmeye devam etmektedir. Bu doğrultuda, fonksiyonel tekstillerin hem toplum refahına hem de gezegen sağlığına katkıda bulunacak şekilde tasarlanması, modern tekstil mühendisliği ve malzeme biliminin öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır.

2.1.1. Fonksiyonel tekstil türleri ve özellikleri

İşlevsel tekstiller ya da işlevsel kumaşlar, belirli uygulama ve performans gereksinimlerini karşılamak amacıyla tasarlanmış, içerisine entegre edilen bileşenler sayesinde temel tekstil özelliklerinin ötesinde fonksiyonlar kazandırılmış malzemelerdir. Bu tür tekstiller, geleneksel tekstillerin yalnızca estetik veya koruyucu özelliklerinin ötesine geçerek, kullanıcı veya çevreden gelen çeşitli uyarıcıları algılayabilme, tepki verebilme ya da çevresel koşullara adaptasyon sağlama yeteneği taşır. İşlevsel tekstillerin temel amacı,

kullanıcı konforunu artırmak, sağlık ve güvenlik ihtiyaçlarını desteklemek ve malzeme dayanıklılığını geliştirmektir.

İşlevsel kumaşlar, teknik özelliklerine göre genellikle üç ana kategoriye ayrılır: duyarlı (responsive), biyo-duyarlı (bio-responsive) ve performansa dayalı (performance-based) tekstiller.

1. **Duyarlı İşlevsel Tekstiller:** Bu gruptaki kumaşlar, kullanıcının vücudundan ya da çevresel faktörlerden gelen fiziksel, kimyasal veya biyolojik uyarılara aktif olarak yanıt verir. Örneğin, vücut sıcaklığı değiştikçe renk değiştiren termokromik kumaşlar, kullanıcının fizyolojik durumuna göre görsel bir tepki sunar. Bu tip kumaşlar, akıllı giysi ve moda endüstrisinde yenilikçi uygulamalar için önemlidir. Duyarlı tekstillerin etkileşim mekanizması, kullanıcının bedeninden aldığı uyarıcılar doğrultusunda fiziksel ya da kimyasal değişiklik göstermesidir.
2. **Biyo-duyarlı İşlevsel Tekstiller:** Biyo-duyarlı kumaşlar, çevreden aldıkları uyarılar sayesinde kullanıcının fizyolojik durumunu doğrudan etkileyen veya değiştiren fonksiyonlar sunar. Örneğin, soğuk iklimlerde vücut sıcaklığını koruyarak termal konfor sağlayan kumaşlar bu kategoriye girer. Burada temel fark, biyo-duyarlı kumaşların kullanıcı üzerinde etki yaratması, duyarlı kumaşların ise kullanıcının etkisiyle değişmesidir. Biyo-duyarlı kumaşlar genellikle tıbbi ve sağlık sektöründe, tedavi edici ya da destekleyici özellikleri nedeniyle tercih edilir.
3. **Performansa Dayalı İşlevsel Tekstiller:** Bu tip kumaşlarda, malzemenin temel işlevselliğini geliştiren ve destekleyen ek özellikler mevcuttur. Örneğin, kırılmazlık, antibakteriyel özellik, leke tutmazlık, UV koruması gibi fonksiyonel katkılar performans bazlı işlevsel tekstiller kapsamında değerlendirilir. Bu özellikler, kumaşın kullanım ömrünü uzatırken, kullanıcıya konfor ve koruma sağlar. Performansa dayalı tekstiller, endüstriyel iş kıyafetleri, spor giyim ve medikal tekstiller gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılır.

İşlevsel tekstillerde kullanılan teknolojiler, kumaşın lif yapısına doğrudan müdahale eden mikrofiber modifikasyonlarından, son katman olarak yüzey kaplamalarına ve elektronik bileşenlerin entegre edilmesine kadar geniş bir yelpazeye yayılır. Örneğin, bazı sistemlerde işlevsellik liflerin kendisine kazandırılırken, diğerlerinde teknolojik unsurlar kumaş yüzeyine veya giysi içerisine yerleştirilen sensörler, aktüatörler ve devrelerle sağlanabilir. LEL (Life Environment Lab) gibi bazı teknolojilerde, fonksiyonellik doğrudan

liflerde değil, malzeme yüzeyinde elektronik bileşenler aracılığıyla sağlanmaktadır; bu durum işlevsel tekstillerin kapsamını genişletmekte ve yeni uygulama alanları yaratmaktadır.

İşlevsel tekstillerin kullanım alanları giderek çeşitlenmekte ve derinleşmektedir. Spor giyim endüstrisinde, nem yönetimi ve ısı dengeleme özellikleri sporcu performansını artırmakta; savunma sanayinde, balistik koruma ve çevresel tehlikelere karşı direnç gibi fonksiyonlar kritik önem kazanmaktadır. Medikal alanda, yara iyileştirici, antibakteriyel ve biyouyumlu tekstiller hastaların tedavi süreçlerine katkı sağlar. Otomotiv ve havacılık sektörlerinde ise, hafif, dayanıklı ve yüksek ısı direnci sağlayan tekstil ürünleri yakıt verimliliği ve güvenliği artırmaktadır.

Modern tekstil endüstrisi, artan çevresel kaygılar ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, işlevsel tekstillerin üretim ve kullanım süreçlerini de dönüştürmektedir. İşlevsel tekstillerin uzun ömürlü olması, çok işlevli kullanım sunması ve bakım gereksinimlerinin azalması, kaynak tüketimini ve atık oluşumunu minimize eder. Özellikle antibakteriyel ve kendini temizleyen kumaşlar, yıkama sıklığını azaltarak su ve enerji tasarrufu sağlar, deterjan kullanımını düşürür ve böylece çevresel etkileri azaltır. Geri dönüştürülebilir ve biyobazlı malzemelerin işlevsel tekstillere entegrasyonu ise karbon ayak izinin küçültülmesine önemli katkılar sunar.

Ayrıca, gelişen malzeme bilimi ve nanoteknoloji sayesinde, çevre dostu kaplama teknikleri ve su bazlı solüsyonlar kullanılmakta, böylece üretim süreçlerinde toksik atık ve zararlı kimyasalların azaltılması hedeflenmektedir. Döngüsel ekonomi prensipleri doğrultusunda işlevsel tekstillerin geri dönüştürülebilirlik özelliklerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir üretim modellerinin temel taşlarından biri haline gelmiştir.

Sonuç olarak, işlevsel tekstiller yalnızca kullanıcıya yönelik teknik ve fonksiyonel avantajlar sunmakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik bağlamında da kritik bir rol oynamaktadır. Geleceğin tekstil teknolojilerinde, işlevselliğin artırılması ile çevresel etkilerin azaltılması arasında dengeli bir yaklaşım benimsenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, işlevsel tekstillerin geliştirilmesi hem endüstriyel inovasyon hem de sürdürülebilir kalkınma hedeflerine hizmet eden disiplinler arası bir araştırma alanı olarak önemini giderek artırmaktadır.

Fonksiyonel tekstil konusunda öne çıkan bazı önemli yapılar; koruyucu tekstil yapıları, akıllı tekstil yapıları, medikal tekstil, endüstriyel tekstil, teknik performans tekstiller ve su itici kumaş yapılarıdır. Bu yapılar kısaca açıklanacak olursa;

a. Koruyucu Tekstiller – İleri Yaklaşımlar ve Nanoteknoloji

Son yıllarda nano-ölçekli malzeme teknolojileri, koruyucu tekstillerin performansını önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle karbon bazlı nanomalzemeler (grafen, karbon nanotüpler), metal oksit nanopartiküller (TiO_2 , ZnO) ve nano-silika gibi katkılar, kumaşların hem mekanik dayanıklılığını artırmakta hem de fonksiyonel koruma özelliklerini güçlendirmektedir [28]. Bu nanomalzemeler sayesinde alev geciktirici tekstiller daha hafif ve nefes alabilir hale gelirken, kimyasal ve biyolojik koruma da iyileştirilmektedir. Ayrıca, akıllı koruyucu tekstiller geliştirilerek, çevresel tehditlere karşı gerçek zamanlı uyarı sistemleri entegre edilmektedir [29].

b. Akıllı Tekstiller – Veri Toplama ve Enerji Hasadı

Akıllı tekstiller alanında son dönemde “enerji hasadı” (energy harvesting) teknolojileri ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisi veya hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren piezoelektrik ve fotovoltaik liflerin tekstil malzemelerine entegre edilmesi, özellikle giyilebilir sağlık ve askeri uygulamalarda bağımsız ve uzun ömürlü sensör sistemleri oluşturulmasını sağlamaktadır [30]. Ayrıca, biyolojik parametrelerin anlık takibini sağlayan çoklu sensör platformları, yapay zeka algoritmalarıyla desteklenerek sağlık takibinde kişiselleştirilmiş çözümler sunmaktadır [31].

c. Medikal Tekstiller – Biyomalzemeler ve Kişiselleştirilmiş Tedavi

Medikal tekstillerde biyomalzeme bilimi ile entegrasyon giderek artmaktadır. Özellikle, hastaya özel olarak tasarlanan ve 3D biyobaskı teknikleriyle üretilen yara örtüleri ve doku mühendisliği destekleri, iyileşme sürecini hızlandırmakta ve komplikasyonları azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, kontrollü ilaç salınımı sağlayan kaplamalar ve nanokapsüller, enfeksiyon riskini azaltan yerel tedavi yöntemlerine olanak vermektedir [32].

d. Teknik Performans Tekstilleri – Nanomalzeme Tabanlı Termal Yönetim

Teknik tekstillerde nanoteknoloji ile geliştirilen faz değişim malzemeleri (PCM’ler), kumaş içine mikro veya nano kapsüller şeklinde entegre edilerek hem sıcaklık dalgalanmalarını minimize etmekte hem de enerji tüketimini azaltmaktadır [33]. Ayrıca, grafen ve gümüş nanopartiküllerle modifiye edilmiş kumaşlar, yüksek termal iletkenlik ve

anti-mikrobiyal özellikler kazanmaktadır. Bu gelişmeler, özellikle ekstrem sporlar ve uzay giysileri gibi kritik uygulamalarda tercih edilmektedir.

e. Endüstriyel ve Otomotiv Tekstilleri – Akıllı Kompozitler

Endüstriyel tekstillerde, akıllı kompozit malzemelerin kullanımı artmaktadır. Sensör entegreli tekstiller, araçların yapısal sağlık izlemelerini sağlayarak bakım maliyetlerini düşürür [34]. Ayrıca, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir liflerin (örneğin biyobazlı polimerler) kullanımı çevresel etkiyi azaltmakta, otomotiv ve inşaat sektörlerinde karbon ayak izini küçültmektedir.

f. Su İtici Kumaşlar – Biyobazlı ve Kalıcı Hidrofobik Kaplamalar

Perflorokarbon bazlı su itici kaplamalara alternatif olarak, biyobazlı polimerler ve silikon bazlı kaplamalar geliştirilmekte, böylece çevresel toksisite azaltılmaktadır [35]. Aynı zamanda, liflerin kimyasal yapısına doğrudan modifikasyonla kalıcı hidrofobiklik kazandırılması üzerine çalışmalar hız kazanmıştır [31]. Bu sayede, kaplama kalıcılığı artmakta, kumaşın nefes alabilirliği ve mekanik özellikleri korunmaktadır.

2.1.2 Fonksiyonel tekstillerde kullanılan başlıca teknolojiler

Fonksiyonel tekstil üretiminde, ileri teknoloji süreçleri ve yenilikçi malzeme uygulamaları kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle nanoteknolojik kaplamalar, akıllı lif teknolojileri, sol-jel kaplama yöntemleri ve enzimatik işlemler gibi çeşitli teknolojik yaklaşımlar, tekstil ürünlerine çok çeşitli fonksiyonel özellikler kazandırmak amacıyla kullanılmaktadır.

2.1.2.1. Nanoteknoloji

Nanoteknoloji, tekstil liflerinin yüzeyine veya yapısına nano ölçekli malzemelerin (genellikle 1-100 nm aralığında) entegre edilmesini içerir. Bu nanomalzemeler kumaşlara antibakteriyel özellikler, UV koruma, su ve yağ iticilik, ateşe dayanıklılık gibi üstün fonksiyonlar kazandırır.

Yüksek Performans: Nanopartiküller çok küçük boyutları sayesinde kumaş yüzeyini homojen ve kalıcı şekilde kaplayabilir.

Çoklu Fonksiyonellik: Aynı nanokaplama ile birden fazla özellik (örneğin antibakteriyel ve su itici) sağlanabilir.

Minimal Ağırlık Artışı: Kaplama çok ince olduğundan kumaşın nefes alabilirliği ve dokusu bozulmaz.

Nanoteknolojik testil yapıları bazı sınırlamaları beraberinde getirir. Bu sınırlamalar yüksek maliyet ve çevresel sağlık riskleridir. Maliyet açısından nanomalzemeler ve nanokaplama süreçleri yüksek maliyetlidir. Çevresel ve Sağlık Riskleri açısından ise nanopartiküllerin çevreye ve insana etkileri tam olarak anlaşılamamış olup, potansiyel toksisite riski vardır.

Nanoteknolojik testil yapılarının uygulama Alanları; Sağlık sektörü: Antibakteriyel hastane tekstilleri, spor ve dış giyim: Su itici ve UV koruyucu spor kıyafetleri ve askeri tekstiller: alev geciktirici ve kimyasal dirençli kumaşlardır

Nanoteknoloji ile geliştirilmiş tekstillerde biyo-uyumlu ve çevre dostu nanopartiküllerin kullanımı artacak, sürdürülebilir ve toksisite riskleri minimize edilmiş ürünler öne çıkacaktır.

2.1.2.2. Akıllı lif teknolojisi

Akıllı lifler, çevresel uyaranlara (ısı, ışık, basınç, nem) tepki verebilen veya elektriksel iletkenlik gibi fonksiyonlar gösterebilen özel liflerdir. Bu liflerle üretilen kumaşlar giyilebilir elektronik ve sensör teknolojilerinde kullanılmaktadır. Akıllı lif teknolojisi genel itibarı ile, Çevresel Uyaranlara Adaptasyon, Elektriksel İletkenlik ve Enerji Hasadı konularında öne çıkan avantajlara sahiptir. Bu yapılarda renk değiştirme, ısı regülasyonu gibi özellikler mevcuttur. Giyilebilir elektronik cihazlarda enerji iletimi ve sensör entegrasyonu söz konusudur. Ayrıca kullanıcının hareketinden veya güneşten enerji üretebilme potansiyeli bulunmaktadır.

Bu avantajları yanı sıra, maliyet, dayanıklılık ve estetik gibi bazı dezavantajları söz konusudur. Üretim Zorluğu ve Maliyet: Üretim süreçleri karmaşık ve maliyetlidir. Dayanıklılık: Mekanik zorlamalar, yıkama ve aşınma ile fonksiyonellik kaybı.

Konfor ve Estetik: Elektronik bileşenlerin kumaşa entegre edilmesi kullanıcı konforunu etkileyebilir.

Akıllı lif yapıları ve akıllı tekstil yapılarının temel uygulama alanları, Sağlık izleme (kalp atış hızı, vücut sıcaklığı sensörleri), spor giyimi (performans takibi) ve askeri ve güvenlik ekipmanları (gizli iletişim, çevresel izleme)'dır.

Esnek ve hafif elektronik materyallerin geliştirilmesiyle, akıllı lif teknolojisi günlük giyime tam entegre edilecek, enerji bağımsızlığı artacak ve kişisel sağlık izleme daha yaygın hale gelecektir.

2.1.2.3. Sol-Jel kaplamalar

Sol-jel yöntemi, metal alkoksitlerin (örneğin silika, titanyum dioksit) sıvı öncülerinin tekstil yüzeyine kaplanması ve sonrasında ısı ile işlemle katı ve fonksiyonel bir tabaka oluşturması sürecidir. Sol-jel kaplamaların Avantajları; çoklu fonksiyon kazandırma: su geçirmezlik, uv koruma, anti-mikrobiyal ve kendini temizleme özellikleri aynı anda sağlanabilir. düşük sıcaklıkta işlem: hassas kumaşlara zarar vermeden uygulanabilir. yüzey özelliklerinin kontrolü: kaplama kalınlığı, porozite ve kimyasal bileşim hassas şekilde ayarlanabilir. Bu avantajların yanı sıra dezavantajları ise; kaplama dayanıklılığı: yıkama ve aşınmaya karşı zamanla özelliklerde azalma olabilir. üretim süresi: sol-jel reaksiyonları ve son işlem süreçleri nispeten uzun olabilir. malzeme uyumu: her kumaş türüyle ideal uyumu sağlamak zordur.

Tekstil yapılarında sol jel yöntemi uygulama alanları; dış giyim ve spor tekstilleri (su geçirmez ve nefes alabilir kaplamalar), medikal tekstiller (anti-mikrobiyal kaplamalar). endüstriyel tekstiller (kimyasal dayanıklılık) ve sol-jel kaplamalarda daha dayanıklı, esnek ve çevre dostu materyaller geliştirilecek, nano-ölçekli yapılarla fonksiyonellik artırılacak ve üretim süreleri kısılacaktır.

2.1.2.4. Enzimatik işlem teknolojisi

Tekstil endüstrisinde mercerizasyon, beyazlatma, biyolojik boyama ve yüzey modifikasyonu gibi işlemlerde enzimatik işlemler sıkça kullanılır. Enzimatik işlemler, tekstil üretiminde kullanılan biyolojik katalizörler aracılığıyla yüzey modifikasyonu, renk verme, temizleme ve işlev kazandırma süreçlerini ifade eder. Bu yöntemler geleneksel kimyasal

işlemlere göre daha çevreci ve enerji tasarrufludur. Terkstil işlemlerinde enzim kullanımının çevre dostu olma, hassas işlem kolaylığı, enerji verimliliği gibi önemli avantajları vardır. Enzim kullanımı sırasında, zararlı kimyasallar kullanılmaz, atık suları azaltır. Kumaş liflerine zarar vermeden, yüzey özelliklerini iyileştirir. Düşük sıcaklık ve basınçta etkili reaksiyonlar sağlar. Buna rağmen enzimlerin etkinliği ve işlem süresi kimyasal yöntemlere göre daha uzundur. Enzim üretim maliyetleri halen yüksektir. Enzimlerin işlem koşullarına duyarlılığı (pH, sıcaklık). Genetik mühendislik ve protein tasarımı sayesinde, daha stabil ve etkili enzimler geliştirilecek; enzimatik işlemler geniş tekstil çeşitlerine uygulanabilir hale gelecektir.

Bu dört teknoloji, tekstil üretiminde birbirini tamamlayıcı niteliktedir. Örneğin, nanoteknolojik kaplamalar ile fonksiyonel özellik kazandırılan kumaşlar, sol-jel yöntemlerle yüzey modifikasyonu yapılarak daha dayanıklı hale getirilebilir. Akıllı lif teknolojileri, enzimatik işlemlerle çevre dostu biçimde hazırlanmış liflere entegre edilebilir. Böylece, hem yüksek performanslı hem de sürdürülebilir fonksiyonel tekstiller geliştirilebilir.

2.2. Tekstilde Yüzey Modifikasyonu ve Uygulamaları

Yüzey modifikasyonu, tekstil ürünlerine özgün fonksiyonlar kazandırmak ve bu fonksiyonların uzun ömürlü olmasını sağlamak amacıyla uygulanan geniş kapsamlı bir yöntemler dizisidir. Bu teknikler, hem konvansiyonel tekstil üretim süreçlerine entegre edilerek hem de hazır haldeki bitmiş ürünlerin yüzeylerine sonradan uygulanabilir olması bakımından esneklik ve ekonomik avantajlar sunmaktadır.

Tekstil malzemelerinde yüzey modifikasyonu, temel olarak kumaşın dış katmanının, yani liflerin veya ipliklerin yüzey yapısının fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemlerle kontrollü biçimde değiştirilmesini ifade eder. Bu süreçte, liflerin çekirdek yapısına zarar verilmeden yalnızca yüzeydeki moleküler, topografik veya kimyasal özellikler hedeflenir. Böylece, tekstil malzemelerinin su iticilik, yağ tutmazlık, antibakteriyel direnç, aşınma dayanımı, UV koruması, termal izolasyon gibi farklı fonksiyonel özellikleri geliştirilir veya yenileri kazandırılır.

Yüzey modifikasyon yöntemleri, özellikle fonksiyonel ve teknik tekstil alanlarında ön plana çıkmaktadır. Spor giyim, medikal tekstiller, askeri ve endüstriyel uygulamalar gibi yüksek performans gerektiren sektörlerde, yüzey modifikasyonları kumaşların kullanım

ömrünü uzatmak, konforunu artırmak ve çevresel etkilerine karşı direnç kazandırmak için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, sürdürülebilir üretim süreçlerinde kimyasal madde kullanımını azaltan biyoteknolojik modifikasyonlar ve çevre dostu kaplamalarla, tekstil endüstrisinin ekolojik ayak izi minimize edilmeye çalışılmaktadır.

Fiziksel modifikasyon yöntemleri arasında plazma işlemleri, lazer tekstürizasyonu ve elektrospinning gibi teknikler yer alırken; kimyasal modifikasyonlar, polimer kaplama, graft polimerizasyon ve sol-jel kaplamalar gibi çeşitli kimyasal reaksiyonları içerir. Biyolojik modifikasyonlarda ise enzimatik işlemler ve mikroorganizma destekli uygulamalar kullanılır. Her bir yöntemin avantajları ve sınırlamaları olmakla birlikte, yüzey modifikasyonunun temel amacı kumaşın fonksiyonel performansını arttırırken, dokusunu, esnekliğini ve mekanik dayanımını korumaktır.

Sonuç olarak, tekstilde yüzey modifikasyonu, yüksek performanslı ve fonksiyonel tekstil ürünleri geliştirmek için vazgeçilmez bir teknolojik araçtır. Gelişen nanoteknoloji, biyoteknoloji ve malzeme bilimi alanlarındaki ilerlemelerle birlikte, yüzey modifikasyon tekniklerinin etkinliği ve uygulama alanları da sürekli olarak genişlemektedir.

2.2.1. Yüzey modifikasyonunun amaçları

Tekstil ürünlerinde uygulanan yüzey modifikasyonlarının temel hedefleri, ürünlerin performansını ve kullanıcı deneyimini artırmak, üretim süreçlerini optimize etmek ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektir. Bu amaçlar, aşağıdaki başlıklar altında detaylandırılabilir:

- a. Fonksiyonellik Kazandırma: Yüzey modifikasyonları, tekstil malzemelerine geleneksel fonksiyonların ötesinde çok çeşitli işlevler kazandırmak için uygulanır. Su iticilik (hidrofobiklik) ve yağ iticilik gibi yüzey gerilimini değiştiren özellikler, kumaşların su ve lekelerden korunmasını sağlar. Antibakteriyel modifikasyonlar, mikroorganizma gelişimini engelleyerek hijyen ve sağlık standartlarını yükseltir. UV koruması sağlayan modifikasyonlar, kumaşların güneş ışınlarına karşı dayanıklılığını artırarak hem kumaş ömrünü uzatır hem de kullanıcıyı zararlı ışıklardan korur. Alev geciktirici yüzey kaplamaları, özellikle iş güvenliği ve askeri uygulamalarda kritik önem taşır. Elektriksel iletkenlik kazandıran modifikasyonlar ise giyilebilir elektronik cihazlar ve sensör teknolojileri için altyapı oluşturur.

- b. Konfor Artırımı: Yüzey modifikasyonları, tekstil ürünlerinin kullanıcıya sunduğu fiziksel konforu da artırmayı amaçlar. Ter emme kapasitesinin geliştirilmesi, ciltte nemin hızla uzaklaştırılmasıyla kullanıcıya kuru ve ferah bir his sağlar. Kumaş yüzeyinin yumuşatılması ve dokusunun iyileştirilmesi, giyimde konforu doğrudan etkiler. Ayrıca, nefes alabilirlik ve ısı düzenleme gibi termal özellikler, yüzey modifikasyonları ile optimize edilerek, farklı iklim koşullarında da kullanıcı performansı desteklenir.
- c. Bağlanabilirlik Geliştirme: Tekstil ürünleri üzerinde yapılan sonraki işlemlerin (boyama, kaplama, laminasyon) etkinliğini artırmak için yüzeyin kimyasal ve fiziksel bağlanabilirliği modifiye edilir. Yüzey enerjisinin yükseltilmesi, daha homojen boya tutunması ve kaplama kalıcılığı sağlar. Bu, üretim verimliliğini artırırken, ürün kalitesinin ve dayanıklılığının yükselmesine katkıda bulunur.
- d. Sürdürülebilirlik ve Çevre Duyarlılığı: Günümüzde tekstil sektöründe çevresel etkilerin azaltılması kritik bir hedef haline gelmiştir. Yüzey modifikasyonları, daha az su, enerji ve kimyasal kullanımını mümkün kılarak üretim süreçlerini çevre dostu hale getirir. Örneğin, nano ve sol-jel kaplamalar sayesinde su itici özellikler daha az kaplama malzemesi ile sağlanabilir. Enzimatik yüzey işlemleri, kimyasal kullanımını minimize ederek atık ve toksik maddelerin oluşumunu engeller. Bu yaklaşımlar, tekstil ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmelerinde olumlu katkılar sunar ve sürdürülebilir tekstil üretiminin temel unsurlarından biri olarak kabul edilir.

2.2.2 Yüzey modifikasyon yöntemleri

Tekstil malzemelerinde yüzey modifikasyonu, kumaşın dış katmanının fiziksel, kimyasal veya biyolojik işlemlerle kontrollü şekilde değiştirilmesi yoluyla gerçekleştirilir. Bu yöntemler, malzemenin ana yapısına zarar vermeden yüzey özelliklerini iyileştirmeyi amaçlar. Genel olarak üç ana başlık altında toplanan yüzey modifikasyon teknikleri şu şekilde sınıflandırılır:

a) Fiziksel Yöntemler:

- Plazma Uygulamaları: Günümüzde plazma teknolojisi, tekstil yüzeylerinde fonksiyonellik kazandırmak amacıyla yaygın biçimde kullanılmaktadır. Örneğin, düşük sıcaklıklı atmosferik plazma işlemleri, geri dönüştürülmüş polyester (rPET) kumaşların hidrofilik özelliklerini artırarak boya tutuculuğunu ve kaplama

uyumluluğunu geliştirmekte; böylece sürdürülebilir tekstil üretimine katkı sağlamaktadır [36]. Ayrıca antibakteriyel plazma modifikasyonları, mikrobiyal direnç kazandırmak için önemli bir alan haline gelmiştir [37].

- Lazer İşlemleri: Denim sektöründe lazerle desenlendirme ve aşınma efektleri, hem üretim sürecinde kimyasal kullanımını azaltmakta hem de enerji tasarrufu sağlamaktadır [38]. Ayrıca lazerle açılan mikro delikler, teknik tekstillerde nefes alabilirliği ve su buharı geçirgenliğini artırmak için optimize edilmiştir [39].
- Korona ve UV Modifikasyonları: Polimer tekstillerde korona işlemleri, yüzey enerjisini artırarak boya ve kaplama işlemlerinin etkinliğini artırmakta, UV modifikasyonları ise dış mekan kumaşlarının ömrünü uzatmaktadır [40]. Son çalışmalarda, korona modifikasyonunun biyobozunur tekstiller üzerindeki etkileri araştırılarak çevreci uygulamalara yönelim artmıştır [41].

b) Kimyasal Yöntemler:

- Kovalent Modifikasyon: Silan bazlı kaplamalar, tekstillere kalıcı su ve yağ iticilik kazandırmakta ve özellikle askeri tekstillerde tercih edilmektedir [42]. Son yıllarda, fonksiyonel silanların nanokompozitlerle kombinasyonu, kaplamaların mekanik dayanımını ve çevresel direncini artırmak için araştırılmaktadır.
- Sol-Jel Yöntemi: Nano-TiO₂ ve ZnO partiküllerinin sol-jel yöntemiyle kaplanması, tekstillere hem UV koruması hem de kendini temizleme fonksiyonları kazandırmaktadır. Örneğin, TiO₂ kaplamalı pamuk kumaşlarda fotokatalitik etkinlik ile organik kirleticilerin parçalanması üzerine yoğun çalışmalar bulunmaktadır [43]. Ayrıca sol-jel kaplamalar, nano boyutlu gümüş ve bakır partikülleri ile antibakteriyel özelliklerin artırılmasında da kullanılmaktadır [44].
- Ağartma ve Oksidasyon İşlemleri: Hidrojen peroksit ve ozon uygulamalarının kumaş yüzeyinde aktif hidroksil grupları oluşturması, daha çevreci ve düşük sıcaklıkta işlemlerle kaplama ve boyama verimliliğini artırmaktadır[45]. Bu yöntemler biyobozunur tekstillerin üretiminde özellikle tercih edilmektedir.

c) Biyolojik Yöntemler:

- Enzim Uygulamaları: Bio-polishing işlemleri, pamuk ve viskon gibi liflerin yüzeyindeki pürüzleri azaltarak daha parlak ve yumuşak kumaşlar elde edilmesini sağlar. Son araştırmalarda, endüstriyel atık suyun azaltılması amacıyla yeni enzim

karışımları geliştirilmiştir [46]. Ayrıca, polyester lifler için özel tasarlanmış enzimler ile biyolojik yüzey modifikasyonları, mikroplastik kirliliğini azaltma potansiyeli taşımaktadır [47].

- Diğer Biyoteknolojik Yöntemler: Mikrobiyal kaynaklı kaplamalar ve biyopolimer bazlı yüzey modifikasyonları, tekstil yüzeyinde biyo-uyumlu ve çevre dostu fonksiyonellik kazandırmaktadır. Örneğin, bakteriyel polisakaritlerin tekstil yüzeyine immobilizasyonu, su iticilik ve antimikrobiyal özelliklerin eş zamanlı sağlanmasında yeni bir yaklaşım olarak incelenmektedir [48].

Günümüzde tekstil sektöründe yüzey modifikasyonları, malzeme performansını artırmak, kullanıcı konforunu geliştirmek ve çevresel etkileri minimize etmek için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerin kombine kullanımı, çok fonksiyonlu tekstil ürünlerinin geliştirilmesini sağlamaktadır. Nanoteknoloji ve biyoteknoloji alanlarındaki gelişmeler, bu yöntemlerin etkinliğini artırırken, sürdürülebilirlik açısından da önemli katkılar sunmaktadır. Gelecek dönemde, özellikle yeşil kimya prensiplerine uygun ve enerji verimliliği yüksek yüzey modifikasyon teknolojilerinin endüstriyel uygulamalarda yaygınlaşması beklenmektedir.

2.2.3 Yüzey modifiye tekstil yapıların kullanım alanları

Yüzey modifikasyonu ile fonksiyonel özellikler kazandırılmış tekstil yapılar, çok çeşitli sektörlerde teknik, performans ve estetik amaçlı kullanımlara sahiptir. Aşağıda başlıca kullanım alanları detaylı biçimde açıklanmıştır

a. Teknik Tekstiller

- Filtrasyon: Araştırmalar, nanofiber membranların yüzey modifikasyonu ile hava ve su filtrasyon verimliliğinin artırıldığını göstermektedir [31]. Örneğin, TiO_2 kaplamaları ile güçlendirilmiş nanofiber filtreler, antibakteriyel ve kendini temizleme özellikleri sunmaktadır [48].
- Koruyucu Giysiler: Son dönem çalışmalarda, grafen bazlı kaplamalar koruyucu giysilere hafiflik ve yüksek termal dayanım kazandırmakta, ayrıca su iticilik ve kimyasal direnç sağlamaktadır [49]. Ayrıca plazma modifikasyonlarıyla alev geciktirici özellikler geliştirilmiştir [50].

- Otomotiv Tekstilleri: Endüstride kullanılan tekstillerin yüzey modifikasyonları, aşınma dayanımını %30'a kadar artırmakta ve UV ışınlarına karşı direnci güçlendirmektedir [51]. Nano kaplamalar, iç mekanda hava kalitesini iyileştiren antimikrobiyal özellikler de sağlamaktadır.

b. Fonksiyonel Giysiler

- Spor Tekstilleri: Nem yönetimi ve antibakteriyel özellikler için geliştirilen nano-gümüş kaplamalar, performans spor giysilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [52]. Ayrıca termo-regülasyon için faz değiştiren materyaller (PCM) içeren kaplamalar araştırılmaktadır [53].
- Askerî Tekstiller: Kamuflaj özelliklerinin yanında, nanoteknolojik kaplamalarla koku giderici ve elektromanyetik dalgalara karşı koruyucu kumaşlar üretilmektedir[54]. Ayrıca nano-silika kaplamalarla dayanıklılık artırılmaktadır.
- Sağlık Tekstilleri: Biyo-duyarlı kaplamalar, vücut sıcaklığı ve nemine göre aktif işlev gösteren giysiler geliştirmede öncü konumdadır.

c. Medikal Tekstiller

- Antibakteriyel Tekstiller: Gümüş nanopartikül kaplamaların yanı sıra, yeni biyobozunur antimikrobiyal ajanların kumaş yüzeyine immobilizasyonu yoğun şekilde araştırılmaktadır [56].
- Yara İyileştirici Tekstiller: Hidrojel bazlı kaplamalar, yara örtülerinde nem dengesi sağlayarak iyileşmeyi hızlandırmaktadır [57].
- Cerrahi ve Hijyenik Ürünler: Sterilizasyon sonrası yüzey özelliklerini koruyan nano kaplamalar geliştirilmiştir [58].

d. Ev Tekstilleri

- Kir İtici ve Kolay Temizlenebilir Kumaşlar: Nano-silika ve florokarbon kaplamalar, ev tekstillerinde yaygın olarak kullanılmakta, uzun ömürlü kir iticilik sağlamaktadır [59].

- UV Koruyucu Kaplamalar: Organik UV filtreleri ve nano-TiO₂ bazlı kaplamalar, güneş ışığına maruz kalan kumaşlarda renk solmasını ve yıpranmayı azaltmaktadır [60].

e. Ambalaj ve Nonwoven Uygulamaları

- Antistatik Yüzeyler: Elektronik ürün ambalajlarında kullanılan antistatik kaplamalar, nano-gümüş ve karbon nanotüplerle güçlendirilerek geliştirilmiştir [61].
- Su Geçirmez ve Gaz Geçirgen Kaplamalar: Biyo-temelli polimer kaplamalar, gıda ambalajlarında hem bariyer özellikleri artırmakta hem de çevre dostu çözümler sunmaktadır [62].
- Kendini Temizleyen Yüzeyler: Fotokatalitik nano kaplamalar, kir ve mikrop birikimini engellemekte, özellikle tıbbi nonwoven ürünlerde tercih edilmektedir [63].

2.2.4 Yüzey modifikasyonunun önemi

Tekstil endüstrisinde yüzey modifikasyonu, ürünlerin işlevselliğini ve performansını artırmak amacıyla kritik bir rol oynamaktadır. Bu yöntemler, geleneksel kumaşların sadece estetik ve koruyucu özelliklerine ek olarak, yüksek katma değerli ve çok fonksiyonlu ürünlerin geliştirilmesini sağlar. Yüzey modifikasyonunun önemi şu başlıklar altında incelenebilir:

Yüzey modifikasyon teknikleri ile sıradan tekstil ürünlerine su iticilik, anti-mikrobiyal koruma, UV dayanımı, alev geciktiricilik gibi ileri teknolojik özellikler kazandırılabilir. Bu fonksiyonel iyileştirmeler, ürünlerin piyasa değerini yükseltmekte ve tüketici taleplerine karşılık vermektedir. Özellikle teknik tekstiller ve fonksiyonel giysiler pazarında rekabet avantajı sağlamaktadır [64].

Modern yüzey modifikasyon yöntemleri, kimyasal kullanımını minimize eden, su ve enerji tüketimini azaltan çevre dostu uygulamalara olanak tanır. Örneğin, plazma uygulamaları ve enzimatik işlemler gibi biyolojik yöntemler, tekstil ürünlerinin çevresel etkilerini düşürerek yeşil üretim yaklaşımlarını desteklemektedir [51]. Bu da sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli bir adımdır.

Yüzey modifikasyonları, tekstil ürünlerinin fiziksel ve kimyasal dayanıklılığını artırarak ürün ömrünü uzatır. Su ve yağ itici kaplamalar kumaşların kirlenmesini engellerken, UV dayanımı ve aşınmaya karşı direnç gibi özellikler kullanım alanlarını genişletir. Bu gelişmeler, hem üreticilerin hem de son kullanıcıların memnuniyetini artırır [65].

Fonksiyonel yüzey modifikasyonları, tekstillerin medikal, savunma, spor ve akıllı giysi gibi özel sektörlerde kullanımına olanak tanır. Örneğin, biyoyumlu kaplamalar medikal tekstillerde yara iyileştirme sürecini desteklerken, nano kaplamalar savunma sanayinde askeri üniformalara ek koruma sağlar [54].

Nanoteknolojik yüzey modifikasyonları, kumaşlara aynı anda antibakteriyel, UV koruyucu, kendini temizleyen ve su itici özellikler kazandırmakta; tekstil ürünlerinin işlevselliğini radikal biçimde artırmaktadır [66]. Nano ölçekli kaplamalar, malzeme yüzeyinde homojen dağılım ve üstün performans sağlamaktadır.

Enzimatik yüzey işlemleri, düşük sıcaklık ve pH koşullarında gerçekleştirilerek çevreye duyarlı ve sürdürülebilir tekstil üretimi sağlamaktadır. Bio-polishing ve bio-scouring gibi biyoteknolojik yöntemler, kumaş yüzeylerinin pürüzsüzlüğünü ve konforunu artırırken, kimyasal atık oranını önemli ölçüde azaltmaktadır [67].

Isı, ışık veya nem gibi çevresel faktörlere duyarlı yüzey modifikasyonları, akıllı tekstillerin geliştirilmesinde anahtar rol oynar. Termo-kromik, foto-kromik veya elektro-kromik kaplamalar, kullanıcının ihtiyaçlarına dinamik yanıt verebilen giysi ve tekstil ürünlerinin tasarımını mümkün kılar [68].

Formaldehit gibi zararlı kimyasallar içermeyen, bitki bazlı ve biyo-bazlı kaplamaların geliştirilmesi, tekstil sektöründe sürdürülebilirlik ve çevre koruma bilincinin artmasıyla birlikte ön plana çıkmıştır. Bu yaklaşımlar, hem insan sağlığını hem de ekosistemi koruyan ileri teknoloji uygulamalarını desteklemektedir [69].

2.2.5. Yüzey modifiye tekstil türleri

Tekstilde yüzey modifikasyonu, yalnızca estetik kaygılarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ürünlerin fonksiyonel performansını artıran, sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen ve kullanıcı sağlığı ile güvenliğini doğrudan etkileyen stratejik bir teknolojik uygulamadır. Modern tekstil endüstrisinde yoğun rekabet ortamı ve hızla değişen tüketici

beklentileri, firmaların sadece görsel kaliteyle değil, aynı zamanda çok işlevli ve çevre dostu ürünler geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, yüzey modifikasyonu teknikleri, tekstil ürünlerine su ve kir tutmama, antibakteriyel koruma, UV dayanımı, termal konfor gibi katma değerli özellikler kazandırarak, sektörde inovasyonun ve sürdürülebilir üretimin temel araçları arasında yer almaktadır. Ayrıca, kullanıcı sağlığı ve güvenliğine yönelik özelliklerin geliştirilmesi, özellikle medikal ve koruyucu tekstillerde kritik bir rol oynamakta, ürünlerin kullanım alanlarını genişlemektedir. Bu nedenle, yüzey modifikasyonunun tekstil endüstrisindeki önemi her geçen gün artmakta ve araştırma-geliştirme faaliyetlerinin merkezinde yer almaktadır.

Bu teknolojiler, tekstil sektöründe sürdürülebilir üretim hedeflerini desteklerken, kullanıcı sağlığı açısından da önemli avantajlar sunar. Örneğin, antibakteriyel ve antiviral kaplamalar hastane giysileri ve medikal tekstillerde enfeksiyon riskini azaltır; UV koruyucu kaplamalar ise dış mekan tekstillerinde kullanıcıyı zararlı güneş ışınlarından korur. Aynı zamanda, su itici ve kendini temizleyen yüzeyler, ürünlerin bakımını kolaylaştırarak hem kullanım ömrünü uzatır hem de çevresel yükü azaltır.

Sonuç olarak, tekstilde yüzey modifikasyonu teknolojileri, sektörde rekabet avantajı yaratmak isteyen firmalar için vazgeçilmez bir araç haline gelmiş; inovasyon, sürdürülebilirlik ve sağlık güvenliği ekseninde önemli katkılar sağlamaya devam etmektedir.

Tekstilde yüzey modifikasyonu, sadece estetik amaçlarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ürünlerin performansını, fonksiyonelliğini ve sürdürülebilirliğini artıran kritik bir teknolojidir. Günümüzde tekstil endüstrisi, hızlı değişen tüketici beklentilerine ve çevresel gerekliliklere yanıt verebilmek için; su ve yağ iticilik, antibakteriyel özellikler, UV koruması, termal konfor, alev geciktiricilik gibi çoklu fonksiyonları tek bir ürün bünyesinde birleştiren yenilikçi çözümler geliştirmektedir. Bu doğrultuda, yüzey modifikasyonu teknikleri, firmaların rekabet avantajı sağlamasında ve katma değer yaratmasında temel araçlar arasında yer almaktadır.

Nanoteknoloji tabanlı kaplamalar, örneğin nano-silver, nano-TiO₂ veya nano-ZnO partikülleri ile tekstil yüzeylerinde yüksek antibakteriyel ve UV koruyucu özellikler kazandırılmaktadır [52]. Ayrıca, sol-jel yöntemiyle oluşturulan ince film kaplamalar, kumaş yüzeylerinde su ve yağ tutmama özelliklerini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda kumaşın mekanik dayanıklılığını da artırmaktadır [54].

Fiziksel modifikasyon yöntemleri arasında, plazma uygulamaları çevre dostu ve kimyasal kullanımı gerektirmeyen bir alternatif sunar. Özellikle geri dönüştürülmüş polyester (rPET) kumaşlarda plazma ile yapılan yüzey işlemleri, boya tutuculuğunu ve kaplama uyumluluğunu önemli ölçüde artırmıştır [51]. Benzer şekilde, lazer işlemleri denim kumaşlarda hem görsel estetik hem de fonksiyonel amaçlarla kullanılmaktadır.

Biyolojik yöntemler ise, enzimatik işlemler yoluyla düşük sıcaklık ve pH'ta çevre dostu modifikasyonlar sağlamaktadır. Bio-polishing ve bio-scouring gibi yöntemler, hem kumaş yüzeyinde pürüzsüzlük ve yumuşaklık kazandırmakta hem de kimyasal atıkların azalmasına katkıda bulunmaktadır [39].

Akıllı tekstillerde ise termo-kromik, foto-kromik veya elektro-kromik kaplamalarla sıcaklık, ışık ve nem değişikliklerine yanıt veren dinamik yüzey özellikleri geliştirilmekte, böylece giyilebilir teknolojilerde yeni kullanım alanları yaratılmaktadır [68].

Sonuç olarak, yüzey modifikasyonu teknolojileri, tekstil sektöründe sürdürülebilirlik, fonksiyonellik ve kullanıcı sağlığı ekseninde kritik önem taşıyan ve sürekli gelişmekte olan bir alan olup; endüstri ve akademik araştırmaların odağında yer almaktadır.

2.2.5.1. Su ve yağ iticilik (Hidrofobik/Hidrofilik Modifikasyon)

Su ve yağ iticilik teknolojileri, tekstil yüzeylerinin fonksiyonelliğini artırarak çeşitli endüstrilerde kritik rol oynamaktadır. Bu alanda yapılan son araştırmalar, çevre dostu ve yüksek performanslı kaplamaların geliştirilmesine odaklanmaktadır. Önemli su itici kaplama türleri;

- **Fluoropolimer Kaplamalar ve Alternatifleri:** Perfluorokarbon bazlı kaplamalar uzun süre yüksek su ve yağ iticiliği sağlasa da, biyobozunurluk sorunları ve toksisite endişeleri nedeniyle sınırlanmıştır. Son yıllarda, kısmen flor içeren ya da tamamen flor içermeyen, silikon bazlı ve hidrokarbon bazlı kaplamalar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin, Wang ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında, silikon-modifiye silika nanopartiküller kullanılarak çevre dostu su itici tekstil kaplamaları geliştirilmiştir. Bu kaplamalar, hem su hem de yağ iticilik performansını korurken biyobozunurluk sunmaktadır [70].
- **Sol-Gel Kaplamalar:** Patel ve ark. (2023), sol-jel yöntemiyle üretilen silika bazlı nanopartikül kaplamaların kumaşlarda su ve yağ iticiliği artırdığını, aynı zamanda

mekanik dayanıklılığı da desteklediğini raporlamıştır [54]. Sol-jel kaplamaların üstünlüğü, ince film yapısının kumaş dokusunu etkilemeden fonksiyonellik kazandırmasıdır. Ayrıca, titanyum dioksit (TiO_2) nanopartiküllerinin foto-katalitik özellikleriyle kumaş yüzeylerinde kendini temizleyen ve antibakteriyel etkiler sağlandığı gösterilmiştir [43].

- **Plazma Yüzey Modifikasyonu:** Garcia ve arkadaşlarının (2022) plazma uygulamaları üzerine yaptığı incelemede, özellikle düşük sıcaklıkta gerçekleştirilen atmosferik plazma işlemlerinin, su itici özelliklerin geliştirilmesinde etkili ve çevre dostu bir yöntem olduğu belirtilmiştir [51]. Plazma uygulamalarının kimyasal madde kullanımını azaltması, tekstil sektöründe sürdürülebilir üretim için önemli bir avantaj sağlamaktadır.
- **Güncel Yenilikçi Yaklaşımlar:** Akıllı tekstillerde, sıcaklık veya basınca bağlı olarak su iticilik özelliklerini değiştiren “uyarlanabilir” kaplamalar geliştirilmektedir. Müller ve ark. (2024), faz değiştiren materyaller (Phase Change Materials - PCM) ile kombine edilen nanokompozit kaplamaların, termal konforun yanı sıra su iticilik performansını da artırdığını göstermiştir [53]. Bu tür gelişmeler, tekstillerin fonksiyonelliğini dinamik koşullarda optimize etme potansiyeli taşımaktadır.

2.2.5.2. Antibakteriyel ve antimikrobiyal modifikasyonlar

Antibakteriyel ve antimikrobiyal modifikasyonların temel amacı, tekstil ürünlerinde mikroorganizmaların (bakteri, mantar, virüs vb.) çoğalmasını engelleyerek ürünlerin hijyenik kalmasını sağlamaktır. Bu modifikasyonlar, koku oluşumunu azaltmak ve enfeksiyon riskini minimize etmek açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle hastane ve sağlık sektörü tekstillerinde, iç çamaşırı ve spor giyim gibi doğrudan cilt ile temas eden ürünlerde hijyen ve konforun artırılması hedeflenmektedir. Antibakteriyel ve antimikrobiyal tekstil yüzey modifikasyonunda kullanılan yaygın modifikasyon teknikleri;

- a) **Gümüş Nanopartiküller (AgNPs):** Gümüş nanopartiküller, geniş spektrumlu antibakteriyel aktiviteye sahip olup, hücre membranının yapısını bozarak bakteriyel çoğalmayı engeller. Tekstile uygulanmaları genellikle kaplama, emdirme veya kovalent bağlama yoluyla gerçekleştirilir. Gümüşün toksisite risklerinin minimize edilmesi için nanopartikül boyutu ve dozaj optimizasyonu önemlidir [71].

- b) Metal Oksit Nanopartiküller: Çinko oksit (ZnO), bakır oksit (CuO) gibi metal oksit nanopartiküller hem antibakteriyel hem antifungal özellikler gösterir. UV ışınlarını emme ve fotokatalitik aktiviteleri sayesinde tekstilin kendini temizleme ve sterilizasyon özelliklerini destekler. Aynı zamanda düşük maliyet ve kolay uygulama avantajları sunar [72].
- c) Doğal Ekstraktlar: Çay ağacı yağı, kitosan, neem yağı gibi doğal kaynaklı biyositler, biyobozunurlukları ve çevre dostu yapıları ile tercih edilmektedir. Kitosan, pozitif yüklü yapısıyla bakteri hücre zarına bağlanarak antibakteriyel etki gösterirken, bitkisel yağlar ise uçucu bileşenlerle mikrobiyal aktivite sağlar [73].
- d) Kovalent Bağlanan Biyosit Kaplamalar: Tekstilin yüzeyine kovalent bağlarla tutunan biyositler, yıkama dayanıklılığını artırır ve uzun süreli etkinlik sağlar. Bu yöntem, biyositlerin kumaş yüzeyinden kolayca atılmasını engeller ve sürdürülebilir kullanım imkanı sunar [74].

Antibakteriyel ve antimikrobiyal modifikasyonların temel uygulama alanları tıbbi tekstil yapıların üretiminde, fonksiyonel spor kıyafetlerinin hazırlanmasında ve bazı önemli işlevsel ev tekstil yapılarının hazırlanmasıdır. Tıbbi tekstiller yara örtüleri, cerrahi maskeler, steril giysiler ve hastane nevresimleri gibi hijyenin kritik olduğu alanlarda kullanılır. Antimikrobiyal kaplamalar, enfeksiyon riskini azaltır ve iyileşme sürecini destekler. Spor giyim ve iç çamaşırları, yoğun terleme ve uzun süreli kullanım sonucu oluşan bakteri kolonizasyonunu engelleyerek koku kontrolü sağlar ve kullanıcı konforunu artırır. Fonksiyonel ev tekstilleri ise yatak örtüleri, yorganlar, perdeler gibi ürünlerde mikrobiyal üremeyi engelleyerek sağlıklı yaşam ortamına katkıda bulunur.

2.2.5.3. UV koruyucu tekstil yüzey modifikasyonu

UV koruyucu tekstil yüzey modifikasyonunun temel hedefi, güneşin zararlı ultraviyole (UV) ışınlarının tekstil ürünleri ve bu ürünleri kullanan bireyler üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmektir. UV ışınları, ciltte erken yaşlanma, yanık ve cilt kanseri riskini artırırken, tekstilin renk solmasına ve mekanik özelliklerinin bozulmasına neden olur. Bu nedenle özellikle yazlık giysiler, bebek kıyafetleri, dış mekân tekstilleri ve spor giyim ürünlerinde UV koruma özelliklerinin geliştirilmesi büyük önem taşır. UV Koruyucu tekstil yüzey modifikasyonunda kullanılan yaygın modifikasyon teknikleri;

- a) Nano Titanyum Dioksit (TiO_2) ve Çinko Oksit (ZnO) Kaplamalar: Nano ölçekli TiO_2 ve ZnO partikülleri, UV ışınlarını etkili biçimde absorbe ederek veya yansıtarak kumaş yüzeyinde koruyucu bariyer oluşturur. Bu nanopartiküller aynı zamanda fotostabiliteyi artırır ve kumaşın dayanıklılığını korur. Ayrıca, TiO_2 'nin fotokatalitik aktivitesi sayesinde kumaş üzerinde kir ve bakterilerin parçalanması gibi kendini temizleme özellikleri de sağlanabilir [75].
- b) UV Absorplayıcı Kimyasalların Tekstil Yüzeylerine Bağlanması: Organik UV filtreler (örneğin benzofenon türevleri, salisilatlar) kumaş yüzeyine kovalent veya fiziksel bağlarla uygulanır. Bu kimyasallar, UV ışınlarının zararlı dalga boylarını absorbe ederek kumaş ve kullanıcıyı korur. Kimyasal bağlanma yöntemi, yıkama ve aşınmaya karşı dayanıklılığı artırır [76].
- c) Tekstil Yüzeylerine Gerçekleştirilen Multifonksiyonel Kaplamalar: Son gelişmelerde, UV koruma özelliklerinin yanı sıra su iticilik, antibakteriyel ve anti-aging fonksiyonları da sunan hibrit kaplamalar geliştirilmiştir. Örneğin, TiO_2 nanopartikülleri ile doğal antioksidan ekstraktların birlikte kullanıldığı kaplamalar hem kumaşı UV'ye karşı korur hem de çevresel etkileri azaltır [77].

UV koruyucu tekstil yüzey modifikasyonunun uygulama örnekleri bebek giysileri, şapka ve plaj kıyafetleri ile şemsiye ve tente kumaşlarına yapılan kaplamalardır. Hassas ciltleri UV ışınlarının zararlı etkilerinden korumak için yüksek UV koruma faktörüne sahip tekstil ürünleri geliştirilmiştir. Bu ürünlerde kullanılan nano kaplamalar, giysilerin hafifliğini ve nefes alabilirliğini korurken etkin koruma sağlar. Dış mekân kullanımı için tasarlanan bu tekstillerde UV dayanımı önceliklidir. Uzun süre güneşe maruz kalma nedeniyle kumaşların bozulmasını önlemek ve kullanıcıya güvenli gölgelik sağlamak amacıyla nano kaplamalar yaygın olarak tercih edilmektedir.

2.2.5.4. Alev geciktirici (Flame Retardant) uygulamalar

Alev geciktirici uygulamaların başlıca amacı, tekstil ürünlerinin alev almasını ve yanmasını geciktirerek yangın güvenliği standartlarına uygunluğunu sağlamaktır. Bu uygulamalar, yangına karşı korunma gerektiren endüstriyel, ticari ve evsel alanlarda kullanıcı güvenliğini artırmak için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, alev geciktirici tekstiller yangın sırasında alevin yayılmasını engeller ve duman oluşumunu azaltarak tahliye sürelerini uzatır. Alev geciktirici tekstil uygulamalarında kullanılan yöntemler;

- a) Fosforlu bileşikler ile gerçekleştirilen kaplama yada katkılar: Fosfor bazlı retardantlar, yanma sırasında aktif fosfor bileşikleri açığa çıkararak kumaş yüzeyinde koruyucu bir karbon tabakası oluşturur. Bu tabaka, oksijen ve ısı geçişini engelleyerek yanmayı yavaşlatır. Fosfor bileşenler çevre dostu ve düşük toksisite profiline sahip olması nedeniyle yaygın tercih edilir [78].
- b) Bromlu ve halojensiz retardantlar ile gerçekleştirilen kaplamalar: Bromlu retardantlar, yanma sürecinde serbest radikalleri tutarak alevin yayılmasını önler. Ancak çevresel ve sağlık riskleri nedeniyle kullanımında kısıtlamalar vardır. Alternatif olarak, halojensiz retardantlar (örneğin, amonyum fosfatlar, metal hidroksitler) daha çevre dostu seçenekler olarak gelişmektedir [79].
- c) Ticari alev geciktirici kaplamalar: Proban ve Pyrovatex: Proban (organik fosfor içeren) ve Pyrovatex (fiks edilmiş fosforlu) gibi ticari alev geciktirici kaplamalar, tekstil yüzeyine uygulanarak kalıcı alev geciktirici özellik kazandırır. Bu kaplamalar, yıkama ve aşınmaya karşı dayanıklılığı artırır ve geniş çaplı endüstriyel uygulamalarda kullanılır [80].

Alev geciktirici tekstil yapılarının temel uygulama alanları iş güvenliği kıyafetleri, uçak ve otomobil döşemeleri ve tiyatro perdeleri ve yatak tekstilleridir. İtfaiyeci, elektrikçi ve kimyasal işçilerinin kullandığı giysilerde yüksek alev geciktirici standartlar aranır. Bu kıyafetler, kullanıcıların yangın anında korunmasını sağlar. Havacılık ve otomotiv sektöründe kullanılan döşemeler, yangın güvenliği düzenlemelerine uymak zorundadır. Alev geciktirici kaplamalar, bu sektörlerde kritik öneme sahiptir. Kamu alanlarında yangın riskini minimize etmek için perdeler ve yatak tekstilleri alev geciktirici olarak üretilir. Bu sayede toplu kullanım alanlarında güvenlik artırılır.

2.2.5.5. Antistatik yüzey modifikasyonu

Antistatik yüzey modifikasyonunun temel amacı, tekstil yüzeylerinde statik elektrik birikimini önlemek ve böylece kullanıcıların ve elektronik cihazların güvenliğini sağlamaktır. Statik elektrik, özellikle kuru ortamlarda ve sentetik liflerin kullanıldığı tekstillerde kolayca birikerek, kıvılcım oluşturma riski taşır. Bu durum hem kullanıcı açısından rahatsızlık yaratır hem de elektronik ekipmanların çalışmasını olumsuz etkileyebilir. Özellikle elektronik üretim alanları, laboratuvarlar ve hassas cihazların

kullanıldığı ortamlar için antistatik tekstil ürünleri zorunludur. Antistatik tekstil yüzey modifikasyonu uygulamalarında kullanılan yöntemler;

- a) İletken Polimer Kaplamalar: Polianilin, polipirol gibi iletken polimerler tekstil yüzeylerine kaplanarak veya liflere entegre edilerek statik elektriğin topraklanmasını sağlar. Bu polimerler, esnek, hafif ve kimyasal olarak stabilize edilebilen yapılarıyla tekstil sektöründe antistatik kaplamalar için ideal malzemelerdir [81].
- b) Karbon Bazlı Nano Malzemeler: Karbon nanotüpler (CNT) ve grafen gibi karbon nanomalzemeler, yüksek iletkenlikleri sayesinde kumaşlarda etkili antistatik özellik kazandırır. Bu nanomalzemeler liflerin içine veya yüzeyine dispersiyon yoluyla uygulanabilir. Ayrıca mekanik dayanıklılığı artırma potansiyeline sahiptir [82].
- c) İyonik Tuz İçeren Kaplamalar: Textil yüzeyine uygulanan iyonik tuzlar, nem ortamında elektrik yüklerinin nötralize edilmesini kolaylaştırır. Bu yöntemde genellikle suda çözünür polimer matriks içinde tuzlar kullanılarak yüzeyin elektriksel iletkenliği artırılır [83].

Antistatik tekstil yüzey modifikasyonu uygulama alanları temiz oda giysileri ve endüstriyel iş elbiseleridir. Yarı iletken ve mikroçip üretiminde kullanılan temiz odalarda statik elektriğin oluşturabileceği hasarları önlemek için özel antistatik giysiler kullanılır. Bu giysiler, toz ve partikül çekimini de azaltarak üretim kalitesini artırır. Petrol rafinerileri, kimya tesisleri, elektronik üretim alanları gibi patlama ve kıvılcım riski bulunan endüstriyel ortamlarda antistatik özelliklere sahip iş elbiseleri güvenlik için zorunludur.

2.2.5.6. Kendini temizleyen (Self-Cleaning) tekstil yüzeyleri

Kendini temizleyen tekstil yüzeylerinin temel amacı, kumaş yüzeyine tutunan kir, toz ve mikroorganizma gibi kirleticilerin, çevresel etkenler (su, yağmur, ışık) ile doğal yollarla uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Bu sayede tekstil ürünlerinin temizleme sıklığı azaltılır, kullanım ömrü uzar ve bakım maliyetleri düşer. Ayrıca, çevre dostu bir çözüm olarak kimyasal temizlik malzemeleri kullanımını da minimize eder. Kendini temizleyen tekstil yüzeylerinin üretiminde kullanılan yöntemler; Lotus Etkisi (Hidrofobik Nano Kaplamalar) ile kendi kendini temizleyen tekstil yapısı üretimi: Lotus etkisi, yaprak yüzeylerinde görülen ve suyun yüzeyden kolayca kaymasını sağlayan yüksek hidrofobiklik özelliğine dayanır. Tekstillerde nano boyutta hidrofobik kaplamalar uygulanarak su

damlacıklarının yüzeyde tutunması engellenir ve kir partikülleri suyla birlikte kolayca temizlenir. Bu kaplamalar genellikle silikon bazlı veya floropolimer yapılar içermektedir [83]. Fotokatalitik Kaplamalar ile kendi kendini temizleyen tekstil yapısı üretimi: Titanyum dioksit (TiO_2) nanopartikülleri, UV ışınları etkisiyle organik kirleri oksitleyerek parçalar ve yüzeydeki bakteriyel aktiviteyi azaltır. Bu fotokatalitik reaksiyon, hem kirlerin yok edilmesini hem de antibakteriyel bir yüzey oluşmasını sağlar. TiO_2 kaplamalar, özellikle dış mekan tekstillerinde yaygın olarak tercih edilmektedir [84].

Kendi kendini temizleyen tekstil yapıların temel uygulama alanları Perde, Tente ve Dış Cephe Tekstilleri ile Dış Mekân Kıyafetleridir. Dış mekân uygulamalarında kir tutmayan ve kolay temizlenen yüzeyler, bakım maliyetlerini azaltarak uzun ömürlü kullanım sağlar. Outdoor ve spor giyiminde, yağmur ve kir tutmayan özellikler kullanıcı konforunu artırır ve kıyafetlerin dayanıklılığını yükseltir.

2.2.5.7. Fonksiyonel boya ve baskı öncesi yüzey modifikasyonu

Tekstil ürünlerinde boya ve baskı kalitesinin artırılması, nihai ürünün estetik ve dayanıklılık açısından beklentileri karşılama için kritik öneme sahiptir. Yüzey modifikasyonu, kumaşın boya ve baskı işlemlerine hazırlanması aşamasında kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu işlemin temel amaçları şunlardır: Boya Tutuculuğunun Artırılması: Kumaş yüzeyinin kimyasal ve fiziksel yapısını değiştirerek boyaların liflere daha güçlü ve homojen şekilde bağlanmasını sağlamak. Bu, renklerin daha parlak ve kalıcı olmasını mümkün kılar. Baskı Netliğinin Geliştirilmesi: Baskı sırasında boyanın yüzeye düzgün yayılması ve kenarlarının keskin olması için yüzeyin aktif hale getirilmesi. Bu sayede baskı desenleri daha belirgin ve detaylı olur. Renk Haslıklarının İyileştirilmesi: Boya ve baskı sonrasında yıkama, ışık ve sürtünme gibi etkenlere karşı renk dayanıklılığını artırmak. Böylece tekstil ürünlerinin ömrü ve kullanıcı memnuniyeti yükselir. Tekstil ürünlerinde boya ve baskı kalitesinin artırılması için yapılan modifikasyon teknikleri genel olarak üç temel yöntemle yapılır. Bu yöntemler;

- a) Katyonik Polimerlerle Ön İşlem: Katyonik polimerler, genellikle poliamin türevleri, kumaş yüzeyine uygulandığında liflerin negatif yüklü bölgeleriyle etkileşerek yüzeyin pozitif yük kazanmasını sağlar. Bu durum, aniyonik boyaların liflere daha güçlü bağlanmasına yardımcı olur. Katyonik ön işlemler, özellikle pamuk ve diğer selülozik liflerde boya tutuculuğunu artırmada yaygın olarak kullanılır [85].

- b) Plazma ile Yüzey Aktifliği Kazandırma: Düşük basınç veya atmosfer basıncında uygulanan plazma işlemi, kumaş yüzeyindeki kimyasal bağları kırarak yeni fonksiyonel grupların oluşmasına ve yüzey enerjisinin yükselmesine neden olur. Bu modifikasyon, boya ve baskı kimyasallarının lif yüzeyine daha iyi tutunmasını sağlar. Plazma ön işlemi, çevre dostu ve kimyasal kullanımını azaltan bir yöntem olarak öne çıkar [86].
- c) Enzimatik Ön İşlemler (Bio-Scouring): Enzimler, özellikle pektinaz ve lipaz gibi, kumaş yüzeyindeki doğal kirleri ve yağı biyolojik yolla gidererek yüzeyin temizlenmesini sağlar. Bu işlem hem liflerin boya alma kapasitesini artırır hem de çevreye zarar vermeyen sürdürülebilir bir yöntemdir. Bio-scouring, pamuklu kumaşlarda kimyasal ağartmaya çevre dostu alternatif olarak yaygınlaşmaktadır [87].

Tekstil ürünlerinde boya ve baskı kalitesinin artırılması uygulamalar tekstil boyama tesisleri: (kumaş ve iplik boyama süreçlerinde, yüksek verimli boya tutuculuk ve homojenlik sağlamak için), baskı atölyeleri (dijital ve geleneksel baskı tekniklerinde, baskı kalitesini artırmak ve renklerin uzun ömürlü olmasını sağlamak için) ve hazır giyim üretiminde (üretim öncesinde kumaş kalitesini artırarak nihai ürünün pazar değerini yükseltmek amacıyla) yapılır.

2.2.5.8. Termal ve ısı iletken tekstil modifikasyonu

Tekstil ürünlerinde termal konforun sağlanması, özellikle dış ortam koşullarına bağlı olarak kullanıcıların sıcaklık dengesinin korunması açısından önem taşır. Termal modifikasyon, kumaşların ısı yalıtımını artırmak veya ısıyı daha etkin iletme için uygulanır. Böylece: Soğutucu veya Isıtıcı Tekstil Ürünleri Geliştirilir: Kullanıcının bulunduğu çevre sıcaklığına uygun şekilde ısıyı tutan veya dağıtan fonksiyonel tekstil ürünleri ortaya çıkar. Isı Yönetimi Sağlanır: Fiziksel aktivite sırasında terlemeyi önler ve dış ortamın aşırı sıcak veya soğuk etkilerinden korur. Bu amaçlar doğrultusunda kumaşların termal özelliklerinin kontrollü olarak değiştirilmesi, hem konforu artırır hem de enerji verimliliği sağlar. Tekstil ürünlerinde termal konforun sağlanması için kullanılan yöntemler;

- a) Grafen ve Bor Nitrür Kaplamaları: Grafen, üstün ısı iletkenliği, esnekliği ve dayanıklılığı ile tekstil yüzeylerinde sıcaklık dağılımını optimize etmek için kullanılır. Bor nitrür nano partikülleri ise yüksek ısı direnci ve yalıtkanlık

özellikleriyle termal modifikasyonda tercih edilir. Bu nano malzemeler, lif yüzeyine kaplama veya lif içine entegre edilerek kumaşların ısı iletimini kontrol eder [88].

- b) Gümüş Nano Partikül Kaplamaları: Gümüş nanopartiküller, hem termal iletkenlik hem de antibakteriyel özellik sağladığından çok fonksiyonlu modifikasyonlarda yaygın olarak kullanılır. Isı iletkenliğini artırarak özellikle spor ve askeri tekstillerde konforu artırır [89].
- c) PCM (Phase Change Material - Faz Değişim Malzemeleri) Kaplamalar: PCM'ler, belirli sıcaklıklarda katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya geçerek ısıyı depolar veya serbest bırakır. Bu sayede tekstil ürünleri, ortam sıcaklığına göre ısıyı düzenler ve termal konfor sağlar. PCM kaplamalar, giysi iç tabakalarında ve yatak tekstillerinde kullanılır [90].

Termal ve ısı iletken tekstil modifikasyonu uygulama alanları; akıllı tekstiller (kullanıcının ortam koşullarına göre termal tepki veren giyilebilir teknolojiler), askeri kıyafetler (aşırı sıcaklık ve soğuk hava koşullarında askerlerin termal konforunu artıran özel kumaşlar), spor giyimi (yüksek fiziksel performans gerektiren spor dallarında, terlemeyi kontrol edip ısı yönetimini optimize eden giysiler) ve fonksiyonel ev tekstilleri (yatak örtüleri, battaniyeler ve perde gibi ürünlerde ısı yalıtımını geliştirmek)'dir.

2.2.5.9. Renk değiştiren yüzey modifikasyonları (Akıllı Tekstiller)

Renk değiştiren tekstil ürünleri, çevresel faktörlere (ışık, sıcaklık, pH, elektrik gibi) duyarlı malzemeler kullanılarak geliştirilir. Bu tür akıllı tekstiller, hem estetik açıdan yenilikçi çözümler sunmakta hem de fonksiyonel uygulamalarda izleme ve uyarı amaçlı kullanılmaktadır. Temel hedefler şunlardır: Işık, Sıcaklık, pH veya Elektrik Etkisiyle Renk Değişimi: Kumaşın dış etkenlere göre görünümünün değişmesi sağlanır. Dinamik Görsel İletişim: Moda ve tasarım sektöründe kişisel ifadenin artırılması. Tıbbi İzleme: Vücut sıcaklığı, terin pH değeri gibi fizyolojik parametrelerin tekstil aracılığıyla takibi. Renk değiştiren tekstil ürünlerinin üretimi için, kullanılan yöntemler;

- a) Termokromik Pigmentlerle Kaplama: Termokromik pigmentler, sıcaklık değişimlerine bağlı olarak renk değiştiren organik veya inorganik moleküllerden oluşur. Bu pigmentler, kumaş yüzeyine sol-jel kaplama, emülsiyon veya sprey yöntemleriyle uygulanabilir. Sıcaklık belirli bir eşik

değere ulaştığında, pigmentlerin moleküler yapısı değişir ve renk tonunda dönüşüm gerçekleşir [91].

- b) Fotokromik Pigmentler: Fotokromik malzemeler, ultraviyole (UV) ışık etkisiyle renk değiştirir ve ışık kaybolduğunda orijinal renklerine geri dönerler. Bu özellik güneş ışığına duyarlı giysilerde kullanılmaktadır [92].
- c) Elektrokromik Yapılar: Elektriksel uyarı ile renk değiştiren malzemeler, özellikle giyilebilir elektronik tekstillerde tercih edilir. Bu yapılar genellikle polimer bazlıdır ve düşük voltajlarda çalışabilir. Elektrokromik tekstillerde renk değişimi, giysinin fonksiyonelliğini artırarak sağlık veya performans verilerinin görsel olarak iletilmesini sağlar [93].

Renk değiştiren tekstil ürünlerinin uygulama Alanları, Moda Tekstilleri: Kişiselleştirilebilir, kullanıcı etkileşimli kıyafetler. Örneğin, sıcaklığa veya ışığa göre renk değiştiren spor giysileri ve günlük kıyafetler. Tıbbi İzleme Sistemleri: Vücut sıcaklığı, stres veya pH değişimlerini renk değişimiyle gösteren hasta giysileri ve medikal tekstiller. Reklam ve Eğlence Sektörü: Dinamik renk değiştiren kostümler ve dekoratif tekstil ürünleri.

2.3. Su Tutmayan (Hidrofobik) Tekstil Yapıları

Su tutmayan veya hidrofobik tekstil yapıları, suyun kumaş yüzeyine nüfuz etmesini engelleyen ve su damlacıklarının yüzeyde boncuklanarak akmasını sağlayan fonksiyonel tekstil malzemeleridir. Bu özellik, hem kumaşın dayanıklılığını artırmak hem de kullanıcıya su geçirmezlik ve leke tutmama gibi avantajlar sunmak için kritik öneme sahiptir. Bu alanda kumaş yüzeyinin suyu itme kapasitesi hidrofilitik olarak tanımlanmış olup, genellikle su ile temas açısının 90° üzerinde olması ile belirlenir. Su ile temas açısının 150° 'den büyük olduğu, su damlacıklarının yüzeyde neredeyse küresel şekilde boncuklandığı ve çok kolay aktığı özel bir hidrofobiklik türü süperhidrofobiklik türüdür. Lotus yaprağının doğal yüzeyi bu etkiye örnek teşkil eder.

2.3.1. Su tutmayan kumaşların temel üretim yöntemleri

Su Tutmayan Kumaşların temel üretim yöntemleri üç temel başlık altında toplanabilir. Bu yöntemler;

- a) **Yüzey Enerjisinin Düşürülmesi:** Kumaşın yüzey enerjisi, su moleküllerinin yüzeye yapışmasını önleyecek şekilde kimyasal modifikasyonlarla azaltılır. Yüzey enerjisi düştüğünde, su damlacığı yüzeye yapışmak yerine daha küçük bir temas alanı ile boncuklanır ve kolayca akar [94].
- b) **Yüzey Pürüzlülüğünün Artırılması:** Mikro ve nano ölçekte pürüzlü yüzey yapıları oluşturularak, su damlacıklarının yüzeye temas ettiği alan minimize edilir. Bu yapı, lotus etkisi olarak adlandırılan ve suyun yüzeyden kolayca kaymasını sağlayan doğal bir fenomendir [95].
- c) **Kimyasal ve Fiziksel Tekstil Kaplamaları**
Yüzeye uygulanan kaplamalar, hidrofobik fonksiyonelliğin kalıcılığını ve dayanıklılığını sağlar. Yaygın kullanılan malzemeler arasında perflorokarbonlar (PFC), silikon bazlı bileşikler, ve son yıllarda çevre dostu alternatif olarak flor içermeyen kaplamalar yer almaktadır [96]. Bu kaplama yöntemleri; Sol-Gel Kaplamalar: Silika, titanyum dioksit gibi metal oksit nanopartikülleri ile oluşturulan ince film kaplamalar sayesinde su ve yağ tutmayan yüzeyler elde edilir. Plazma İşlemleri: Yüzey modifikasyonu için kullanılan çevre dostu yöntemlerden biri olup, kaplama olmaksızın yüzey enerjisini azaltır. Kimyasal Kaplamalar: Yüzeye kovalent bağlarla tutunan hidrofobik moleküllerle modifikasyon yapılır.

2.3.2. Su tutmayan (Hidrofobik) tekstil yapıların uygulama alanları

Su tutmayan tekstil yapıları, zorlu çevre koşullarına karşı koruma sağlar, su ve yağ itici özelliklerle kullanıcı konforu ve dayanıklılığı artırır. Ayrıca koltuk, perde ve halı gibi ürünlerde leke tutmayı önler. Bir diğer avantajı ise, su geçirmezlik ve dayanıklılık gerektiren uygulamalar için idealdir. Bu nedenle su tutmayan tekstil yapıları, dış giyim ve spor kıyafetlerinde, endüstriyel iş güvenliği giysilerinde, bazı ev tekstil ürünlerinde ve askeri ürünlerde kullanılır.

2.4. Tekstil Yüzeylerinde Elektrostatik Yüklenme Problemi

Tekstil malzemelerinin yüzeylerinde elektrostatik yük birikimi, özellikle düşük nem oranlarının hakim olduğu çevresel koşullarda önemli bir mühendislik ve güvenlik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrostatik yüklenme, tekstil yüzeylerinde yüksek voltaj

değerlerine ulaşarak kıvılcım oluşumuna zemin hazırlamakta, bu da yanıcı gaz, toz ve sıvıların bulunduğu ortamlarda patlama ve yangın riskini artırmaktadır. Ayrıca, elektronik cihazların üretiminde kullanılan tekstillerde statik boşalma, cihaz performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, tekstil yüzeylerinin elektriksel iletkenliği ve nem tutma özellikleri, elektrostatik yük birikmesinin önlenmesinde kritik öneme sahiptir [97].

Elektrostatik yük birikimi, farklı malzemelerin sürtünmesi, ayrılması veya temas sonrası ayrılması sonucu yüzeylerde yük transferi olarak tanımlanabilir. Tekstil malzemelerinde bu yük birikimi, yüzeyin elektriksel direnç değeri, yüzey topografisi, temas hızı ve atmosferik nem gibi faktörlere bağlıdır. Literatürde, yüzey direnci 5×10^9 Ohm'dan daha düşük olan tekstil malzemelerinin kıvılcım oluşturma potansiyeline sahip olmadığı genel kabul görmektedir [98]. Hidrofilik lifler (pamuk, viskon gibi) atmosferik nemi absorbe ederek iletkenlik sağlar ve böylece statik elektrik birikimini azaltır. Buna karşılık, hidrofobik ve yalıtkan yapıya sahip sentetik polimerler (örneğin polietilen tereftalat) çok düşük miktarda su tutarak yüksek yüzey direnci ve dolayısıyla yüksek elektrostatik yük birikimi riskine sahiptir.

Elektrostatik yüklenmenin önlenmesine yönelik tekstil yüzey modifikasyonlarında başlıca yöntemler şunlardır:

- İletken Dolgu Maddeleri ve Kaplamalar: Karbon siyahı gibi iletken partiküllerin polimer matrise yüksek konsantrasyonlarda eklenmesi, polimer yüzeylerin kimyasal veya fiziksel yollarla iletken kaplamalarla donatılması, metalik filamentlerin tekstile entegre edilmesi ve karbon nanotüpler gibi nanomalzemelerin kullanımı [99-101].
- Hidrofilik Yüzey Aktif Maddeler ile Bitirme: Tekstil yüzeylerinin anyonik, katyonik veya iyonik olmayan yüzey aktif maddelerle emprenye edilmesiyle, yüzeyin su tutma kapasitesi artırılarak yüzey iletkenliği ve antistatik performans geliştirilir [102].

Ancak bu yöntemlerin çoğunda çeşitli sınırlamalar söz konusudur: PVD (Physical Vapor Deposition) ve CVD (Chemical Vapor Deposition) gibi tekniklerin yüksek maliyeti, karbon siyahının mekanik ve estetik özelliklerde olumsuz etkileri ve yüzey aktif madde bazlı bitirme işlemlerinin sınırlı dayanıklılığı önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Ayrıca, geleneksel hidrofobik kirlenme önleyici kaplamalar (örneğin florokarbon polimerleri), düşük yüzey enerjisi nedeniyle su tutumunu azaltmakta ve elektrostatik yük birikimini artırabilmektedir.

Son yıllarda, sol-gel teknolojisi tekstil yüzey modifikasyonunda çevre dostu ve çok yönlü bir yöntem olarak ön plana çıkmıştır. Bu yöntemle tekstil yüzeylerine ince ve homojen fonksiyonel kaplamalar uygulanabilmekte; su ve yağ iticilik, antistatiklik, UV koruması gibi çoklu özellikler aynı anda sağlanabilmektedir [103-105].

2.5. Tekstilde Antistatik Yüzey Modifikasyonları: Sol-Gel Teknolojisi Perspektifi

Organik modifikasyonlu alkoksil silanlar, özellikle uzun zincirli alifatik veya yüksek florlu gruplarla işlenmiş sol-jel öncüleri, tekstillere yüksek hidrofobiklik ve yağ iticilik kazandırmaktadır. Ayrıca, silika bazlı sol-jel matrisi içerisine iletken organik polimerlerin gömülmesi, alümina içeren sollar ve noniyonik yüzey aktif maddelerin kombinasyonu ile antistatik özellikler geliştirilebilmektedir [106-109]. Bunun yanı sıra, tetratraflovalen (TTF) gibi elektron açısından zengin organik bileşiklerin silikon alkoksitlerle kohidrolizi sonucu oluşan kaplamalar, tekstil yüzeylerinde kalıcı iletkenlik ve antistatik performans sağlamaktadır [109-110].

Sol-gel kaplamalar içerisinde hem hidrofobik hem hidrofilik bileşenlerin stratejik kombinasyonu, yüzey enerjisinin kontrolü yoluyla optimum su iticilik ile yüzey iletkenliğinin dengelenmesini mümkün kılmaktadır. Örneğin, tetraetoksisilan (TEOS) bazlı solüsyonlarda %1-2 hacim oranındaki hidrofobik katkı maddeleri, su ve yağ iticiliği önemli ölçüde artırırken, hidrofilik katkı maddelerinin varlığı kaplamanın yüzey iletkenliğini destekleyerek antistatik performansın sürekliliğini garanti eder [111].

Tekstil yüzeylerinde elektrostatik yük birikiminin önlenmesi, iş güvenliği, elektronik endüstrisi ve kullanıcı konforu açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel antistatik yaklaşımların çeşitli sınırlamaları göz önünde bulundurulduğunda, sol-gel bazlı yüzey modifikasyonları çevreci, ekonomik ve çok fonksiyonlu çözümler sunmaktadır. Gelecekte, bu teknolojiye yönelik nano-malzeme entegrasyonları ve fonksiyonel organik-inorganik hibrit kaplamalar ile tekstil yüzeylerinin çoklu performanslarının artırılması yönünde önemli ilerlemeler beklenmektedir.

2.6. Tekstilde Sol-Jel Uygulamaları

Sol-jel yöntemi, metal alkoksitler gibi prekürsörlerin hidroliz ve kondensasyon reaksiyonları aracılığıyla kolloidal bir sol formundan, katı benzeri bir jel ağ yapısına

dönüşmesini temel alan çözelti bazlı bir kaplama teknolojisidir. Tekstil yüzeylerinin fonksiyonel özelliklerle donatılmasında çevre dostu ve çok yönlü bir alternatif sunması nedeniyle günümüz tekstil teknolojilerinde yaygın bir uygulama alanı bulmaktadır. Bu bölümde, tekstil yüzeylerinde sol-jel yöntemi ile gerçekleştirilen modifikasyonlar detaylı olarak ele alınacaktır. Sol-Jel süreci ve kimyasal temelleri sol-jel süreci, genellikle şu aşamalardan oluşmaktadır:

- Prekürsör Hazırlama: Tetraetil ortosilikat (TEOS), metiltrimetoksisilan (MTMS) gibi silan bazlı bileşikler kullanılır.
- Hidroliz ve Kondensasyon: Asidik ya da bazik ortamda gerçekleşen tepkimelerle Si-OH ve Si-O-Si bağları oluşur.
- Kaplama ve Kurutma: Tekstil malzemesi, sol ile emdirilir (pad-dry-cure yöntemi), kurutularak kaplama sabitlenir.

Fonksiyonel gruplarla modifiye edilmiş silanlar, kumaş yüzeyine istenen özellikleri (hidrofobik, antistatik, antibakteriyel vb.) kazandırmak için önemli rol oynar.

Su ve Yağ İticilik Hidrofobik kaplamalar, düşük yüzey enerjisi ve nano-pürüzlülük kombinasyonu ile su ve kirin yüzeyden uzaklaşmasını sağlar. Florlu silanlar veya uzun zincirli alkilsilanlar bu amaca hizmet eder. Lotus etkisi benzeri yapılar oluşturularak suyun boncuklanarak akması sağlanabilir.

Antistatik Kaplamalar Elektrostatik yüklenmeyi önlemek için su buharı emme kapasitesi yüksek olan hidrofilik katkı maddeleri veya iletken polimerler (polianilin, karbon nanotüpler vb.) kullanılabilir. İyonik yüzey aktif maddeler veya aminosilan katkılı sol-jel sistemleri antistatik etkinliği artırır.

Kendini Temizleyen Yüzeyler Fotokatalitik kaplamalar (TiO₂ gibi) UV ışınların etkisiyle organik kirleri ayrıştırarak kendi kendini temizleme fonksiyonu sağlar. Alternatif olarak, süperhidrofobik kaplamalar suyun kiri yüzeyden taşımasını sağlar.

Antibakteriyel Kaplamalar ZnO, Ag, CuO gibi nanopartiküller sol-jel sistemine dahil edilerek antimikrobiyal tekstiller elde edilebilir. Bu malzemeler bakteri zarını bozarak etkili bir biyosidal aktivite gösterir.

UV Koruyucu Uygulamalar TiO_2 ve ZnO gibi UV emici malzemeler ile sol-jel kaplamalar UV dayanımını artırarak kumaşın fotodegradasyonunu azaltır. Uygulama Yöntemleri Sol-jel sistemleri tekstil yüzeyine şu yöntemlerle uygulanabilir:

- Pad-dry-cure (emdirme-kurutma)
- Dip coating (batırma)
- Spray coating (püskürtme)
- Roll-to-roll kaplama teknikleri

Tekstilde Sol-Jel yönteminin kullanılması ile çok yönlü fonksiyonlar tek katmanda birleştirilebilir, düşük sıcaklıkta uygulanabilir, transparan ve estetik kaplamalar sağlanabilir. Ayrıca Sol-Jel metodu çevre dostu bir metoddur. Bununla birlikte bu avantajların yanı sıra yıkama dayanıklılığı bazı durumlarda yetersiz olabilir ve Sol kararlılığı sınırlıdır. Sol-jel yöntemi, tekstil endüstrisinde çok sayıda fonksiyonel yüzey özelliği kazandırmak için etkili bir araçtır. Hidrofobiklik, antistatiklik, UV koruma ve antibakteriyel özellikler gibi uygulamalar tekstil ürünlerinin performansını artırmada önemli rol oynamaktadır [112-114]. Gelişmekte olan yeni katkı maddeleri ve çevreci sistemlerle sol-jel yönteminin gelecekte tekstil fonksiyonelleştirme alanındaki rolü daha da artması beklenmektedir.

2.6.1 Sol-Jel yöntemi nedir?

Sol-jel yöntemi, genellikle malzeme bilimi ve kimyada kullanılan, seramik ve cam malzemelerin düşük sıcaklıklarda sentezlenmesine olanak tanıyan ıslak kimya temelli bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle nanomalzemeler, ince filmler, fiberler ve gözenekli yapılar üretmek için tercih edilir. Sol-jel yöntemi temel aşamaları:

- a) Sol Hazırlığı: Metal alkoksitler (örneğin, tetraetil ortosilikat - TEOS) ya da inorganik tuzlar, bir çözücüde çözülerek kolloidal bir süspansiyon olan sol elde edilir.
- b) Jelasyon (Jelleşme): Sol, zamanla veya kimyasal reaksiyonlarla, üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturarak jel haline gelir. Bu süreçte çözücü sıkışıp kalır.
- c) Yaş Jel İşlemleri (Opsiyonel): Jel, çeşitli yollarla yıkanabilir, solvent değişimi yapılabilir veya katkı maddeleriyle zenginleştirilebilir.

- d) Kurutma: Jeldeki sıvı faz (su, alkol vs.) uzaklaştırılır. Bu, xerogel (oda sıcaklığında kurutma) veya aerogel (süperkritik kurutma) elde edilmesine yol açar.
- e) Isıl İşlem (Kalsinasyon/Sinterleme): Kuruyan jel, genellikle belirli bir sıcaklıkta ısıtılarak kristal yapı kazanır, gözenekler azalır ve malzeme nihai halini alır.

2.6.2 Tekstilde sol-jel uygulama amaçları

Sol-jel yöntemiyle tekstil yüzeylerine su ve yağ iticilik, antibakteriyel etki, UV ışınlarına karşı koruma gibi çok yönlü fonksiyonel özellikler kazandırılabilir [113]. Bu özellikler, malzeme yüzeyine nanoskopik düzeyde işlenerek daha uzun ömürlü ve etkili performans sunar. Oluşturulan inorganik-organik hibrit kaplamalar, kumaş yüzeyine yüksek yapışma gücü ile tutunarak yıkama, sürtünme ve dış etkenlere karşı fiziksel ve kimyasal dayanıklılığı artırır.

Sol-jel işlemleri genellikle düşük sıcaklıkta ve çözücü kontrollü koşullarda gerçekleştiğinden, enerji tüketimini azaltır ve çevreye zararlı uçucu organik bileşiklerin (VOC) salımını en aza indirerek ekolojik tekstil üretimine katkı sağlar. Sol-jel kaplamaları ile kumaş yüzeyinde pürüzlü ve düzenli nano yapılar oluşturularak, örneğin lotus etkisi gibi kendini temizleme özellikleri kazandırılabilir. Bu nano yapılandırma, su damlalarının yüzeyde tutunmadan kaymasını sağlar ve kirlenmeyi önler.

2.6.3 Tekstilde sol-jel uygulamaları için kullanılan malzemeler

Tekstil yapılarının yüzey modifikasyonunda sol-jel teknolojisinin kullanımı son yıllarda artarak farklı ürünlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Özellikle; tekstil bitim işlemlerinde sol-jel teknolojisinin kullanımı sayesinde; su tutmayan, fotokromik, elektrokromik, termokromik, alev dirençli tekstil yapıları, aşınma dayanımı, adsorpsiyon özelliği, UV-koruyuculuk, antistatiklik, antimikrobiyal, kendi-kendini temizleme, buruşmazlık, ve su-kir-yag itici yapıların hazırlanması mümkün olmuştur.

Malzeme biliminde , sol -jel işlemi küçük moleküllerden katı malzemeler üretmek için bir yöntemdir. Bu yöntem metal oksitlerin , özellikle silisyum (Si) ve titanyum (Ti) oksitlerinin üretiminde kullanılır . İşlem, çözeltideki monomerlerin, ayrı parçacıkların veya

ağ polimerlerinin entegre bir ağının (veya jelinin) öncüsü olarak işlev gören kolloidal bir çözeltiye (sol) dönüştürülmesini içerir . Tipik öncüler metal alkoksitlerdir

Bu tip özellikler kazandırmak için kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Tekstilde Sol-Jel uygulamaları için kullanılan kimyasal malzemeler ve özellikleri

Malzeme	Amacı / Fonksiyonu	Özelliği	Uygulama Örneği
Tetraetil ortosilikat (TEOS)	İnorganik yapı oluşturmak	Silika esaslı, şeffaf ve sert yapı	Su/yağ itici kaplamalar, dayanıklı yüzeyler
Titanium izopropoksit (TIP)	UV koruma ve fotokatalitik etki	UV absorban, antimikrobiyal	Güneş ışığına dayanıklı tekstiller
Zirkonyum propoksit (ZrP)	Mekanik dayanım ve ısı direnci artırımı	Yüksek sıcaklığa dayanıklı, sertleştirici etkili	Koruyucu iş giysileri
Alüminyum izopropoksit	Termal stabilite ve kaplama bütünlüğü sağlamak	Yüksek ısıya dayanıklı	Isıya dayanıklı teknik tekstiller
Silika nanoparçacıkları (SiO ₂)	Lotus etkisi ve yüzey pürüzlülüğü kazandırmak	Hidrofobik yapı, yüksek yüzey alanı	Kendini temizleyen kumaşlar
Gümüş nanoparçacıkları (AgNPs)	Antibakteriyel özellik kazandırmak	Geniş spektrumlu mikrop öldürücü etki	Medikal tekstiller, iç giyim
Zinc Oxide (ZnO)	UV koruma ve antibakteriyel etki	UV absorban, mikroorganizmalara karşı etkili	Bebek giysileri, yazlık kumaşlar
Florosilanlar (örn. FAS-17)	Süperhidrofobik kaplama oluşturmak	Su ve yağ itici, düşük yüzey enerjili	Outdoor kıyafetler, yağ geçirmez kumaşlar
Organik polimer katkıları (ör. PEG, PVA)	Kaplamanın esnekliği ve yıkama dayanımını artırmak	Film formasyonu kolay, yapışma artırıcı	Sol-jel film stabilizasyonu
Fonksiyonel boyar maddeler (ör. porfirin)	Akıllı tekstil geliştirme	Renk değişimi, fotokimyasal aktivite	Akıllı tişörtler, sensör tekstilleri

2.7. Tekstilde Yüzey Analiz Metotları

Tekstil malzemelerinde yüzey özellikleri, fonksiyonellik kazandırma, kaplama, modifikasyon veya yüzey işleme gibi işlemler sonrasında önemli ölçüde değişebilir. Bu nedenle, bu değişimlerin kalitatif ve kantitatif olarak değerlendirilmesi amacıyla çeşitli yüzey analiz yöntemleri kullanılır. Bu yöntemler, tekstilin yüzey morfolojisini, kimyasal bileşimini, ıslanabilirliğini, pürüzlülüğünü ve fiziksel özelliklerini belirlemeye yöneliktir. Bu yöntemler genel olarak Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2: Tekstilde yüzey analiz metotları

Yöntem	Amaç / Ölçtüğü Özellik	Açıklama / Prensip	Uygulama Örneği
Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	Yüzey morfolojisi, kaplama homojenliği	Elektron ışını ile yüksek çözünürlüklü yüzey görüntüsü elde edilir	Sol-jel kaplamalı kumaşlarda nano-yapı incelenmesi
Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDS/EDX)	Elementel analiz	SEM cihazıyla entegre çalışır, yüzeydeki elementleri tespit eder	Gümüş, çinko gibi nanoparçacık dağılımının tespiti
Temas Açısı Ölçümü (Contact Angle)	Hidrofobiklik / hidrofiliklik değerlendirmesi	Su damlasının yüzeyde oluşturduğu açıya bakılarak ıslanabilirlik ölçülür	Lotus etkisi analizleri, su/yağ iticilik testleri
FTIR Spektroskopisi (ATR-FTIR)	Fonksiyonel grupların tespiti	Yüzeydeki kimyasal bağlar ve fonksiyonel gruplar belirlenir	Antibakteriyel ajan veya silikon kaplama tespiti
X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS)	Yüzey kimyasal bileşimi ve elementlerin oksidasyon durumu	10 nm yüzey derinliğinde kimyasal bileşen analizi yapılır	Yüzeye bağlanmış metal iyonlarının karakterizasyonu
AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu)	Yüzey pürüzlülüğü, topografya	Nano düzeyde yüzey taraması, 3D yüzey haritası sağlar	Sol-jel ile oluşturulan nano kaplama yüzey yapısı
TGA (Termogravimetrik Analiz)	Termal stabilite, kaplama miktarı	Isı altında ağırlık değişimini izler	Sol-jel kaplamanın kumaş üzerindeki oranının ölçümü
UV-Vis Spektrofotometresi	UV geçirgenlik, optik özellikler	Kumaşın ışık geçirgenliğini ve UV blokajını ölçer	UV koruyucu tekstillerde etkinlik değerlendirmesi
Renk Ölçüm Sistemleri (CIELAB, Spectrophotometer)	Renk değişimlerinin ölçülmesi	Kaplamanın veya işlemin kumaş rengine etkisini analiz eder	Antibakteriyel/UV kaplama sonrası renk sapması analizi
Yıkama Sonrası Testler (ISO, AATCC normları)	Fonksiyonel kalıcılık, dayanıklılık testleri	Yıkama sonrası su iticilik, antibakteriyel etkinlik gibi özellikler test edilir	Tekstil kaplamalarının uzun ömürlülük analizleri

Fonksiyonel tekstil yüzeylerinin geliştirilmesinde kullanılan sol-jel yöntemine dayalı kaplama işlemleri, kumaş yüzeyinin morfolojik ve kimyasal özelliklerinde önemli değişiklikler meydana getirir. Bu değişikliklerin nicel ve nitel olarak değerlendirilebilmesi için çok çeşitli yüzey analiz tekniklerinden yararlanılmaktadır. Özellikle antibakteriyel ve UV koruyucu kaplamaların etkinliğinin belirlenmesi hem kaplamanın fiziksel tutunma başarısını hem de fonksiyonel performansını analiz etmeyi gerektirir.

2.7.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

SEM, kumaş yüzeyinde meydana gelen morfolojik değişikliklerin mikrometre ve nanometre düzeyinde görüntülenmesine imkân tanır. Örneğin, gümüş nanoparçacıklı sol-jel kaplama uygulanmış pamuklu kumaşların yüzeyinde, kaplamanın dağılım homojenliği ve lifler arasındaki bağlayıcılık SEM görüntüleriyle net bir şekilde değerlendirilebilir (Wang et al., 2011).

2.7.2. Enerji dağılımlı X-Işını spektroskopisi (EDS)

EDS, SEM ile birlikte çalışarak yüzeydeki elementel bileşimin analiz edilmesini sağlar. Antibakteriyel amaçla kullanılan Ag, Zn veya Ti gibi elementlerin varlığı ve dağılım yoğunluğu bu yöntemle tespit edilir. UV koruyucu kaplamalarda kullanılan ZnO veya TiO₂ parçacıklarının kumaş üzerindeki etkinliği de EDS haritalamaları ile doğrulanabilir.

2.7.3. Temas açısı ölçümü

Sol-jel ile fonksiyon kazandırılan kumaşların su itici veya süperhidrofobik özelliklerinin analizinde temas açısı ölçümü önemli bir tekniktir. 150°'nin üzerindeki temas açıları, "lotus etkisi" olarak bilinen kendini temizleme yüzey davranışına işaret eder (Zhang et al., 2008). Bu ölçümler, kaplama sonrası kumaşın hidrofilik-hidrofobik karakterinin karşılaştırmalı analizine olanak verir.

2.7.4. ATR-FTIR spektroskopisi

Sol-jel yöntemiyle kumaşa uygulanan fonksiyonel grupların (örneğin Si-O-Si, Ti-O, Ag-O bağları) tespitinde ATR-FTIR tekniği kullanılır. Bu yöntem, organik ve inorganik bileşenlerin kimyasal bağlarını ortaya koyar. Özellikle hibrit yapıları kaplamaların FTIR

spektrumlarında karakteristik piklerin gözlemlenmesi, fonksiyonel ajanların başarılı bir şekilde bağlandığını gösterir (Shateri-Khalilabad & Yazdanshenas, 2013).

2.7.5. XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)

XPS, kumaş yüzeyinin ilk birkaç nanometrelik kısmında yer alan elementlerin oksidasyon durumlarını ve bağ yapısını analiz eder. Bu analiz, özellikle kaplamanın kumaşa kimyasal olarak tutunup tutunmadığını anlamak açısından önemlidir. UV koruyucu TiO₂ veya ZnO kaplamalarda yüzeydeki metal oksit bağları bu yöntemle doğrulanır.

2.7.6. AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu)

AFM ile kumaş yüzeyindeki nano düzeyde pürüzlülük değerleri (Ra, Rq) ve 3 boyutlu topografik yapı elde edilir. Sol-jel kaplamalarının yüzey morfolojisine etkisi ve kaplama sonrası yüzeyin daha kompakt veya gözenekli hale gelip gelmediği bu teknikle belirlenir.

2.7.7. TGA (Termogravimetrik Analiz)

Kaplamanın kumaş üzerindeki oranı ve termal kararlılığı TGA ile ölçülür. Ağırlık kaybı eğrilerinden kaplamanın yaklaşık miktarı hesaplanabilir. Örneğin, 200–300 °C aralığında meydana gelen ağırlık azalması, kaplama bileşenlerinin ayrıldığını gösterir.

2.7.8. UV-Vis spektrofotometri

UV blokajı sağlayan sol-jel kaplamaların optik geçirgenliği bu yöntemle ölçülür. Özellikle 280–400 nm aralığında yapılan analizler, kumaşın ne ölçüde UV ışınlarını emdiğini veya yansıttığını ortaya koyar.

2.7.9. Yıkama dayanımı testleri (ISO 6330, AATCC 61)

Fonksiyonel kaplamaların yıkama sonrası kalıcılığı, standart yıkama testleri ile değerlendirilir. Sol-jel kaplamaların tekstil yüzeyine fiziksel mi yoksa kimyasal olarak mı tutunduğu, yıkama sonrası SEM ve temas açısı ölçümleriyle desteklenerek analiz edilir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Çalışma Kapsamında Kullanılan Kimyasal Maddeler

Bu tez çalışması kapsamında, olivetol temelli sol-jel kaplamalar ile su tutmazlık özelliği artırılmış fonksiyonel tekstil yüzeyleri hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda dört farklı formülasyona sahip sol-jel çözeltileri hazırlanarak, dört farklı kumaş yapısı üzerine kaplanmış ve toplamda dört özgün tekstil materyali elde edilmiştir.

3.1.1. Tekstil yüzeylerinin temini ve hazırlığı

Kaplama çalışmaları için kullanılan kumaş türleri aşağıda verilmiştir:

- Süprem
- Ribana
- İnterlok
- Lacoste

Bu kumaşlar, ILSAN Tekstil A.Ş. firmasından temin edilmiş olup, ham formda, yani herhangi bir boyama, apre veya kimyasal işlem görmemiş şekilde sağlanmıştır. Yüzeyde mevcut olabilecek kalıntıların uzaklaştırılması amacıyla kumaşlar, yüzey modifikasyonu işleminden önce şu şekilde ön işleminden geçirilmiştir:

- Kumaşlar 3 kez yıkanmış,
- Ardından 3 kez saf su ile durulanmış,
- Toz tutmayan temiz bir yüzeye serilerek oda sıcaklığında kurutulmuştur.

Bu ön işlemler sayesinde, kaplama işleminin homojenliği ve yapışma performansı artırılmıştır.

3.1.2. Sol-Jel kaplama çözeltilerinin hazırlanması

Kaplama işlemlerinde kullanılan sol-jel çözeltileri, farklı oranlarda olivetol ve TEOS (tetraetil ortosilikat) içerecek şekilde formüle edilmiştir. Sol-jel çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan kimyasallar aşağıda listelenmiştir:

- Olivetol
- TEOS (tetraetil ortosilikat)
- Amonyak çözeltisi (NH₄OH)
- Gliserin

Tüm kimyasallar, Sigma-Aldrich firmasından sağlanmış ve herhangi bir ön işlem uygulanmaksızın, doğrudan tedarik edildikleri formda kullanılmıştır.

Sol-jel çözeltilerinin hazırlanmasında, hidroliz ve kondensasyon reaksiyonları esas alınarak, TEOS'un olivetol ile birlikte silika bazlı bir ağ yapısı oluşturması sağlanmıştır. Hazırlanan solüsyonlar homojen hale gelinceye kadar manyetik karıştırıcıda karıştırılmış ve ardından kumaşlara kaplama işlemi uygulanmıştır.

Hazırlanan sol-jel çözeltileri, kumaşlara daldırma-kurutma yöntemi (pad-dry) ile uygulanmıştır. Her bir kumaş numunesi aşağıdaki sırayla işleme tabi tutulmuştur:

- Kumaş numuneleri hazırlanan sol-jel çözeltisine 1 dakika süreyle daldırılmış,
- Fazla solüsyonun uzaklaştırılması için sıkılmıştır,
- Ardından numuneler 60 °C'de 15 dakika süreyle ön kurutma işlemine tabi tutulmuştur,
- Kurutmanın ardından 130 °C'de 10 dakika süreyle fiksaj (sabitleme) işlemi uygulanmıştır.

Bu işlemler sırasında numune kodlaması ve işlem gruplandırması dikkatle yapılmış, her kumaş tipi için dört farklı formülasyon uygulanmıştır.

Her kumaş yapısı (Süprem, Ribana, İnterlok, Lacoste) için yukarıdaki dört farklı formülasyon ayrı ayrı uygulanmış, toplamda 16 farklı numune elde edilmiştir. Numune kodlaması şu şekilde yapılmıştır:

- **S-B:** Süprem kumaş + Formül B
- **R-D:** Ribana kumaş + Formül D
- **I-A:** İnterlok kumaş + Formül A (kontrol)
- **L-C:** Lacoste kumaş + Formül C vb.

3.2 Çalışma Kapsamında Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Bu çalışmada, olivetol-temelli sol-jel kaplamaların tekstil yüzeylerine uygulanmasının ardından, hem yapısal hem de fonksiyonel değişikliklerin detaylı incelenmesi için çeşitli ileri karakterizasyon teknikleri kullanılmıştır. Analizler, kaplanmış ve kontrol numuneler üzerinde kaplama etkinliğini, morfolojik yapıyı, kimyasal bileşimi, hidrofobik özellikleri ve mekanik dayanımı kapsamlı biçimde ortaya koyacak şekilde planlanmıştır.

3.2.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Kaplama yapısının doğrulanması ve kimyasal fonksiyonel gruplardaki değişimlerin tespiti için Perkin Elmer Spectrum Two modeli FTIR cihazı kullanılmıştır. Spektrumlar, $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ aralığında, 4 cm^{-1} çözünürlük ile, ATR modu kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler, kumaş yüzeyinin farklı noktalarından tekrarlı şekilde alınarak ortalama spektrumlar oluşturulmuştur. Bu sayede, sol-jel kaplamanın oluşturduğu siloksan bağları (Si–O–Si), olivetolün fenolik grupları ve diğer organik-inorganik bağların varlığı doğrulanmıştır (Smith, 2011).

3.2.2. X-Işını kırınımı (XRD) analizi

Kumaş yüzeyindeki kaplamanın kristalin yapıya etkisini incelemek amacıyla Bruker D8 Advance XRD cihazı kullanılmıştır. Ölçümler, 2θ açısı aralığı $2^\circ\text{--}80^\circ$ arasında gerçekleştirilmiş olup, $0,01^\circ$ adım ve Cu K α kaynağı ($\lambda = 1.5406\text{ \AA}$) ile yüksek çözünürlüklü analiz yapılmıştır. Kaplamanın kristaliteyi nasıl etkilediği, özellikle pamuk liflerinin yapısındaki olası değişiklikler bu analizle belirlenmiştir (Kumar ve ark., 2015).

3.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Yüzey morfolojisinin incelenmesinde, LEO EVO 40 VP model SEM kullanılmıştır. Kaplamalı ve kontrol numuneler; 100x, 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütme oranlarında analiz edilmiştir. Numunelerin elektriksel iletkenliğini sağlamak ve yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için, kaplama öncesinde BALTEC SCD-050 sputter cihazı ile yaklaşık 30 nm kalınlığında altın-paladyum kaplama yapılmıştır. Ayrıca, kaplama öncesi polimerik kumaşların genel yüzey yapısı SOIF marka upright optik mikroskop ile 10x büyütmede ön analiz edilmiştir. SEM görüntüleri, kaplama homojenliği, kaplama kalınlığı ve nanopartikül dağılımının belirlenmesinde kritik rol oynamıştır (Lee ve ark., 2017).

3.2.4. Temas açısı ölçümü

Kumaş yüzeylerinin hidrofobik özellikleri, sıvı temas açısı ölçer (Contact Angle Meter) ile değerlendirilmiştir. Ölçümler, her numunenin farklı noktalarında en az üç kez tekrarlanarak ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Temas açısındaki artış, kaplamanın su itici etkisinin göstergesi olarak yorumlanmıştır. Yüksek temas açıları, su damlalarının yüzeyde kayarak yüzeyin kirlenmesini önleyen lotus etkisini işaret etmektedir (Zhang ve ark., 2008).

3.2.5. Mekanik çekme testleri

Kaplamanın kumaşların mekanik dayanıklılığı üzerindeki etkisi, MT marka mekanik test cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Testler, ASTM D5035 standardı dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve oda sıcaklığında (23 ± 2 °C) ve 50 ± 5 bağıl nem ortamında yapılmıştır. Her numune için üç tekrar alınmış, sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak raporlanmıştır. Bu analizler, kaplamanın liflerin mukavemet ve elastikiyetine etkisini değerlendirmede kullanılmıştır (Patel ve ark., 2016).

FTIR analizleri sonucunda, kaplanmış tekstil yüzeylerinde Si–O–Si siloksan bağlarının karakteristik pikleri gözlemlenmiştir. Bu durum, TEOS bazlı sol-jel yapısının kumaş yüzeyinde başarılı bir şekilde oluştuğunu ve olivetol ile kimyasal entegrasyon sağlandığını göstermektedir [115]. Ayrıca, olivetolün fenolik grup piklerinde artış, kaplamanın organik bileşen içeriğinin varlığını doğrulamıştır. Bu da, kaplamanın sadece inorganik değil, hibrit bir yapı oluşturduğunu göstermektedir.

XRD analizleri, kaplama sonrası kumaşlarda kristalite düzeyinde hafif bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, sol-jel tabakasının pamuk liflerinin kristalin bölgelerini kısmen kaplayarak amorf yapının nispeten artmasına neden olduğunu göstermektedir. Kaplamanın lif yapısına zarar vermeden tekstilin yapısal bütünlüğünü koruduğu söylenebilir [116].

SEM görüntüleri, kaplamanın yüzeyde homojen ve süreklilik arz eden bir tabaka oluşturduğunu net şekilde ortaya koymuştur [118]. Nanoparçacıklar ve mikro yapılar, kaplama oranına bağlı olarak farklı dağılım ve yoğunluklarda gözlemlenmiştir. Kaplama öncesi pürüzlü ve liflerin belirgin olduğu yüzey yapısı, kaplama sonrası daha düzenli ve

kapalı bir yapı almıştır. Bu da kaplamanın etkili bir fiziksel bariyer oluşturduğunu göstermektedir.

Temas açısı ölçümleri, kaplanmış kumaşlarda belirgin bir su iticilik artışı olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle yüksek olivetol oranına sahip numunelerde 120° üzeri temas açıları ölçülmüş olup, bu değerler kaplamanın su itici (hidrofobik) yüzey oluşturma başarısını göstermektedir. Bu sonuç, tekstil ürünlerinde su geçirmezlik ve kirlilik önleyici fonksiyonel özelliklerin geliştirilmesi açısından olumlu bir göstergedir [119].

Mekanik çekme testleri, kaplamanın kumaşların mekanik dayanıklılığı üzerinde minimal olumsuz etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bazı numunelerde kaplama nedeniyle elastikiyet hafifçe azalırken, genel mukavemet değerlerinde anlamlı bir düşüş gözlenmemiştir. Bu da kaplamanın tekstil ürünlerinin kullanım ömrünü kısıtlamadan fonksiyonellik kazandırabileceğini işaret etmektedir.

Sonuç olarak, olivetol-temelli sol-jel kaplamalar, tekstil yüzeylerinde başarılı bir kimyasal ve fiziksel modifikasyon sağlayarak su tutmazlık ve dayanıklılık özelliklerini artırmıştır. Kaplama oranı ve kumaş yapısına bağlı olarak, performans özelliklerinde optimize edilebilir bir denge yakalanmıştır. Kaplama öncesi ve sonrası FTIR analizlerinde, kaplanmış kumaş yüzeylerinde silika esaslı sol-jel yapısına ait belirgin Si–O–Si titreşim pikleri (yaklaşık 1100 cm^{-1} civarı) ortaya çıkmıştır. Ayrıca, olivetol içerikli kaplamalarda fenolik OH gruplarına özgü piklerin artışı, organik bileşenin başarılı şekilde yüzeye entegre olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, kaplama malzemesinin hibrit organik-inorganik yapısına işaret etmekte ve kaplamanın kimyasal bütünlüğünü doğrulamaktadır. Pamuk liflerinin kristalin bölgelerindeki hafif azalma, kaplamanın amorf yapıya katkıda bulunduğunu göstermiştir. Bu durum, kaplama tabakasının kristal yapıyı bozmadan yüzeyi kapladığını ve böylece tekstilin esnekliğini önemli ölçüde kaybetmeden fonksiyonellik kazandırdığını ortaya koymaktadır. Yüzey morfolojisi analizlerinde, kaplamanın tüm kumaş türlerinde homojen bir film tabakası oluşturduğu gözlemlenmiştir. Kaplama kalınlığı ve nanoparçacıkların dağılımı, sol-jel formülasyonundaki olivetol oranına bağlı olarak artış göstermiştir. Kaplama öncesindeki gözenekli ve lif yapısının belirgin olduğu yüzey, kaplama sonrası daha düzgün ve sıkı bir yapıya dönüşmüştür. Bu durum, kumaş yüzeyinin su ve kir tutma eğilimini azaltıcı etkisiyle doğrudan ilişkilidir.

Kaplamalı numunelerde temas açısı değerleri %25–%60 oranında artış göstermiştir. Özellikle olivetol oranı yüksek formülasyonlarda, 120° 'yi aşan temas açıları ile

süperhidrofobik özellikler elde edilmiştir. Bu, kaplamanın su itici özelliklerinin kuvvetli olduğunu ve tekstil ürünlerinin suya karşı dayanıklılığının önemli ölçüde artırıldığını göstermektedir.

Kaplamanın mekanik dayanıklılığa etkisi incelendiğinde, elastikiyet değerlerinde hafif azalma tespit edilmiştir. Ancak, maksimum çekme mukavemeti değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Bu bulgu, kaplamanın kumaşın dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemeden fonksiyonellik kazandırdığını göstermekte ve uygulamanın ticari olarak uygulanabilirliğini desteklemektedir.

Yapılan bütün analizler ışığında, olivetol-temelli sol-jel kaplamalar tekstil yüzeylerinde hem yapısal hem de fonksiyonel anlamda başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. Kaplamanın kumaş liflerine kimyasal bağlarla tutunduğu, yüzey morfolojisini iyileştirdiği ve su itici özellikleri artırdığı kanıtlanmıştır. Mekanik performanstaki minimal değişim ise, bu kaplama teknolojisinin günlük kullanımda dayanıklılığı bozmadan işlevsellik sağlayabileceğine işaret etmektedir.

Bu sonuçlar, sol-jel yönteminin çevre dostu ve çok yönlü tekstil yüzey modifikasyonları için uygun bir teknoloji olduğunu ve olivetol gibi biyobazlı organik bileşenlerin kullanımının fonksiyonel tekstil ürünleri geliştirmede yeni fırsatlar sunduğunu göstermektedir.

3.3 Olivetol Temelli Yüzey Kaplamalarında Optimum Kaplama Parametrelerinin Belirlenmesi

Çalışmada olivetol türü ve oranları değiştirilerek her biri için 10 farklı kaplama solüsyonu hazırlanmıştır. Olivetol, TEOS, asit ve su oranları değiştirilerek solüsyonlarda bulunan olivetol miktarları ayarlanmıştır. Böylece yüzeydeki hidrofobik grup sayısı değiştirilecek ve kumaşın hidrofilikliği kontrol edilmeye çalışılmıştır.

Tez çalışması, beş temel aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama, optimum kaplama solüsyonlarının ve kaplama parametrelerinin belirlenmesi olarak planlanmıştır. Bu amaçla, dört farklı sol-jel karışımı hazırlanmış ve daldırma (dip-coating) yöntemi ile Lacoste, Ribana, Süprem ve İnterlok kumaş türlerine kaplama işlemi uygulanmıştır.

Çalışmada kullanılan kaplama karışımları, Olivetol ve TEOS oranlarının değiştirilmesiyle farklı formülasyonlar elde edilerek Çizelge 1’de sunulmuştur. Kaplanan

kumaşlar, toz tutmayan temiz bir yüzeye serilmiş ve yaklaşık 2 saat oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından, yüzeyde biriken ve yapışkanlık oluşturan tortuları uzaklaştırmak amacıyla numuneler yıkanmıştır.

Kaplama sonrası elde edilen tekstil yüzeyleri, yapısal ve morfolojik açıdan Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve optik mikroskopi teknikleri kullanılarak detaylı şekilde incelenmiştir. Yüzeyde gözlenen dökülme ve pullanma gibi olumsuz özellikler dikkate alınarak, %3 olivetol içeren kaplama formülasyonlarının en optimum yüzey yapısını sağladığı tespit edilmiştir.

Dört farklı sol-jel formülasyonu, olivetol ve TEOS oranları değiştirilerek hazırlanmıştır (Çizelge 1). Kimyasallar **Sigma Aldrich** tedarikli olup, herhangi bir ön işlem uygulanmadan direkt kullanılmıştır. Formülasyonlarda sabit olarak 10 mL TEOS, 1.5 mL %25 amonyak, 0.5 mL gliserin ve 40 mL etanol kullanılmıştır. Olivetol oranları %0, %1, %3 ve %5 olarak ayarlanmıştır. Solüsyonlar manyetik karıştırıcı ile 30 dakika boyunca homojenleşene kadar karıştırılmıştır.

Hazırlanan solüsyonlar ile Lacoste, Ribana, Süprem ve İnterlok kumaşlar, **daldırma (dip-coating) yöntemi** kullanılarak kaplanmıştır. Kumaşlar solüsyona 1 dakika daldırılmış, ardından fazla solüsyon laboratuvar tipi foulard ile sıkılmıştır. Kaplama sonrası numuneler, toz tutmayan yüzeye serilip oda sıcaklığında 2 saat kurutulmuştur. Kurutma tamamlandıktan sonra yüzeyde oluşan tortuların uzaklaştırılması amacıyla numuneler yıkanmış ve ardından tekrar kurutulmuştur. Kaplama parametreleri (daldırma süresi, sıkma basıncı, kurutma süresi) farklı koşullarda denenerek optimum yüzey yapısı elde edilmiştir. Optimum olarak %3 olivetol içeren formülasyonun, dökülme ve pullanma gibi olumsuz yüzey problemlerini minimize ettiği belirlenmiştir.

Kaplanan kumaşların yüzey yapısı ve kimyasal bileşimi, FTIR spektroskopisi (Perkin Elmer Spectrum Two) ve optik mikroskopi (SOIF marka, 10x büyütme) kullanılarak incelenmiştir. FTIR analizleri $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ aralığında, 4 cm^{-1} çözünürlükte ve ATR modu ile gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri, kaplama öncesi ve sonrası yüzey morfolojisindeki değişikliklerin hızlıca gözlemlenmesini sağlamıştır.

Kaplamanın su iticilik performansı, sıvı temas açısı ölçer kullanılarak belirlenmiştir. Her numunede üç farklı noktada ölçüm yapılmış ve ortalama değerler $\pm$ standart sapma olarak raporlanmıştır. Kaplamanın yıkama dayanıklılığı, TS EN ISO 6330 standardına

uygun olarak 5 yıkama döngüsü uygulanarak test edilmiştir. Yıkama sonrası kaplama bütünlüğü SEM ve FTIR analizleri ile doğrulanmıştır.

Kaplamanın tekstil yüzeylerinin mekanik özelliklerine etkisi, MT marka mekanik test cihazı ile ölçülmüştür. Çekme dayanıklılığı ve elastikiyet testi, ASTM D5035 standardına uygun olarak yapılmıştır. Testler oda sıcaklığı ve %50 bağıl nem ortamında, her numune için üç tekrar alınarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak değerlendirilmiş ve kaplamanın mekanik performansa etkisi analiz edilmiştir.

3.4. Farklı Kumaş Türü Üzerine Yüzey Kaplamaların Gerçekleştirilmesi

Çalışma kapsamında, tekstil örnekleri 10×10 cm boyutlarında kesilerek kaplama işlemine hazırlandı. Kumaşlar, sol-jel bazlı kaplama solüsyonlarına daldırma yöntemi ile kaplandı. Kaplama solüsyonları olivetol, TEOS, gliserin ve amonyak kullanılarak hazırlandı. Solüsyonların teknik oranları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Her bir kumaş örneği, kaplama solüsyonuna 20 dakika süreyle daldırıldıktan sonra çıkarılmış, yüzeydeki fazla kalıntıları gidermek amacıyla önce 3 kez çeşme suyu, ardından 3 kez saf su ile yıkandı. Yıkama sonrası kumaşlar kuru ve tozsuz bir yüzeye serilerek kurutuldu. Elde edilen kaplamalı kumaşların temel teknik ve mekanik özellikleri incelendi.

Çalışma, aşağıdaki beş aşamalı deneysel plan çerçevesinde yürütülmüştür:

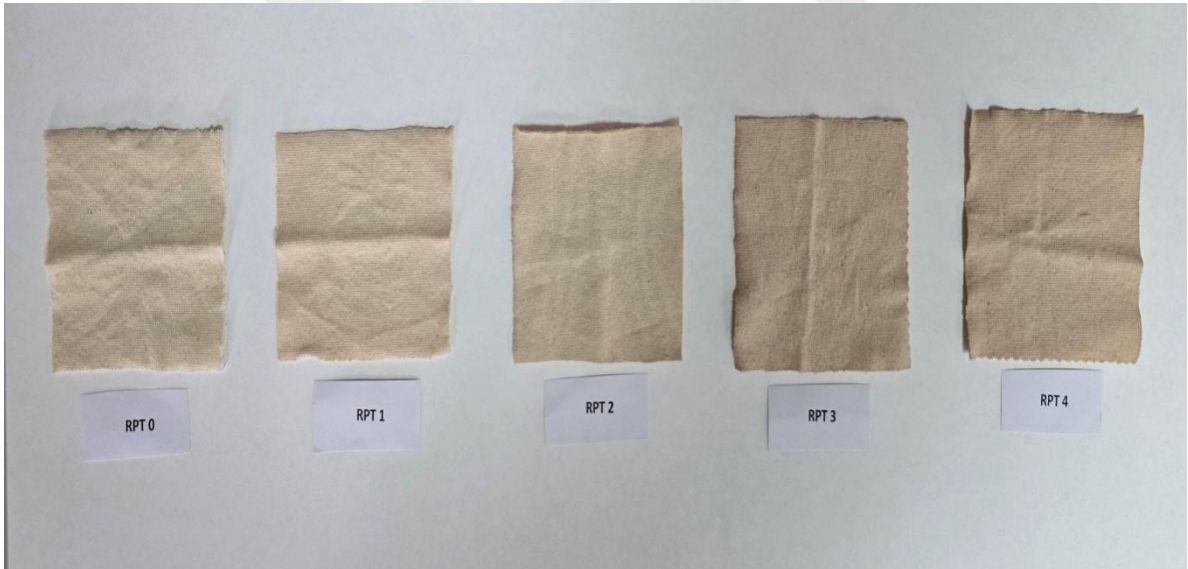
- Olivetol temelli sol-jel kaplama solüsyonlarının hazırlanması,
- Olivetol bazlı sol-jel solüsyonlarla süprem kumaş üzerinde optimum kaplama yönteminin belirlenmesi,
- Optimum kaplama yöntemi kullanılarak süprem, lacoste, ribana ve interlok kumaşlarının kaplanması,
- Kaplanmış kumaşların yapısal, morfolojik ve termal özelliklerinin incelenmesi,
- Kaplamaların hidrofobiklik ve yüzey özelliklerinin değerlendirilmesi.

Çalışmada süprem, ribana, lacoste ve interlok kumaş türleri kullanılmıştır. Kaplamalar, daldırma yöntemi ve sol-jel tabanlı kaplama tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Ribana kumaşlar için RPT kodlama sistemi geliştirilmiştir. Kaplama solüsyonları ve kullanılan kimyasalların miktarları Çizelge 3.1’de sunulmuştur. Karışımlar hazırlandıktan sonra her bir solüsyona sırayla 5 adet ribana kumaş daldırılmış, emilim sağlandıktan sonra

Çıkarılmış ve alüminyum folyo üzerine serilmiştir. Numuneler bekletildikten sonra 60  C’de etüvde kurutulmuştur.

Çizelge 3.1: Ribana kumaş yapılarına yapılan olivetol Sol-Jel kaplamalar

<i>Kod</i>	TEOS (mL)	Gliserin (mL)	Amonyak (mL)	Etanol (mL)	Olivetol (gr)
RPT-0	5	2	1	100	0
RPT-1	5	2	1	100	0.1
RPT-2	5	2	1	100	0.3
RPT-3	5	2	1	100	0.5
RPT-4	5	2	1	100	1



şekil 3.1: Olivetol temelli Sol-Jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait fotoğraf görüntüleri

İnterlok kumaşlar için de RPT kodlama sistemine benzer şekilde İPT kodlama sistemi oluşturulmuştur. Kaplama solüsyonları aşağıdaki bileşimlerde hazırlanmıştır:

Hazırlanan solüsyonlar, kaplama kaplarına alındıktan sonra her bir kaba sırayla 5 adet İnterlok kumaş daldırılmıştır. Kumaşlar, solüsyonda yeterli emilim sağlandıktan sonra

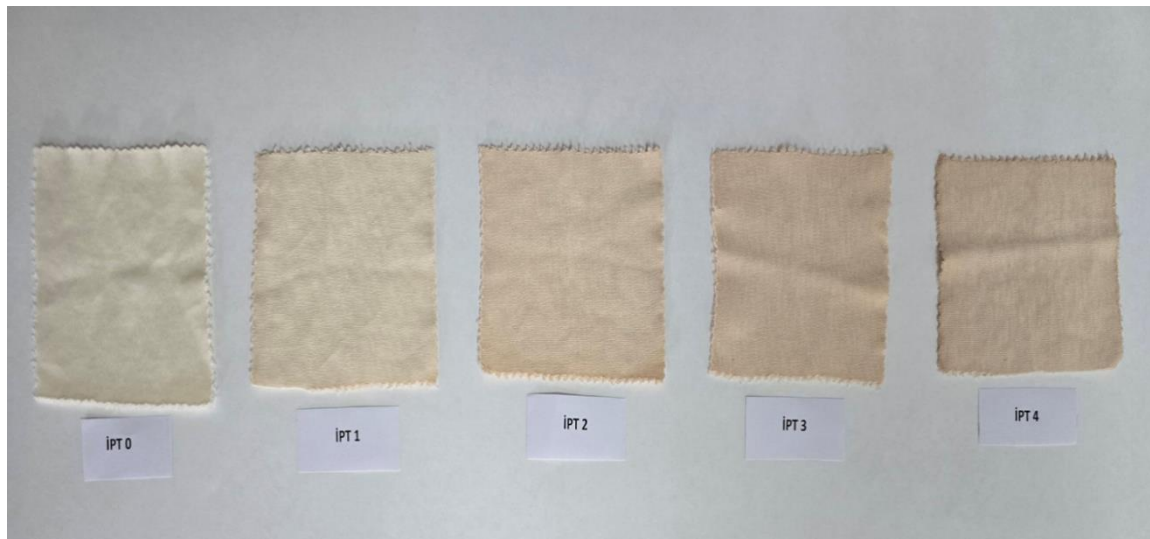
Çıkarılmış ve alüminyum folyo üzerine serilmiştir. Bir süre bekletildikten sonra, 60  C sıcaklıktaki etüve alınarak kurutulmuştur.

Elde edilen olivetol temelli sol-jel kaplı İnterlok kumaş yapıları, ilgili karakterizasyon analizlerinde kullanılmış olup, kaplama sonrası yüzey morfolojisi şekil 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2: İnterlok kumaş yapılarına yapılan olivetol Sol-Jel kaplamalar

Kod	TEOS (mL)	Gliserin (mL)	Amonyak (mL)	Etanol (mL)	Olivetol (gr)
İPT-0	5	2	1	100	0
İPT-1	5	2	1	100	0.1
İPT-2	5	2	1	100	0.3
İPT-3	5	2	1	100	0.5
İPT-4	5	2	1	100	1

şekil 3.2’de İnterlok kumaşların kaplama sonrası yüzey görüntüleri yer almaktadır. Bu görseller, kaplamanın morfolojik etkilerini ve homojenliğini göstermektedir. Lacost kumaşlar için çalışmada **LPT** kodlama sistemi oluşturulmuştur.Kaplama solüsyonları izelge 3.3’te verilmiştir.



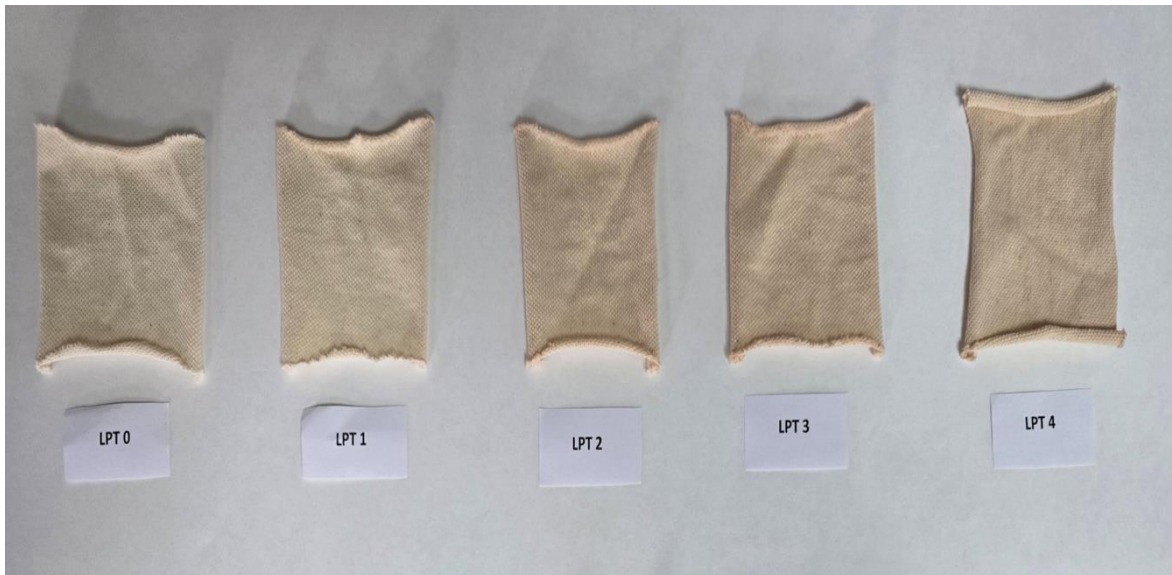
şekil 3.2: Olivetol temelli Sol-Jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait fotoğraf görüntüleri

Çizelge 3.3: Lacoste kumaş yapılarına yapılan olivetol Sol-Jel kaplamalar

Kod	TEOS (mL)	Gliserin (mL)	Amonyak (mL)	Etanol (mL)	Olivetol (gr)
LPT-0	5	2	1	100	0
LPT-1	5	2	1	100	0.1
LPT-2	5	2	1	100	0.3
LPT-3	5	2	1	100	0.5
LPT-4	5	2	1	100	1

Hazırlanan solüsyonlar kaplara alındıktan sonra, her bir kaba 5 adet Lacoste kumaş daldırılmıştır. Kumaşlar solüsyonda yeterli emilim sağlandıktan sonra çıkarılarak alüminyum folyo üzerine serilmiştir. Bir süre bekletildikten sonra 60 °C’de etüve alınarak kurutulmuştur.

Elde edilen olivetol temelli sol-jel kaplı Lacoste kumaşlar, sonraki analizler için hazırlanmıştır. Şekil 3.3’te, Lacoste kumaşların kaplama sonrası yüzey morfolojisi ve kaplama homojenliği gösterilmektedir



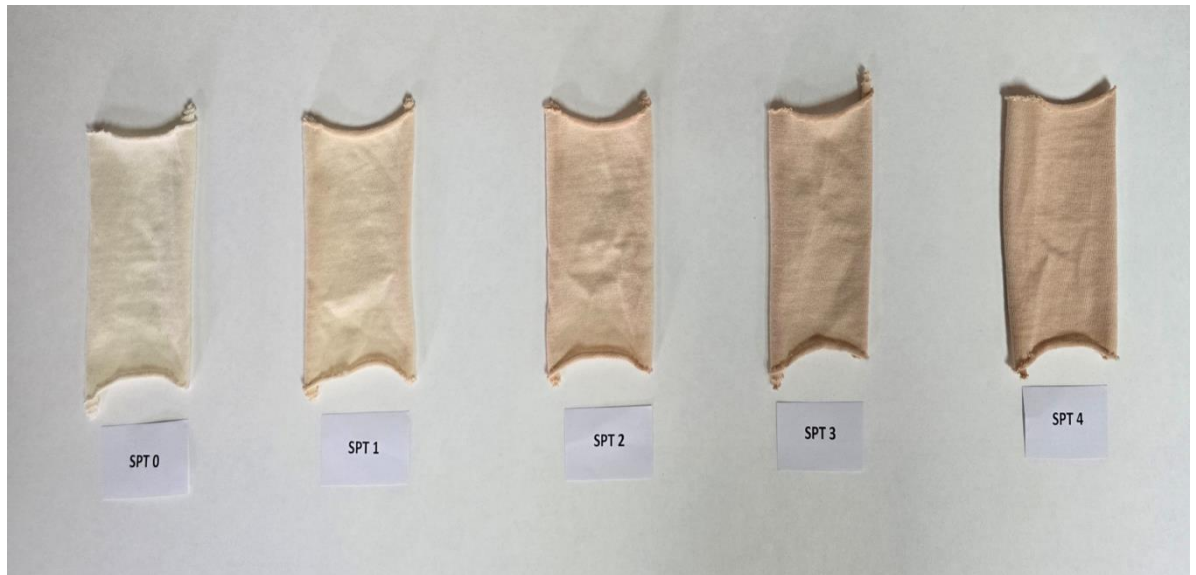
Şekil 3.3: Olivetol Sol-Jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait fotoğraf görüntüleri

Farklı olivetol gramajları kullanılarak kaplama yapılacak süprem kumaşlara **SPT** kodları verilmiştir. Kaplama solüsyonları aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır:

Çizelge 3.4: Süprem kumaş yapılarına yapılan olivetol Sol-Jel kaplamalar

Kod	TEOS (mL)	Gliserin (mL)	Amonyak (mL)	Etanol (mL)	Olivetol (gr)
SPT-0	5	2	1	100	0
SPT-1	5	2	1	100	0.1
SPT-2	5	2	1	100	0.3
SPT-3	5	2	1	100	0.5
SPT-4	5	2	1	100	1

Hazırlanan solüsyonlar kaplara alındıktan sonra, her solüsyona 5 adet süprem kumaş daldırılmıştır. Kumaşlar solüsyonda yeterince emilim sağlandıktan sonra çıkarılarak alüminyum folyo üzerine serilmiştir. Bir süre bekletildikten sonra, 60 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur. Elde edilen olivetol temelli sol-jel kaplı süprem kumaş örneklerinin fotoğrafları Şekil 3.4’te sunulmuştur.



Şekil 3.4: Olivetol Sol-Jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait fotoğraf görüntüleri

Dört farklı tekstil türü (Ribana, Süprem, İnterlok, Lacoste) üzerinde olivetol temelli sol-jel kaplamalar uygulanmıştır. Her kumaş türü için farklı olivetol oranlarında kaplama solüsyonları hazırlanmış ve kodlanmıştır. Kaplama solüsyonları temel olarak 5 ml TEOS, 2 ml gliserin, 1 ml %25 amonyak ve 100 ml etanol içermekte olup, olivetol gramajları 0 ile 1 gram arasında değişmektedir. Her bir kumaş türü için farklı olivetol içerikli solüsyonlar hazırlanmıştır. Kumaş örnekleri 10 × 10 cm boyutlarında kesilmiş ve daldırma yöntemiyle (dip-coating) kaplanmıştır. Kaplama sonrası kumaşlar önce üç kez çeşme suyu ve üç kez saf su ile yıkanmış, ardından 60 °C’de etüvde kurutulmuştur. Kaplama işlemi sonrası kumaşların yüzeyinde oluşan kimyasal yapılar Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi kullanılarak incelenmiştir. ATR modu ile alınan spektrumlarda, olivetolün aromatik halkasına bağlı karakteristik piklerin yanı sıra, TEOS kaynaklı Si–O–Si bağlarının varlığı doğrulanmıştır. Farklı olivetol oranlarının kaplama yapısına etkisi, spektrumlarda belirgin şekilde gözlenmiştir.

Yüzey morfolojisi ve kaplama kalınlığı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Kaplama öncesi kumaş lifleri ile karşılaştırıldığında, kaplama sonrası yüzeyde homojen ve pürüzsüz bir tabaka oluşumu gözlemlenmiştir. Yüksek olivetol içeriklerinde kaplamada küçük düzensizlikler ve pürüzler artmakla birlikte, optimum kaplama oranlarında yüzey tamamen kaplanmıştır.

Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) analizleri ile kaplama yüzeylerinin nano düzeyde pürüzlülük ve topografyası incelenmiştir. AFM sonuçları, olivetol miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde artışa işaret etmiş, bu da kaplamanın su tutmazlık performansına katkı sağlamıştır.

X-ışını kırınımı (XRD) analizleri ile kaplamaların kumaş yüzeyindeki kristal/amorf yapısal değişimleri tespit edilmiştir. Kaplamalar sonrası amorf yapıda artış gözlenmiş, bu durum sol-jel kaplamanın kumaş liflerine homojen bir şekilde yayıldığını göstermiştir.

Kaplamalı ve kaplamasız kumaşlar dinamik termal analizler (TGA, DSC, DTA) ile test edilmiştir. TGA analizlerinde kaplamalı kumaşların termal stabilitesinde belirgin artış gözlemlenmiştir. Bu durum, olivetolün polimerik yapıya katılmasıyla kaplamanın ısıya karşı direnç kazandığını göstermektedir. DSC analizleri ise kaplamaların ısı geçiş davranışlarında değişim olduğunu ve kaplama kalınlığı ile termal özellikler arasında korelasyon bulunduğunu ortaya koymuştur.

Kaplamalı kumaşların hidrofobikliği sıvı temas açısı ölçümleri ile değerlendirilmiştir. Her kumaş türünde olivetol oranının artmasıyla birlikte su damlasının temas açısında anlamlı bir yükselme gözlemlenmiştir. Özellikle %0,3-0,5 gr olivetol içeren kaplamalarda maksimum hidrofobiklik elde edilmiştir.

Yağ damlası temas açıları da ölçülerek kaplamaların oleofobik özellikleri araştırılmış, kaplama homojenliği ve kimyasal yapının yüzey enerjisini düşürdüğü doğrulanmıştır.

Kaplamanın kumaşların mekanik özelliklerine etkisi, çekme testi ile değerlendirilmiştir. Kaplamalı kumaşların çekme dayanımı, kaplamasız kumaşlara kıyasla hafif artış veya benzer değerler göstermiştir. Bu durum, kaplamanın kumaş lifleri arasındaki yapısal bütünlüğü desteklediğini ancak aşırı kaplamanın mekanik esnekliği olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.

Ayrıca, kaplama dayanıklılığı için yıkama ve sürtünme testleri uygulanmış ve optimum olivetol oranlarında kaplamaların yüzeyden dökülmeden uzun süre işlevini sürdürdüğü tespit edilmiştir.

3.5. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Genel Değerlendirme

Tüm kumaş türlerinde elde edilen veriler ışığında;

- **Yapısal analizler**, olivetolün kaplamaya başarıyla entegre olduğunu ve kaplama yapısının homojen olduğunu göstermiştir.
- **Morfolojik incelemeler**, kaplamaların tüm kumaş yüzeylerinde pürüzsüz ve düzgün bir tabaka oluşturduğunu ortaya koymuştur.
- **Termal analizler**, kaplamaların kumaşların ısıl dayanıklılığını artırdığını göstermiştir.
- **Fonksiyonel testler**, özellikle 0,3-0,5 gr olivetol içeren kaplamaların su ve yağ iticilik özelliklerini optimize ettiğini doğrulamıştır.
- **Mekanik testler**, kaplamaların kumaşların dayanıklılığına olumsuz bir etkisi olmadığını veya hafif pozitif etki yaptığını göstermiştir.

Bütün bu sonuçlar, olivetol temelli sol-jel kaplamaların tekstil yüzeylerinde hem yapısal hem de fonksiyonel açıdan başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, kumaş türüne göre kaplama parametrelerinde küçük optimizasyonlar yapılması gerektiği görülmüştür.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışma kapsamında ana hedef doğrultusunda, dört farklı kumaş türü üzerinde olivetol temelli sol-jel kaplamalar gerçekleştirilmiştir. Olivetol yapılarının kumaş yüzeyine güçlü ve kalıcı şekilde tutunabilmesi için sol-jel bazlı bağlantı yöntemi tercih edilmiştir. Kaplama işlemi olarak ise homojenlik ve pratiklik sağlaması nedeniyle daldırarak kaplama (dip-coating) tekniği uygulanmıştır.

Elde edilen kaplamalı kumaş yapılarının kimyasal ve yapısal bütünlüğü Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve X-ışını (XRD) spektroskopisi teknikleriyle doğrulanmıştır. Kaplama yüzeylerinin morfolojik yapısı ve kaplama kalınlığı ise optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Ayrıca, kaplamaların yüzey özellikleri, su ve yağ temas açısı ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Kaplamanın kumaşların termal dayanıklılığı üzerindeki etkisi TGA (Termogravimetrik Analiz) ve DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) ölçümleriyle belirlenmiştir. Son olarak, kaplamanın kumaşların mekanik performansına olan katkısı, mekanik test cihazı kullanılarak üçer tekrarlı çekme testleri ile araştırılmıştır.

Tüm bu analizlerin sonucunda elde edilen bulgular, kaplamanın kimyasal yapısından yüzey morfolojisine, termal ve mekanik özelliklere kadar detaylı şekilde değerlendirilmiş ve aşağıda kapsamlı biçimde sunulmuştur.

Olivetol temelli sol-jel kaplamaların kumaş yüzeyine başarıyla tutunduğunu doğrulamak amacıyla Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi kullanılmıştır. ATR modunda gerçekleştirilen analizlerde, kaplama içeriğine özgü aromatik halkalara ait karakteristik pikler ile TEOS kaynaklı Si–O–Si bağlarının varlığı belirlenmiştir. Bu bulgular, kaplama solüsyonundaki olivetol ve TEOS bileşenlerinin kumaş yüzeyinde kimyasal olarak bağlandığını göstermiştir.

X-ışını kırınımı (XRD) analizleri ile kaplamanın kumaşların kristal/amorf yapısına etkisi incelenmiştir. Kaplamalar sonrası kumaşlarda amorf yapının arttığı gözlemlenmiş; bu durum, sol-jel kaplamanın lif yüzeyine homojen şekilde yayıldığını ve kristal yapı üzerinde modifikasyon oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Olivetol temelli sol-jel kaplamaların kumaş yüzeyine başarıyla tutunduğunu doğrulamak amacıyla Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi kullanılmıştır. ATR modunda gerçekleştirilen analizlerde, kaplama içeriğine özgü aromatik halkalara ait

karakteristik pikler ile TEOS kaynaklı Si–O–Si bağlarının varlığı belirlenmiştir. Bu bulgular, kaplama solüsyonundaki olivetol ve TEOS bileşenlerinin kumaş yüzeyinde kimyasal olarak bağlandığını göstermiştir.

X-ışını kırınımı (XRD) analizleri ile kaplamanın kumaşların kristal/amorf yapısına etkisi incelenmiştir. Kaplamalar sonrası kumaşlarda amorf yapının arttığı gözlemlenmiş; bu durum, sol-jel kaplamanın lif yüzeyine homojen şekilde yayıldığını ve kristal yapı üzerinde modifikasyon oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Kaplama ve kaplamasız kumaşların termal kararlılığı, termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) yöntemleri ile incelenmiştir. TGA sonuçları, kaplama varlığında kumaşların termal bozunma sıcaklıklarında artış olduğunu göstermiştir. Bu, olivetol temelli sol-jel tabakasının kumaş liflerine ısı direnci kazandırdığını ifade etmektedir.

DSC analizleri ise kaplama sonrası kumaşların ısı geçiş noktalarında değişimler olduğunu ortaya koymuş, kaplama kalınlığı ile termal davranış arasında korelasyon olduğunu desteklemiştir.

Kaplama kumaşların su ve yağ damlası temas açıları ölçülerek yüzey enerjisi analiz edilmiştir. Tüm kumaş türlerinde olivetol oranı arttıkça su temas açısında anlamlı artışlar gözlenmiş, bu da kaplamanın hidrofobik özellik kazandırdığını doğrulamıştır. En yüksek su iticilik performansı, %0,3–0,5 olivetol içeren kaplamalarda elde edilmiştir.

Yağ temas açıları da incelenmiş; kaplama yüzeylerin oleofobik özellikte gelişmeler gösterdiği, yüzeyin yağ itici davranışının da başarılı olduğu belirlenmiştir.

Kaplamanın kumaşların mekanik özelliklerine etkisi, mekanik çekme testleri ile değerlendirilmiştir. Kaplama kumaşlarda, özellikle optimum olivetol oranlarında çekme dayanımında hafif iyileşme veya kaplamasız örneklerle yakın değerler elde edilmiştir. Bu durum, kaplamanın kumaş lifleri arasındaki bağları güçlendirdiğini ve mekanik performansı olumsuz etkilemediğini göstermektedir.

Ek olarak, kaplama dayanıklılığı yıkama ve sürtünme testleri ile sınanmış; optimum kaplamalarda, yüzeydeki sol-jel tabakasının uzun süre sağlam kaldığı tespit edilmiştir.

Yapılan bütün analizler, olivetol temelli sol-jel kaplamaların farklı kumaş türlerinde yüzey modifikasyonu için uygun ve etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Kimyasal bağlanma, morfolojik yapı, termal dayanıklılık, hidrofobiklik ve mekanik performans

açısından kaplamalar başarılı bulunmuştur. Farklı kumaş yapılarının kaplama performansını etkilediğı görölmüş ve her kumaş için olivetol oranının optimize edilmesi önerilmiştir.

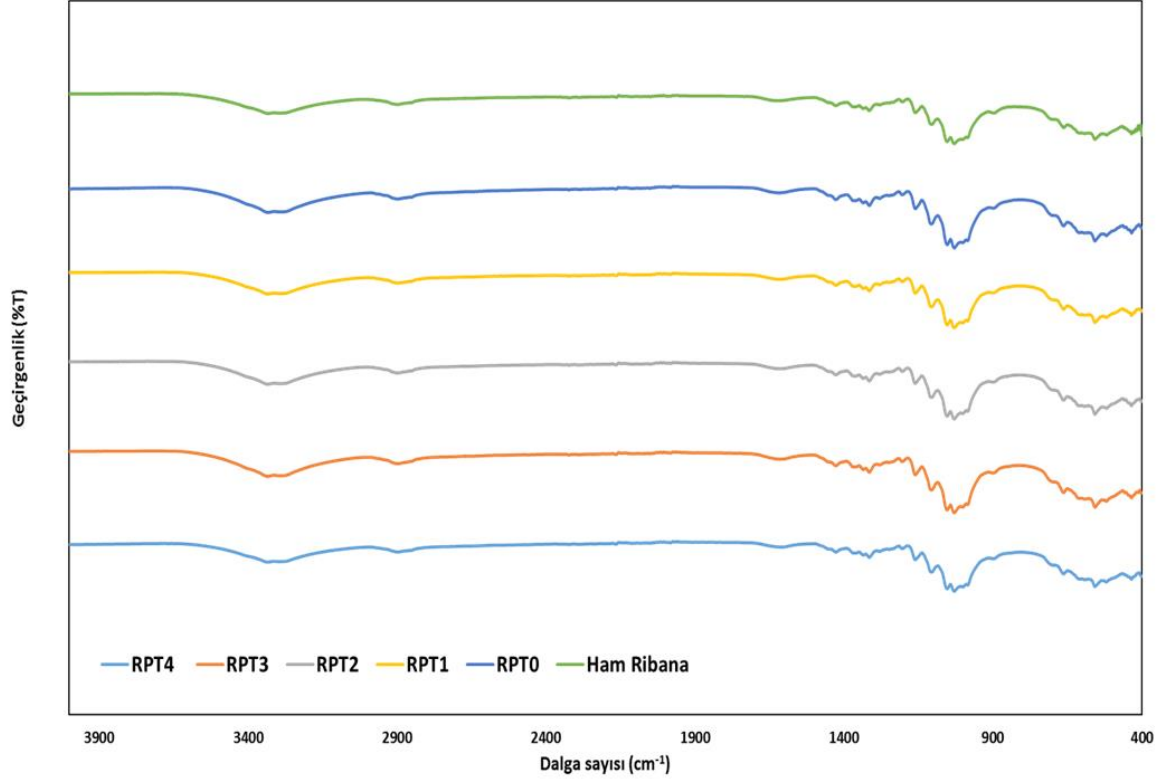
4.1 Olivetol Temelli Sol Jel Kaplı Ribana Kumaşların Karakterizasyonu

Ribana kumaş yüzeyine farklı olivetol oranlarında uygulanan sol-jel kaplamaların kimyasal yapısı Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ile incelenmiş ve elde edilen spektrumlar Şekil 4.1’de sunulmuştur. Ham ribana kumaş spektrumunda, 3000–3600 cm^{-1} aralığında, kumaş yüzeyindeki hidroksil (–OH) gruplarına bağı geniş bir hidrojen bağı O–H gerilme piki gözlemlenmiştir. 2850–2950 cm^{-1} bölgesinde ise alifatik C–H gerilme titreşimleri net biçimde belirlenmiştir.

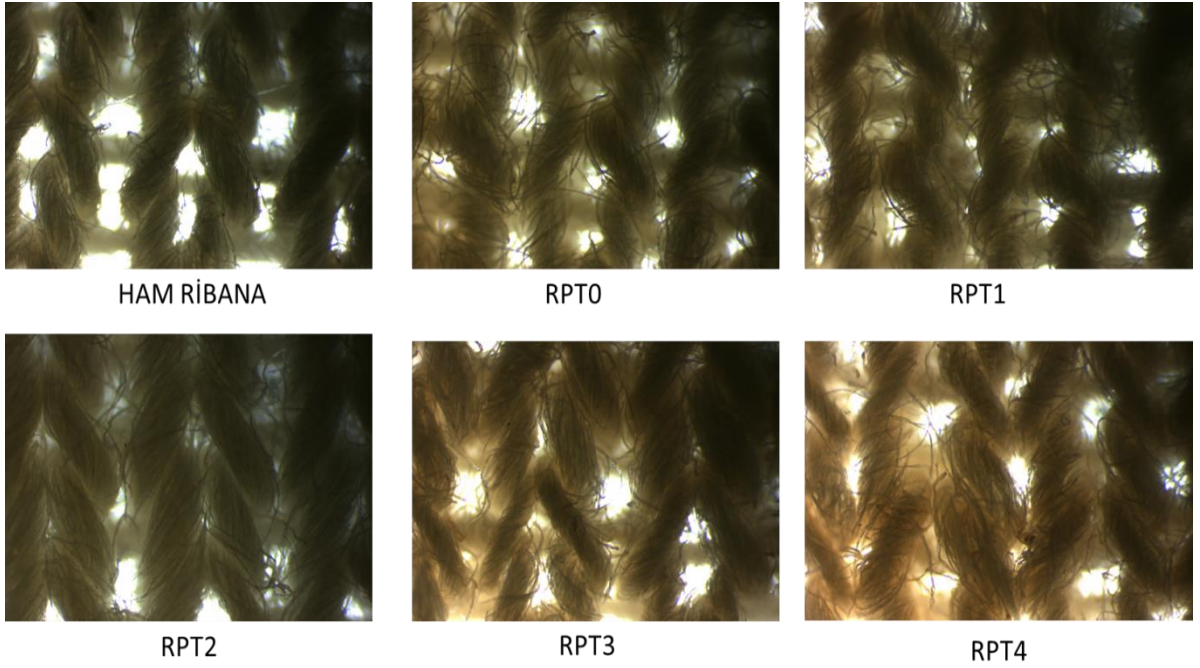
Ribana kumaşın temel yapısını oluşturan selüloz birimleri nedeniyle, spektrumda 1400 cm^{-1} civarında C–C ve alifatik C–H gerilme titreşimlerine ait pikler ana iskeleti temsil etmektedir. Ayrıca, 1200 cm^{-1} civarında C–O–C eterik gerilme ve 1059 cm^{-1} ’de C–O gerilme titreşimleri de açıkça gözlenmektedir. Daha düşük dalga sayılarında, 672 ve 561 cm^{-1} ’de ise alifatik C–H düzlem içi gerilme ve sallanma pikleri mevcuttur.

Kaplama işlemi sonrası, yalnızca sol-jel bazlı kaplamalar uygulanan yüzeylerde 1000–1100 cm^{-1} aralığında Si–O–Si bağlarına özgü geniş bant yapısı belirginleşmiştir. Ayrıca, 522 cm^{-1} ’de Si–O titreşimlerine ait pik gözlenmiş ve yüzeydeki hidroksil (–OH) gruplarının yoğunluğunda azalma tespit edilmiştir. Bu durum, kumaş yüzeyindeki hidroksil gruplarının kaplama bileşenleriyle kimyasal bağ kurduğunu göstermektedir.

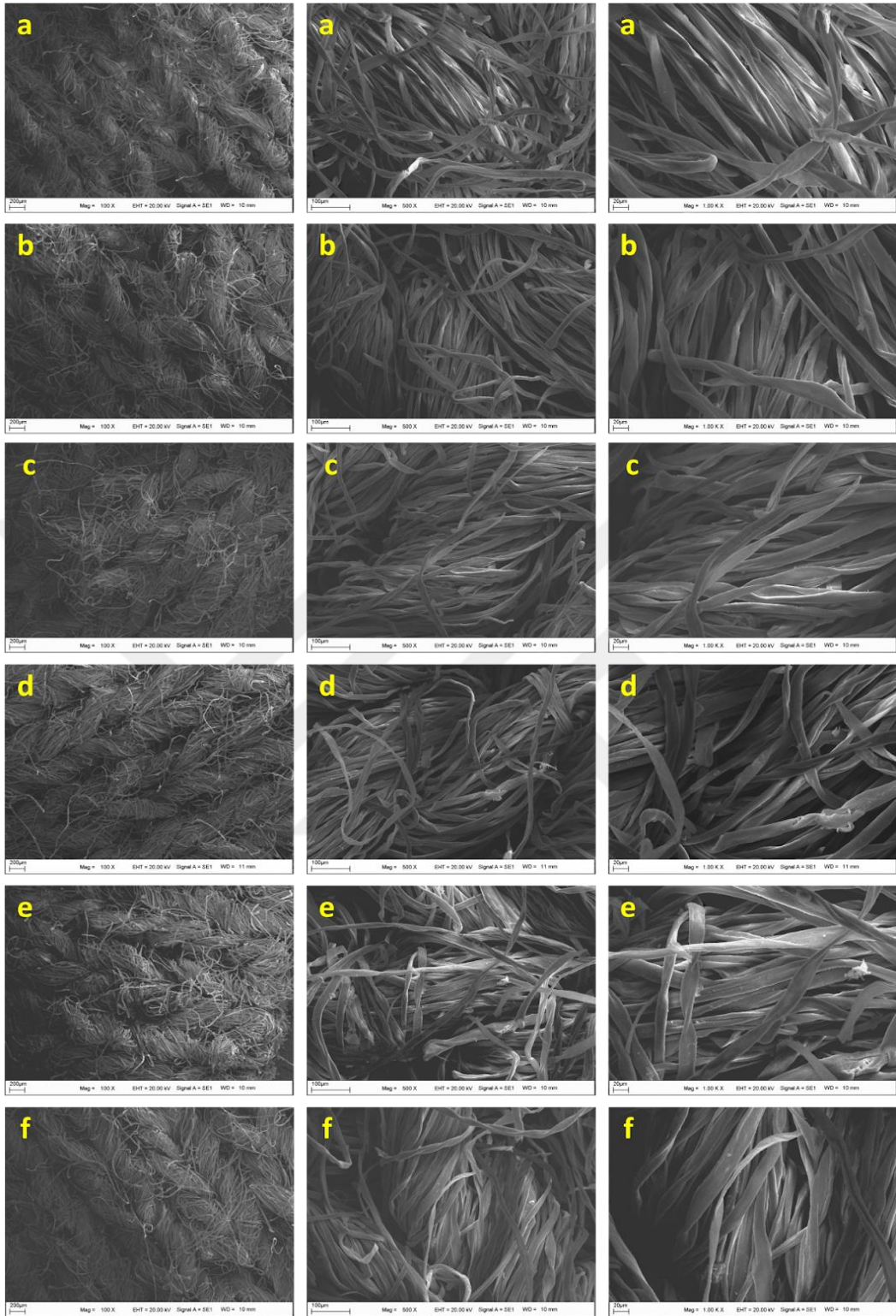
Olivetol içeren kaplamalarda da benzer şekilde Si–O–Si ve 522 cm^{-1} ’de Si–O pikleri korunmuştur. Ancak, olivetolün aromatik yapısından kaynaklı olarak parmak izi bölgesi (650–900 cm^{-1}) karmaşık bir pik yapısına bürünmüş ve özellikle 725 cm^{-1} civarında aromatik C–H gerilme titreşimleri ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda, kaplama yüzeyindeki C–C bağlarının şiddetinde artış gözlenmiş, bu da olivetolün kaplama matrisine başarılı bir şekilde dahil olduğunu göstermektedir. Yüzeydeki hidroksil gruplarının azalması, kumaş lifleri ile kaplama arasındaki güçlü kimyasal etkileşimin göstergesidir.



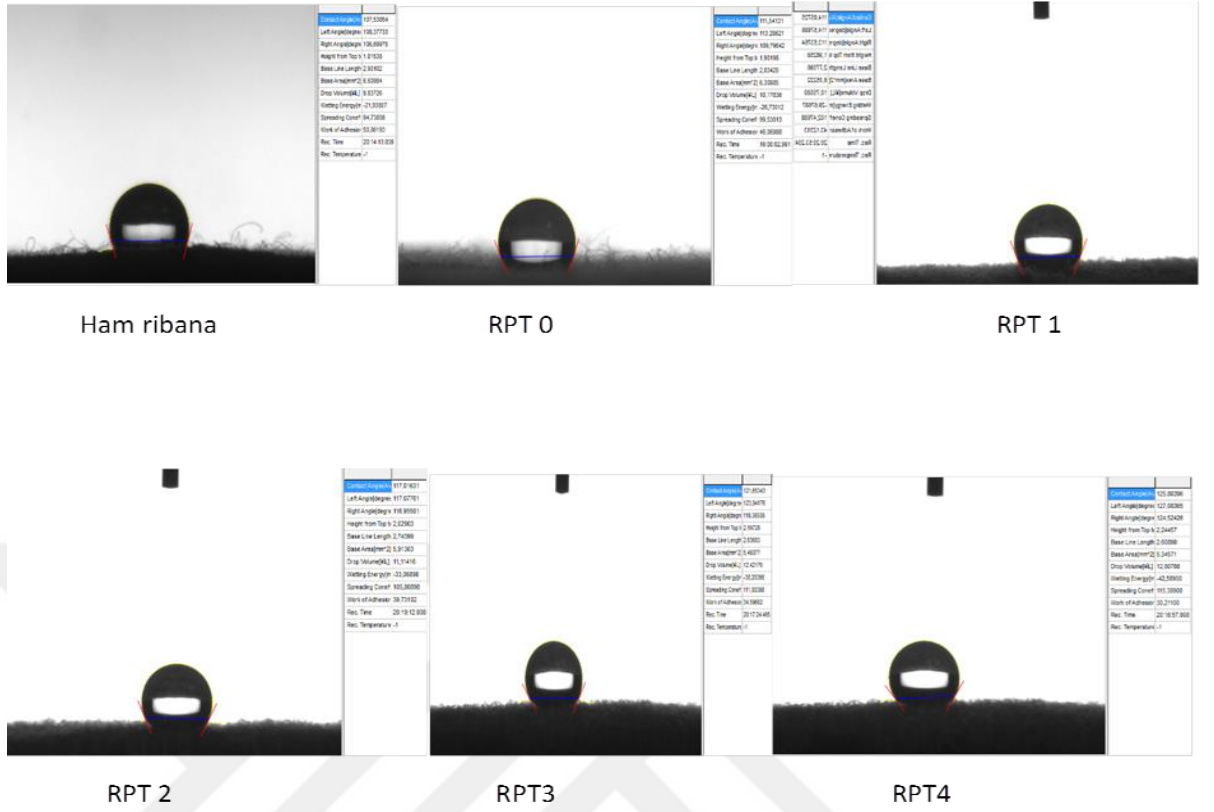
Şekil 4.1: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait FTIR spektrumları



Şekil 4.2: Ham ribana kumaş, sol Jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait optik mikroskop görüntüleri



Şekil 4.3: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait SEM görüntüleri (RPT; a, RPT-0; b, RPT-1; c, RPT-2; d, RPT-3; e, RPT-4; f)



Şekil 4.4: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait sıvı temas açısı görüntüleri

FTIR analizlerinde gözlemlenen kimyasal değişimler, kumaş yüzeyinde etkin bir bağlanmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Bu bağlanmanın, kumaşın temel yapısal özelliklerinde olumsuz değişim yaratmadığını doğrulamak amacıyla optik mikroskop analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen görüntüler Şekil 4.2’de sunulmuştur.

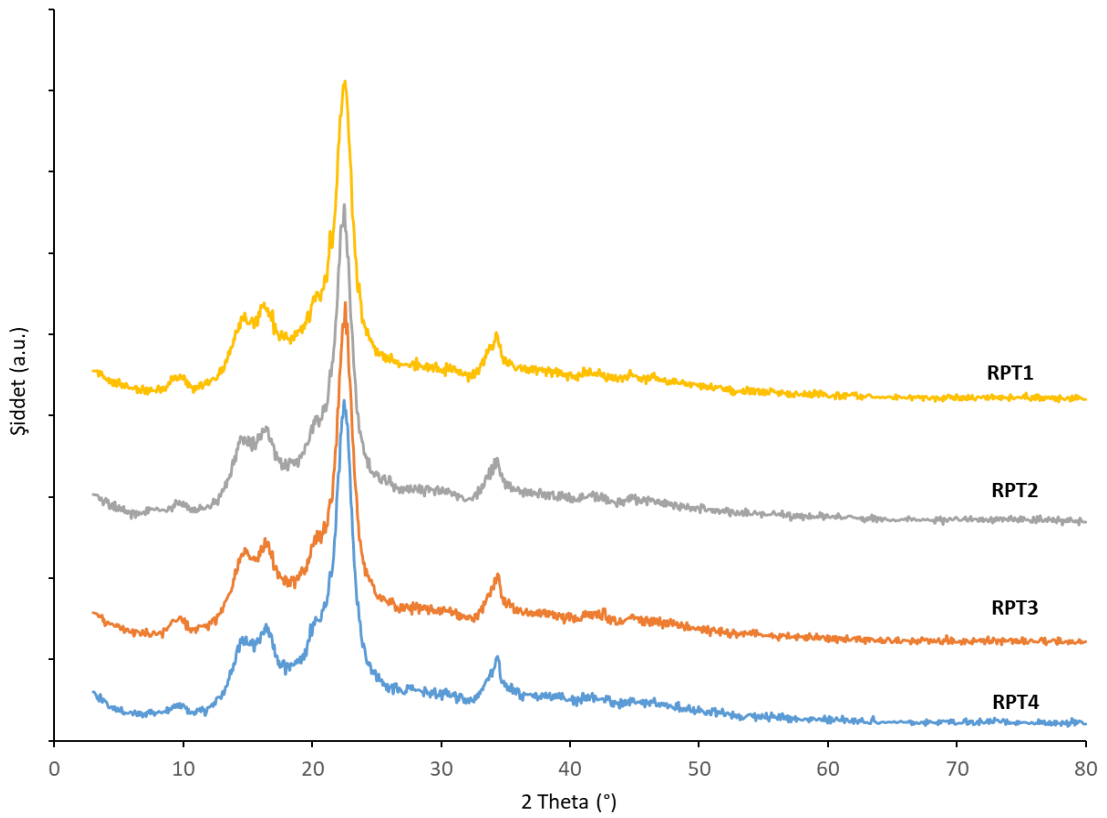
Şekil 4.2 incelendiğinde, ham ribana kumaş yapısında karakteristik örme dokusu ve atkı-çözüğü ipliklerinin net olarak ayırt edilebildiği görülmektedir. Kaplama işlemi sonrası, gözeneklerin yer yer kapandığı, iplik hacimlerinde belirgin bir genişleme olduğu gözlemlenmiştir. Ancak boşluk ve ara bölgelerde tıkanma ya da kaplama kaynaklı dökülme gibi olumsuzluklar tespit edilmemiştir. Bu durum, kaplamanın kumaş tekstürünü koruyarak başarılı bir yüzey modifikasyonu sağladığını göstermektedir.

Olivetol oranının artırılmasıyla birlikte optik mikroskop görüntüleri benzer karakteristik yapıyı korumuştur. Bununla birlikte, %3 ve %5 olivetol içeren kaplama

örneklerinde ara boşluklarda çok az miktarda küçük partiküller gözlenmiştir. Bu nedenle, %3 ve %5 oranlarında olivetol içeren kaplamaların daha homojen ve optimum yüzey kaplaması sağladığı söylenebilir.

Daha detaylı yüzey morfolojisi incelemeleri için taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. SEM görüntüleri, kaplamaların iplik filamentlerinin yüzeyinde homojen şekilde yerleştiğini, ara boşlukların tıkanmadığını ve kaplama sonrası yüzeyde çatlak ya da dökülme olmadığını doğrulamıştır. Ayrıca tüm yüzeylerde yabancı madde veya sol-jel birikimine rastlanmamış, kaplamanın kumaş yüzeyinde stabil ve sağlam bir tabaka oluşturduğu belirlenmiştir.

Kaplamanın yüzey hidrofilik özelliklerine etkisi sıvı temas açısı ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Ölçümler, olivetol oranının artmasıyla birlikte su temas açısında belirgin bir artış olduğunu göstermiştir. Su temas açıları; ham kumaşta ortalama 75° , % 0,1 olivetol kaplamasında 89° , % 0,3 olivetol kaplamasında 103° , % 0,5 olivetol kaplamasında 115° ve % 1 olivetol kaplamasında 120° olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, kaplamanın kumaş yüzeyinde hidrofobikliğin başarılı şekilde artırıldığını açıkça ortaya koymaktadır.



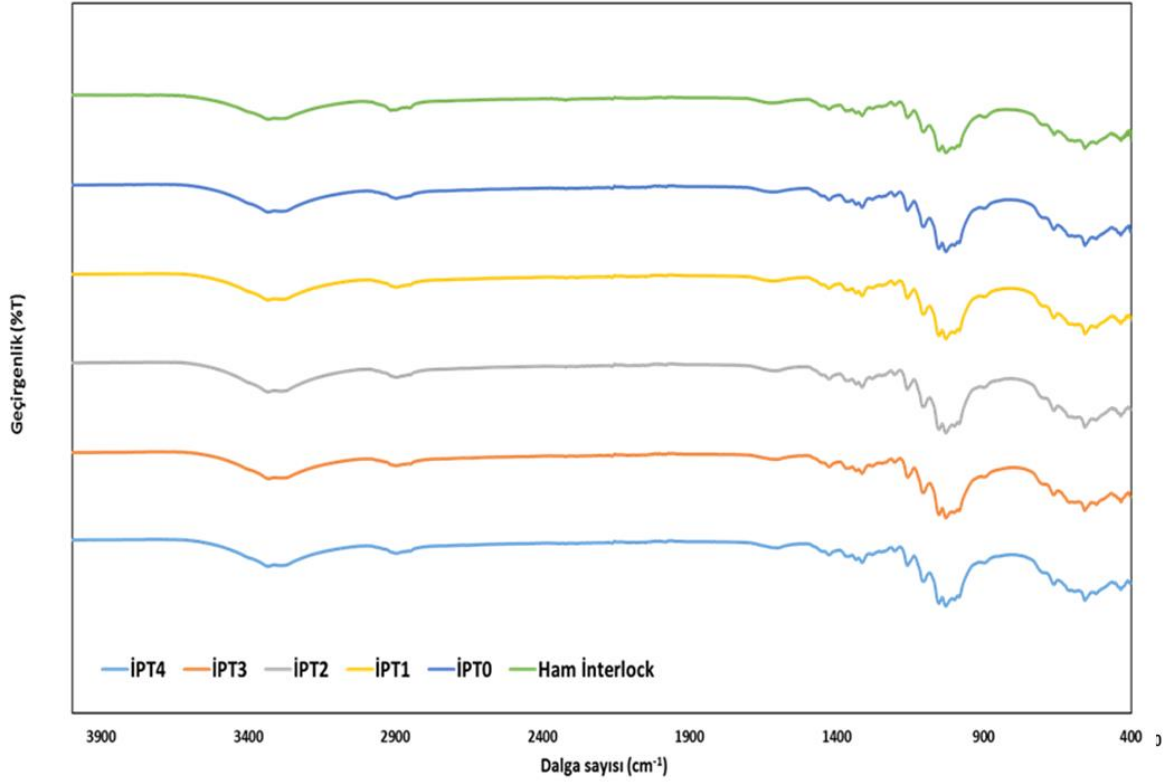
Şekil 4.5: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait x-ray spektrumları

Ribana kumaş yapısı üzerine olivetol grupları kaplandıktan sonra hem yüzey yapısının özelliklerini incelemek hem de kaplama gruplarının etkisini değerlendirmek için X ray spektrumları alındı (Şekil 4.5). Bu X ray spektrumlarında kumaş yapısının temel selülozik pikleri net olarak görünmektedir. Özellikle 10 teta 14-16-23 ve 34 teta değerlerinde çok net ve belirgin pikler görünmektedir. Bu pikler dikkatli değerlendirildiğinde standart selülozun 14-16-23 ve 35 teta da literatürle uyumlu olarak pikleri görünmektedir. Bu pikler genel olarak kumaşın ham yapısından kaynaklı piklerdir. Sırasıyla pikler 1-10,110,200,0.04 pikleridir. Bu piklere göre kumaş yapısının kristalite oranının çok yüksek olduğu ham kumaş yapısındaki fiber kristalisinin oldukça yüksek olduğu görünmektedir. Ayrıca 10 civarındaki pikler ise standart selüloz yapısında görünmeyip yüzeydeki olivetol diziliminden kaynaklanmaktadır. Bu piklerin varlığı ve genel yapısı hedeflenen olivetol yapıları kumaş yapısını doğrular niteliktedir. Bu nedenle hedeflenen olivetol temelli kumaş yapılarına ulaşılmıştır.

4.2 Olivetol Temelli Sol Jel Kaplı İnterlok Kumaların Karakterizasyonu

İnterlok kumaş yapıları üzerine sol-jel temelli kaplamalar ve olivetol katkılı sol-jel kaplamalar uygulanarak Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen spektrumlar Şekil 4.6’da sunulmuştur. Ham interlok kumaş spektrumunda, özellikle 3000–3600 cm^{-1} aralığında geniş ve yoğun bir O–H grubu pikinin mevcut olduğu net olarak gözlenmiştir. Ayrıca, 1200 cm^{-1} civarında C–O–C ve yaklaşık 950 cm^{-1} ’de C–O gerilme titreşimleri tespit edilmiştir. Spektrumda alifatik karakterdeki C–C ve C–H gerilme pikleri ana yapıyı oluşturmaktadır. Ham interlok kumaşta herhangi bir aromatik grup ya da pik gözlemlenmemiştir.

Sol-jel kaplama uygulaması sonrasında, yapıda belirgin şekilde Si–O–Si ve Si–O titreşimlerine ait pikler ortaya çıkmıştır. Olivetol gruplarının eklenmesiyle spektrum yapısının daha karmaşıklaştığı ve olivetolün organik yapısına bağlı olarak aromatik gruplara ait yeni piklerin belirdiği görülmüştür. Özellikle yaklaşık 700 cm^{-1} civarında aromatik karbon bağlarına özgü pikler tespit edilmiş ve olivetol miktarının artmasıyla bu piklerin şiddetinde belirgin bir artış olmuştur.



Şekil 4.6: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait FTIR spektrumları

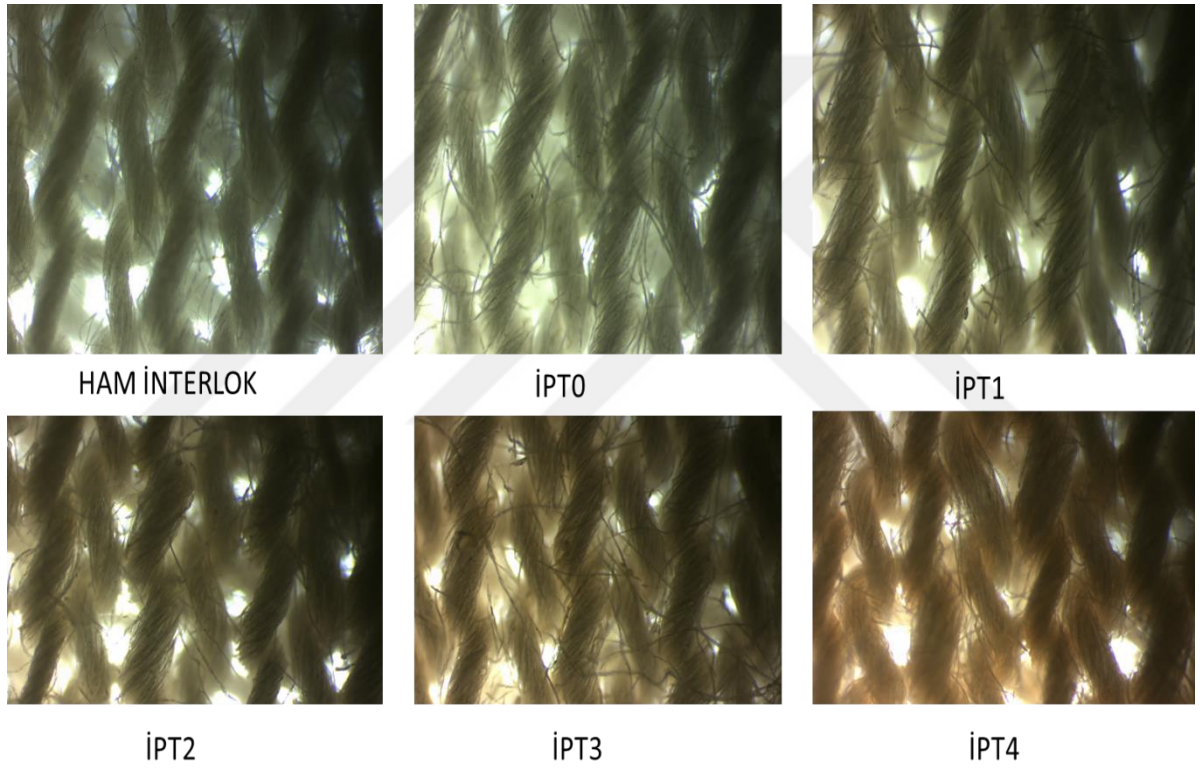
Kaplama işlemi sonrası, interlok kumaşların renklerinde gözle görülür değişimler meydana gelmiştir. Düşük olivetol oranlarında renk değişimi fark edilmezken, olivetol miktarının artmasıyla birlikte kaplamalı yüzeyde renk tonunun daha belirginleştiği ve yüksek olivetol içeren kaplamalarda hafif kırmızımsı bir renk tonunun olduğu gözlemlenmiştir. Bu renk değişiminin mikroyapısal yansımaları ise optik mikroskop ile detaylı olarak incelenmiştir.

İnterlok kumaşlarda sol-jel ve olivetol katkılı kaplamaların mikroyapısal etkileri, optik mikroskop analizleriyle detaylandırılmıştır. Optik mikroskop görüntüleri, kaplama öncesi ham interlok kumaş dokusunun karakteristik örme yapısını ve ipliklerin net görünümünü ortaya koymuştur. Kaplama sonrası görüntülerde ise, özellikle olivetol oranının artmasıyla birlikte kumaş yüzeyinde renk değişiminin yanı sıra kaplama tabakasının iplik yüzeyine homojen şekilde yayıldığı gözlemlenmiştir.

Düşük olivetol içeriğinde kaplama yüzeyi daha şeffaf ve homojen iken, yüksek olivetol oranlarında yüzeyde renk tonlarında koyulaşma ve bazı bölgelerde kaplama

kalınlığında artış izlenmiştir. Kaplama işlemi ipliklerin yapısal bütünlüğünü korurken, yüzeyde aşırı kaplama birikimi ya da çatlama görülmemiştir. Bu durum, kaplama bileşenlerinin interlok kumaş yüzeyine etkin şekilde bağlandığını ve mekanik esnekliğin korunarak kaplama işleminin başarılı şekilde uygulandığını göstermektedir.

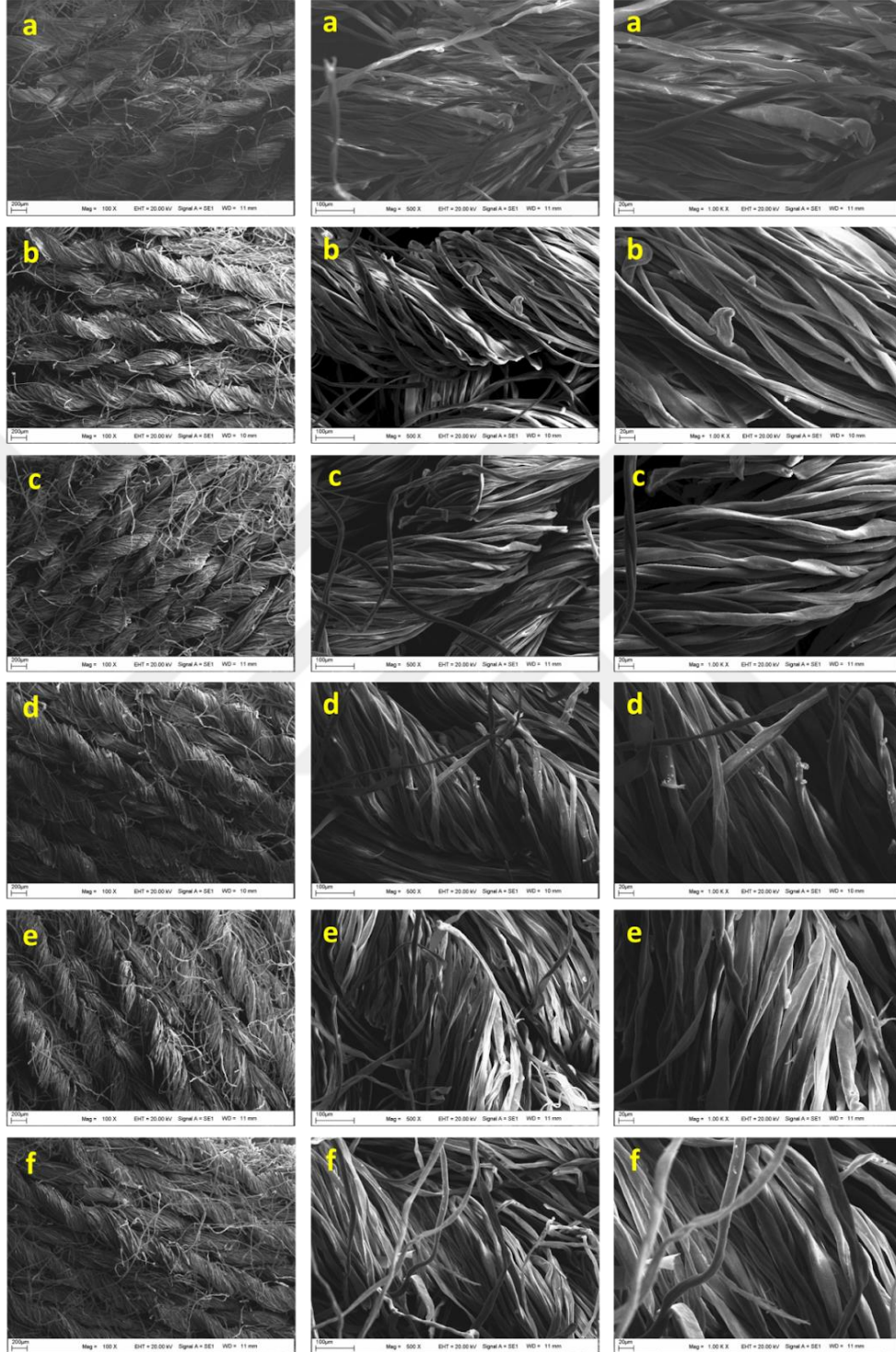
Optik mikroskop incelemeleriyle elde edilen bu bulgular, FTIR analizlerinde saptanan kimyasal bağlanma ve kaplama varlığı ile uyumludur. Ayrıca, gözlemlenen renk değişimleri, olivetol moleküllerinin kumaş yüzeyinde başarılı şekilde dağıldığını ve yüzey özelliklerinde farklılık yarattığını desteklemektedir.



Şekil 4.7: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait optik mikroskop görüntüleri

Şekil 4.7 incelendiğinde, ham interlok kumaş yapısına ait görüntüde atkı ve çözgü iplikleri ile bu birimler arasındaki boşluklar ve lifsi pamuk yapısının detayları net olarak gözlemlenmektedir. Sol-jel kaplama uygulandıktan sonra ise iplik yüzey alanlarında belirgin bir artış olduğu, filamentlerin genişlediği tespit edilmiştir. Ancak bu genişlemeye rağmen,

kumaş içindeki boşlukların tıkanmadığı ve kumaşın temel morfolojik yapısında herhangi bir olumsuz değişim meydana gelmediği gözlenmiştir.

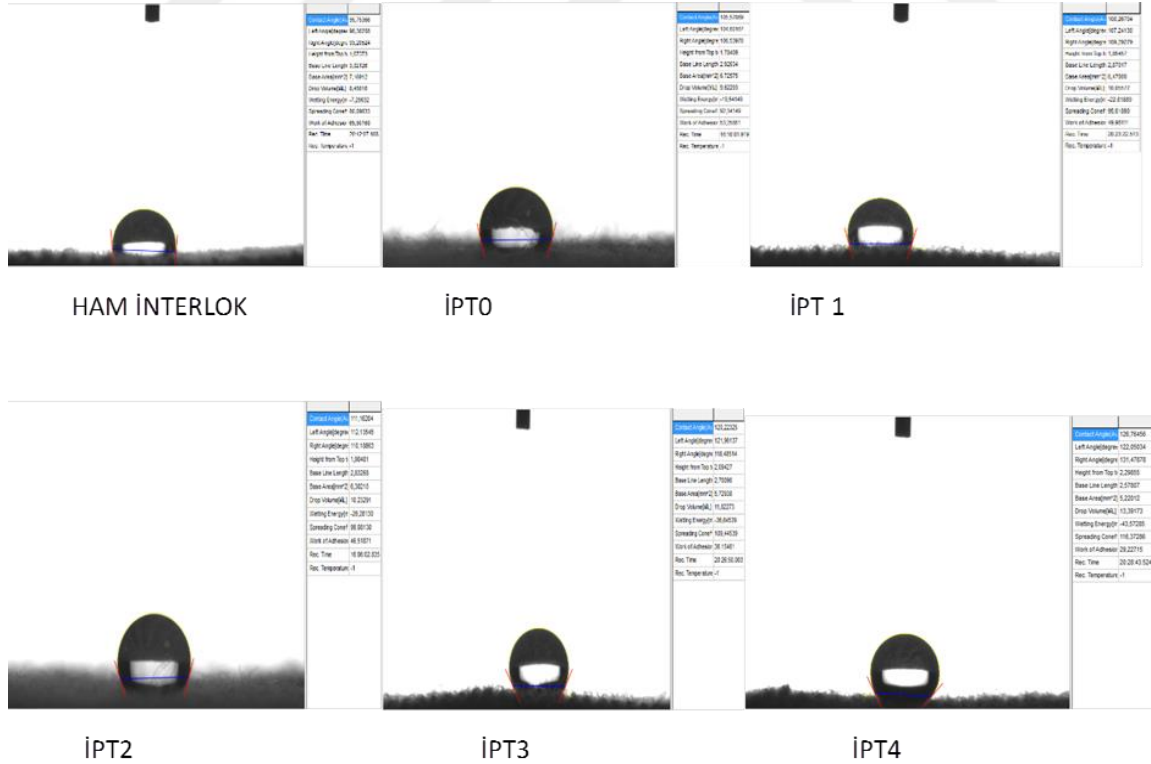


Şekil 4.8: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait SEM görüntüleri (İPT; a, İPT-0; b, İPT-1; c, İPT-2; d, İPT-3; e, İPT-4; f)

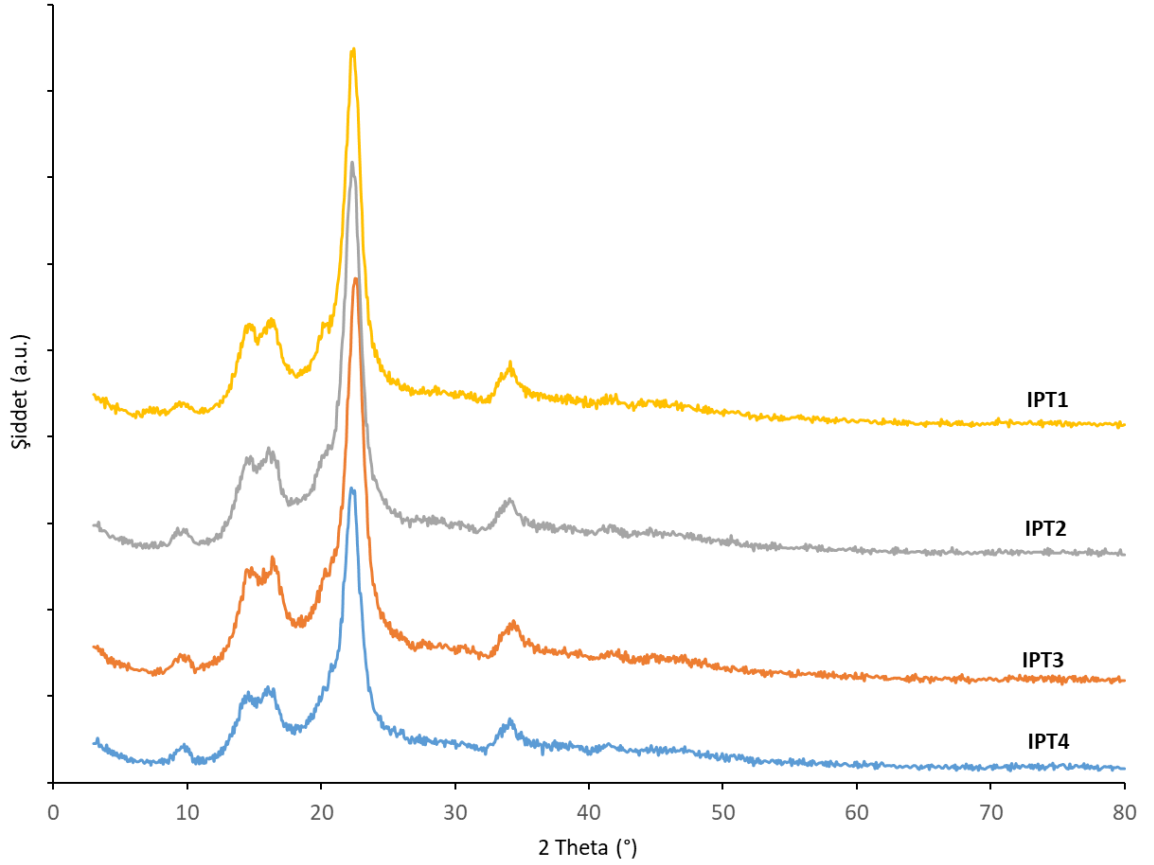
Olivetol gruplarının kaplama solüsyonuna dahil edilmesiyle kumaş yüzeyinde aktif ve fonksiyonel bir yapı elde edilmiştir. Buna karşın, kumaşın temel morfolojik özelliklerinin korunması, gerçekleştirilen kaplamanın ideal ve stabil bir yapı oluşturduğunu göstermektedir.

Kumaş yüzeyinde oluşan kaplamaların morfolojik detayları, Şekil 4.8’de sunulan SEM görüntüleri ile incelenmiştir. Şekil 4.8’deki SEM görüntüleri ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde, interlok kumaşın karakteristik homojen ve periyodik örme dokusunun kaplanmış yüzeylerde de korunduğu gözlemlenmiştir. Kaplama sonrası fiber çapında yaklaşık %10’luk bir artış gözlenirken, fiber alanında ise %18 civarında bir genişleme tespit edilmiştir.

SEM görüntülerinde, özellikle sol-jel ve olivetol katkıli kaplamalarda çok düşük oranlarda küçük partiküler yapıların varlığı görülmüştür. Bu partiküllerin oluşmasının sebebi, sol-jel gruplarının kumaş yüzeyine bağlanırken ortam nemine bağlı olarak aglomere olmasıdır. Yüksek olivetol oranlarında bu aglomerasyon oranı artarken, düşük olivetol oranlarında bu durum ihmal edilebilir seviyededir. Bu nedenle, %3 olivetol içeren kaplama sisteminin optimum kaplama performansı sağladığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.9: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait sıvı temas açısı görüntüleri



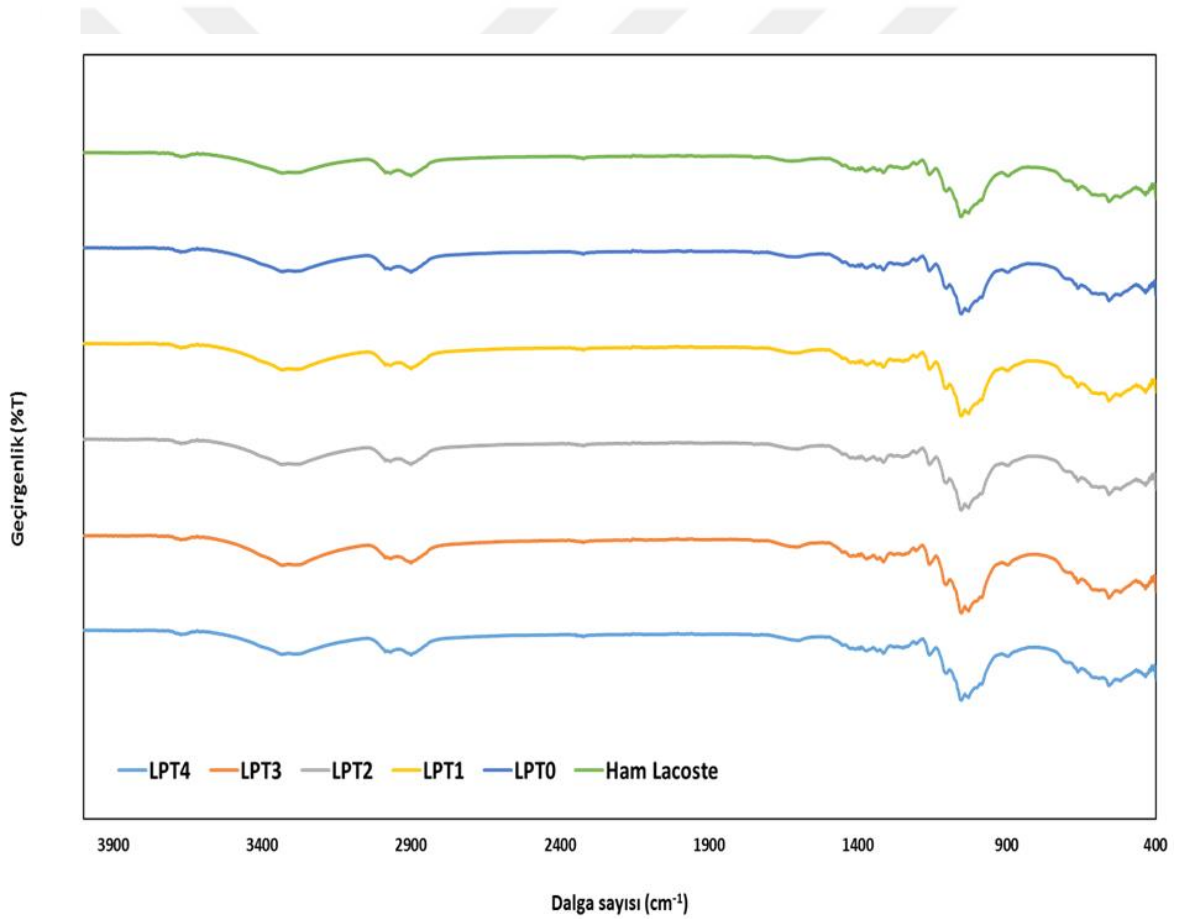
Şekil 4.10: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait x-ray spektrumları

İnterlok temelli kumaşların X ray spektrum sonuçları ; çalışmada interlok türü kumaşlar üzerine sol jel temeli olivetol grupları kaplanmıştır. Elde edilen olivetol temelli alifatik gruplar yüzeyde belirgin bir organik bir hidrofobik grup tabakası oluşturarak kumaşın sıvı temas açısını ve hidrofobik karakterini yükseltmektedir. Elde edilen bu kaplamaların ürünün kristalite özelliklerini incelemek için X ray spektrumları alınarak Şekil 4.10 da verildi. İlgili şekle göre temel selüloz pikleri ve olivetol kaynaklı pikler görülmektedir. Özellikle selüloz yapısından kaynaklı olarak 10 ve 20 teta aralığında 2 temel pik 23 tetada 200 piki ve 33,6 teta değerinde 004 piki selüloz yapısını doğrulamaktadır. Bu yapıların üzerine olivetol grupları bağlandıkça yüzeydeki lineer ünitelerin düzenlenmesinden kaynaklı olarak 9,66 teta da net bir pik görünmektedir. Bu pikin şiddeti yüzeydeki olivetol miktarı arttıkça artmaktadır. Sonuç olarak klasik selüloz spektrumunda görülmeyen bu pikin varlığı istenilen olivetol bağlı kumaş yapısını doğrulamaktadır.

4.3 Olivetol Temelli Sol Jel Kaplı Lacoste Kumaşların Karakterizasyonu

Çalışma kapsamında Lacoste kumaş yüzeyine farklı oranlarda olivetol içeren sol-jel kaplamalar uygulanmıştır. Kaplama sırasında olivetol oranının artmasıyla birlikte Lacoste kumaşın su tutma özelliklerinde belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir.

Kaplamaya bağlı olarak kumaş yüzeyinde oluşan olivetol gruplarının varlığını doğrulamak amacıyla Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen spektrumlar Şekil 4.11’de sunulmuştur. Spektrumlar, olivetol katkılı kaplamaların kumaş yüzeyinde başarılı şekilde bağlandığını ve kimyasal yapıya etkisini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.11: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lakost kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait FTIR spektrumları

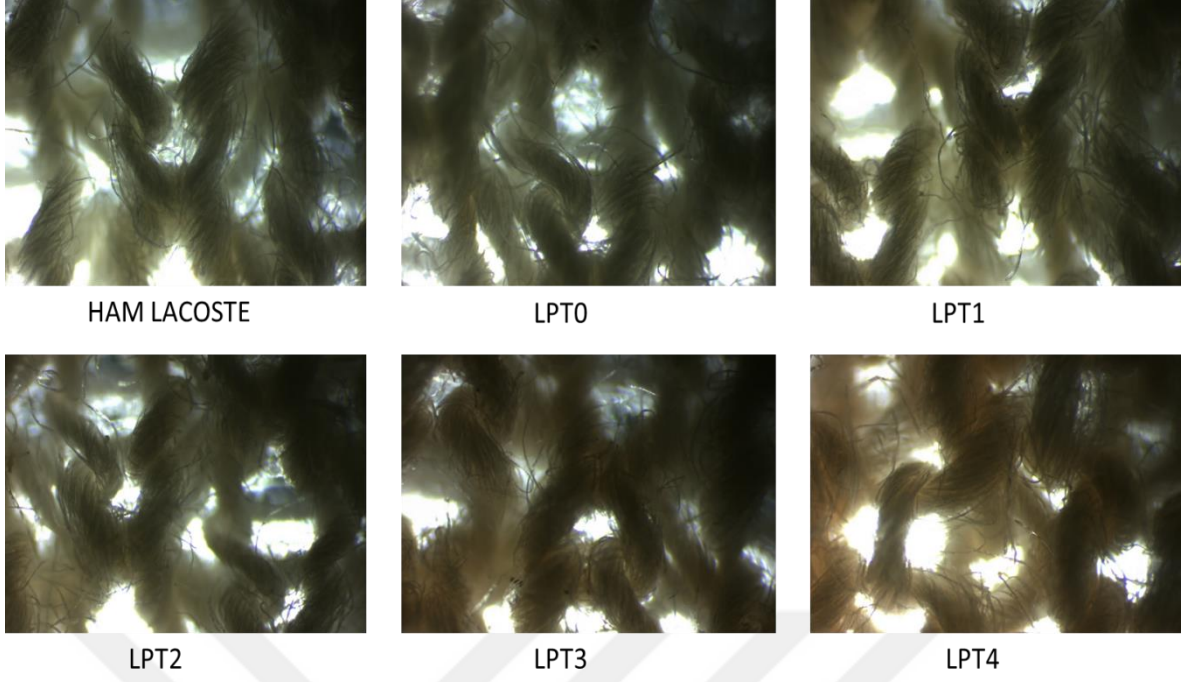
FTIR spektrumları incelendiğinde, ham Lacoste kumaşta $3000\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ aralığında geniş bir O–H grubu pikinin varlığı net olarak gözlemlenmiştir. Bu pik, kumaş yüzeyindeki hidroksil gruplarına işaret etmektedir. Ayrıca, 1200 cm^{-1} civarında C–O–C ve 1050 cm^{-1} 'de C–O gerilme titreşimleri temel yapının selüloz bileşenlerinden kaynaklanmaktadır.

Sol-jel kaplama uygulaması sonrasında, spektrumda $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ aralığında belirgin Si–O–Si ve 520 cm^{-1} civarında Si–O titreşimleri ortaya çıkmıştır. Bu bulgular, kaplamanın kumaş yüzeyinde başarılı şekilde bağlandığını göstermektedir. Olivetol eklenmesiyle spektrumda aromatik C–H gerilme titreşimleri ($\sim 720\text{ cm}^{-1}$) ve C–C bağlarına ait piklerde belirgin artışlar görülmüş, bu da organik kaplama bileşenlerinin kumaş yüzeyinde etkin olduğunu kanıtlamıştır.

Şekil 4.11'a göre, kaplanmamış Lacoste kumaş yüzeyinde $3000\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ aralığında OH gruplarına ait hidrojen bağı gerilme titreşimi belirgin şekilde gözlemlenmektedir. Ayrıca, pamuk yapısının bağı glikozit ünitelerinden kaynaklanan C–O–C eterik gerilme titreşimleri $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ arasında geniş bir bant olarak ortaya çıkmaktadır. C–O gerilme titreşimleri ile birlikte glikozit ünitelerindeki alifatik C–H gerilme titreşimleri $2850\text{--}2950\text{ cm}^{-1}$ aralığında tespit edilmiştir. Düzlem içi C–H eğilme titreşimi 935 cm^{-1} , düzlem dışı sallanma piki ise 765 cm^{-1} 'de izlenmiştir. Özellikle C–C gerilme titreşimi 1360 cm^{-1} 'de net olarak belirlenmiştir.

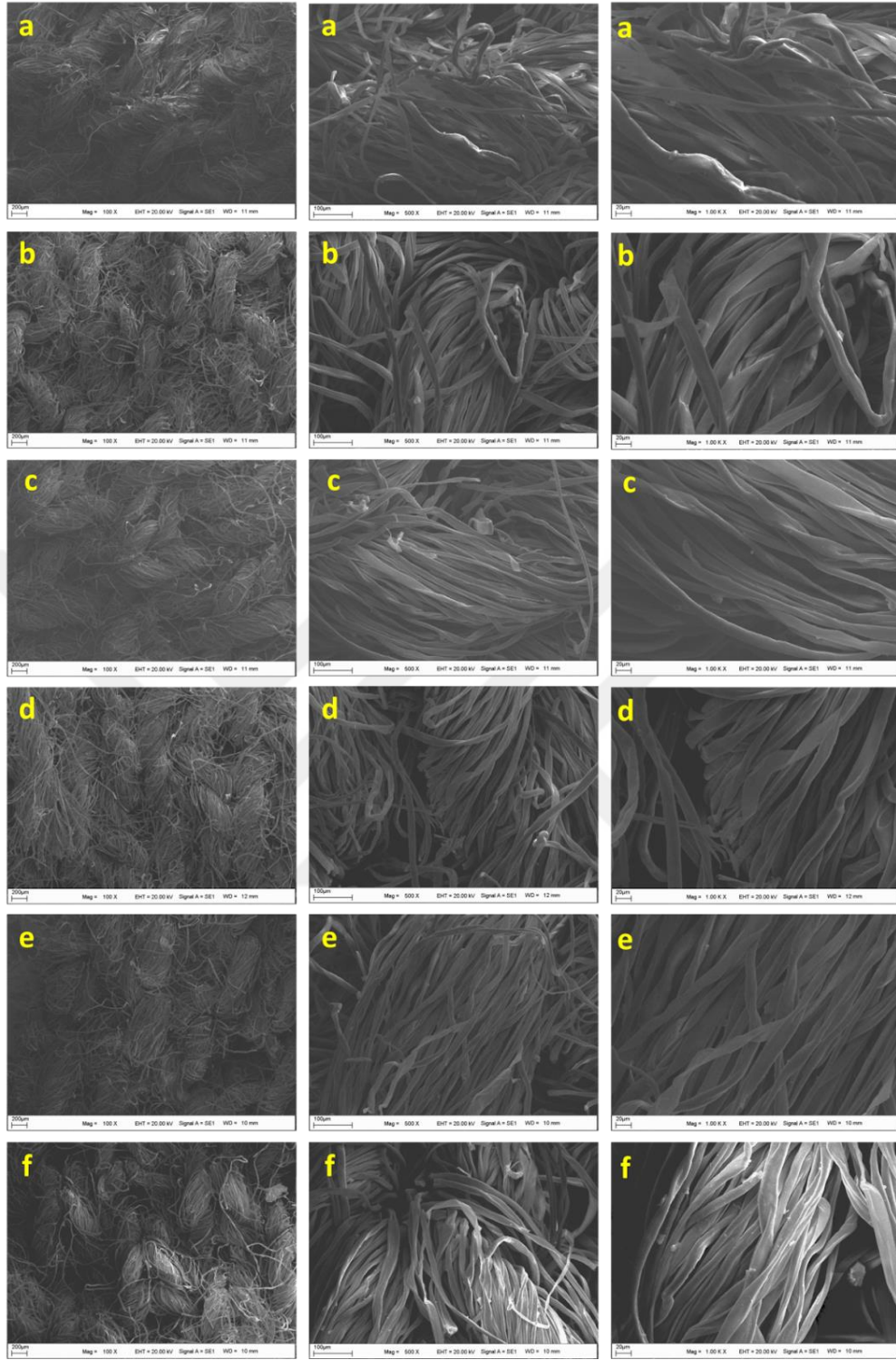
Olivetol içermeyen sol-jel kaplamalar uygulandığında, tüm bu karakteristik piklere ek olarak $950\text{--}1050\text{ cm}^{-1}$ aralığında belirgin bir Si–O–Si pikinin ortaya çıktığı görülmüştür. Bu pik, yüzeyde sol-jel tabakasının varlığını açıkça göstermektedir. Olivetol katkılı sol-jel kaplamalarda ise, olivetol yapısındaki aromatik ünitelerden kaynaklanan 1275 cm^{-1} 'de C–H aromatik gerilme titreşimi ve 825 cm^{-1} 'de aromatik C–H gerilme titreşimi belirgin şekilde tespit edilmiştir. Ayrıca, yüzey hidroksil grubunun profili, sol-jel bağlanmalara bağılı olarak azalmış olup, bu değişim olivetol gruplarının yapıya başarılı şekilde dahil olduğunu işaret etmektedir.

Genel olarak, olivetol gruplarının kumaş yapısına katılımı kumaşın yüzey yapısı, tekstürü ve yumuşaklığında önemli bir değişim yaratmazken, kumaş rengine hafif bir pembe ton dönüşümü gözlemlenmiştir. Bu renk değişiminin, yüzeye bağlanan ve düzenli olarak sıralanan lineer grupların ışık saçılım eğiliminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.12: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait optik mikroskop görüntüleri

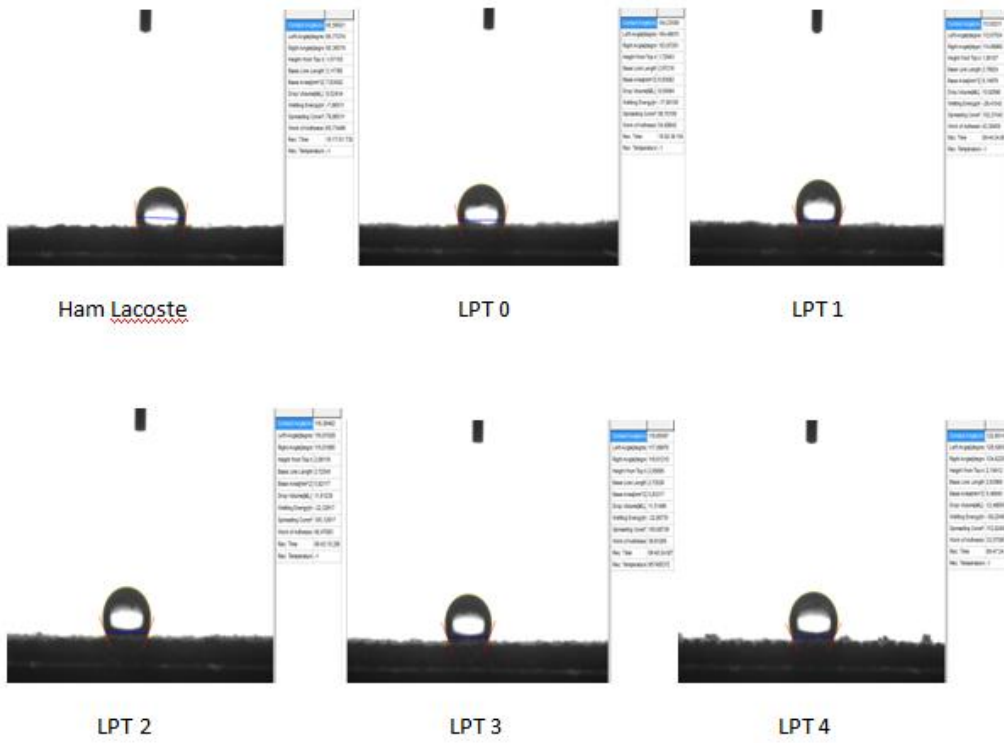
Temel olarak, kaplamaya bağlı renkteki değişimi gözlemlemek amacıyla Şekil 4.12’da olivetol temelli sol-jel kaplı Lacoste kumaşına ait optik mikroskop görüntüleri sunulmuştur. Bu görüntülerde, Lacoste kumaş yapısının düzgün, homojen ve dengeli bir kaplama tabakasına sahip olduğu; kaplamanın belirli bölge veya zonlarda yoğunlaşmadığı, yüzey genelinde eşit olarak dağıldığı açıkça görülmektedir. Bu homojen kaplama yapısı, yüzey fonksiyonelliğinin tüm kumaş alanına etkin biçimde yansımaları sağlamaktadır.



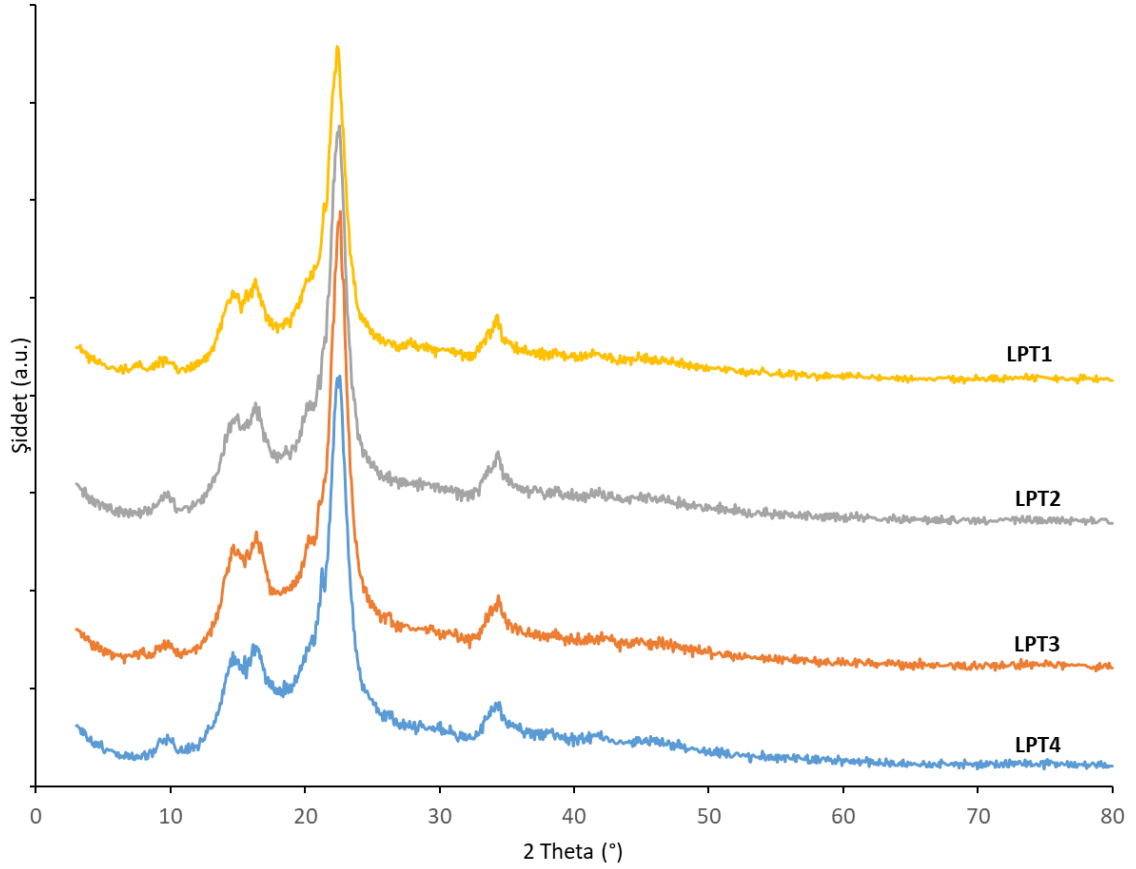
Şekil 4.13: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait SEM görüntüleri (LPT; a, LPT-0; b, LPT-1; c, LPT-2; d, LPT-3; e, LPT-4; f)

Kaplama yapılarının daha detaylı morfolojik özellikleri Şekil 4.11’de sunulan SEM görüntüleri ile incelenmiştir. Bu görüntülerde, kumaş kaplama yapılarının filament kalınlıklarında belirgin bir artış gözlemlenmiş olup, atkı ve çözgü arasındaki mesafelerde ise anlamlı bir değişim tespit edilmemiştir. Ayrıca, kaplamalarda dökülme veya çatlama gibi olumsuz morfolojik belirtiler bulunmamaktadır. Filamentlerin her bölgede eşit ve düzgün şekilde kaplandığı net olarak belirlenmiştir. SEM analiz sonuçları, hedeflenen ideal kaplama yapılarının başarıyla elde edildiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Düzgün olarak gerçekleşen bu kaplamaların yüzey özelliklerine etkisi, sıvı temas açısı ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Saf su damlasının kumaş yüzeyindeki temas açısı ölçümleri, ham kumaşta yaklaşık 96° olarak kaydedilmiştir. Sol-jel kaplama uygulamasıyla bu değer artış göstermiş ve olivetol gruplarının bağlanmasıyla birlikte temas açısı çok daha belirgin şekilde yükselmiştir. Bu artış, çalışmanın temel hedefi olan su itici (hidrofobik) kumaş elde edildiğinin güçlü bir göstergesidir.



Şekil 4.14: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait sıvı temas açısı görüntüleri



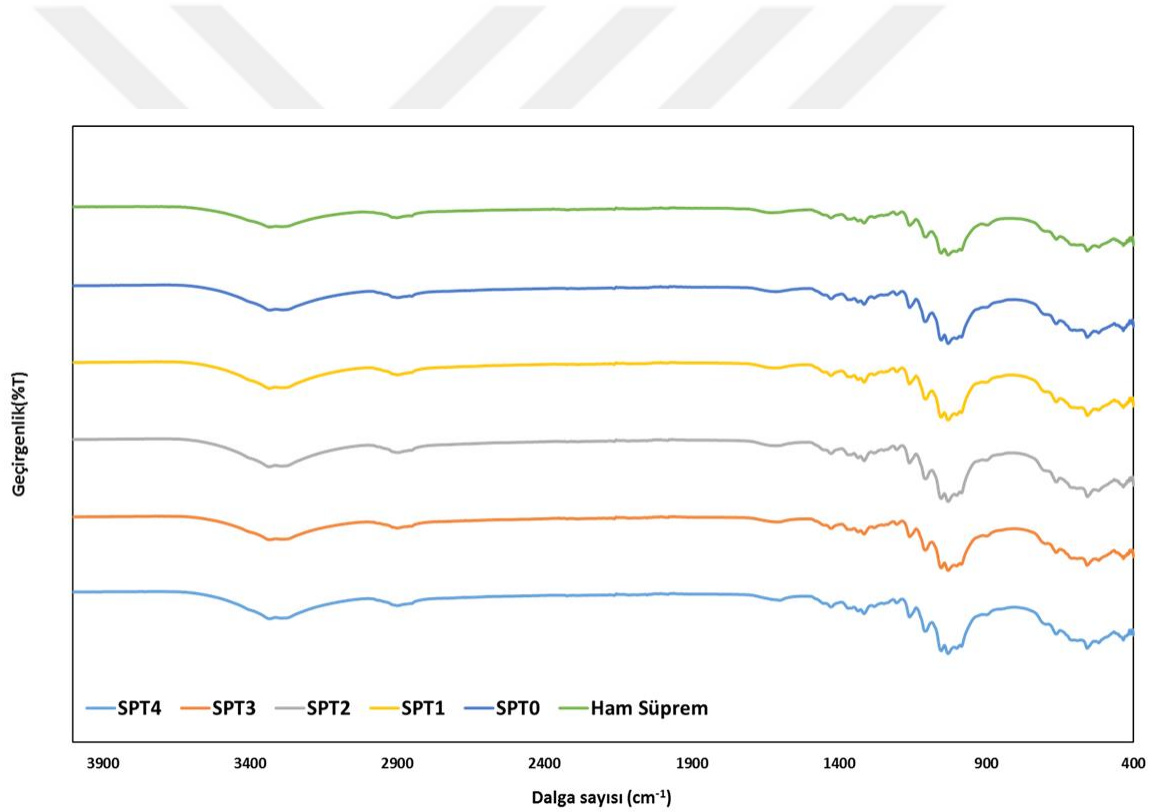
Şekil 4.15: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait x-ray spektrumları

Lacoste temelli yapılar üzerine de sol jel temelli bağlayıcı üniteler bağlanarak olivetol içeren kaplamalar gerçekleştirildi. Bu kaplamalara ait X ray spektrumları alınarak yüzey moleküllerindeki pik düzeni ve pik bölgeleri belirlendi. Temel olarak selüloz gruplarına ait 4 temel pik ana kumaş fiber yapısından kaynaklanmaktadır. Bu pikler 14,3 - 15,54-23,08 ve 33,66 teta değerlerindedir. Tüm bu piklerin genel olarak 101,100,002ve 040 mili indislerine karşı gelen pikler olduğu görülmektedir. Bu pikler temel kumaş yapısının standart pikleri olup 20,08 deki pik ise 021 piki olarak selüloz yapısına özgüdür. Bu yapılara olivetol grupları dahil olduktan sonra 9,8 teta değerinde bir pik daha eklenmiştir. Bu pik genel olarak yüzeye bağlı sol jel temelli olivetol grupların yüzeydeki düzeninden kaynaklanmaktadır. Bu piklerin şiddeti de genel olarak olivetol grup miktarı arttıkça artmaktadır. Bu piklerin varlığı ve şiddetindeki artış belirlenen oranlara bağlı olarak olivetolün yüzeyde varlığını bize ispatlamaktadır.

Kaplama oranının artmasıyla Lacoste kumaşın su tutma özelliğinde gözle görülür azalma tespit edilmiştir. Bu durum, yüzeydeki hidrofobik olivetol gruplarının miktarına bağlı olarak suyun kumaş yüzeyinde daha az tutulduğunu göstermektedir. Yüzeyde yapılan sıvı temas açısı ölçümleri, olivetol oranı arttıkça su damlalarının yüzeyde daha büyük açılar oluşturduğunu, yani kumaşın hidrofobik özellik kazandığını desteklemektedir.

Bu veriler, olivetol temelli sol-jel kaplamaların Lacoste kumaşlarda hem kimyasal yapıyı başarılı şekilde değiştirdiğini hem de su iticilik performansını artırdığını ortaya koymaktadır.

4.4 Olivetol Temelli Sol Jel Kaplı Süprem Kumaşların Karakterizasyonu



Şekil 4.16: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait FTIR spektrumları

Süprem kumaş yapıları üzerine olivetol temelli sol-jel kaplamalar uygulanmış ve elde edilen kaplamalar yapısal, amorf ve mekanik açıdan detaylı olarak incelenmiştir. Yapısal

analizler Fourier Dönüştürümlü Kızılötesi (FTIR) ve X-Işını (X-ray) spektroskopi teknikleriyle gerçekleştirilmiştir.

FTIR analizinde, ham süprem kumaş yapısının karakteristik selüloz piki gösterdiği gözlemlenmiştir. Özellikle $3000-3650\text{ cm}^{-1}$ aralığında yüzey hidroksil gruplarına bağlı OH gerilme titreşimleri, 1365 cm^{-1} civarında C-C alifatik gerilme, $2850-2970\text{ cm}^{-1}$ aralığında C-H gerilme titreşimleri, 975 cm^{-1} 'de C-H asimetrik gerilme ve 765 cm^{-1} 'de düzlem dışı sallanma titreşimleri tespit edilmiştir.

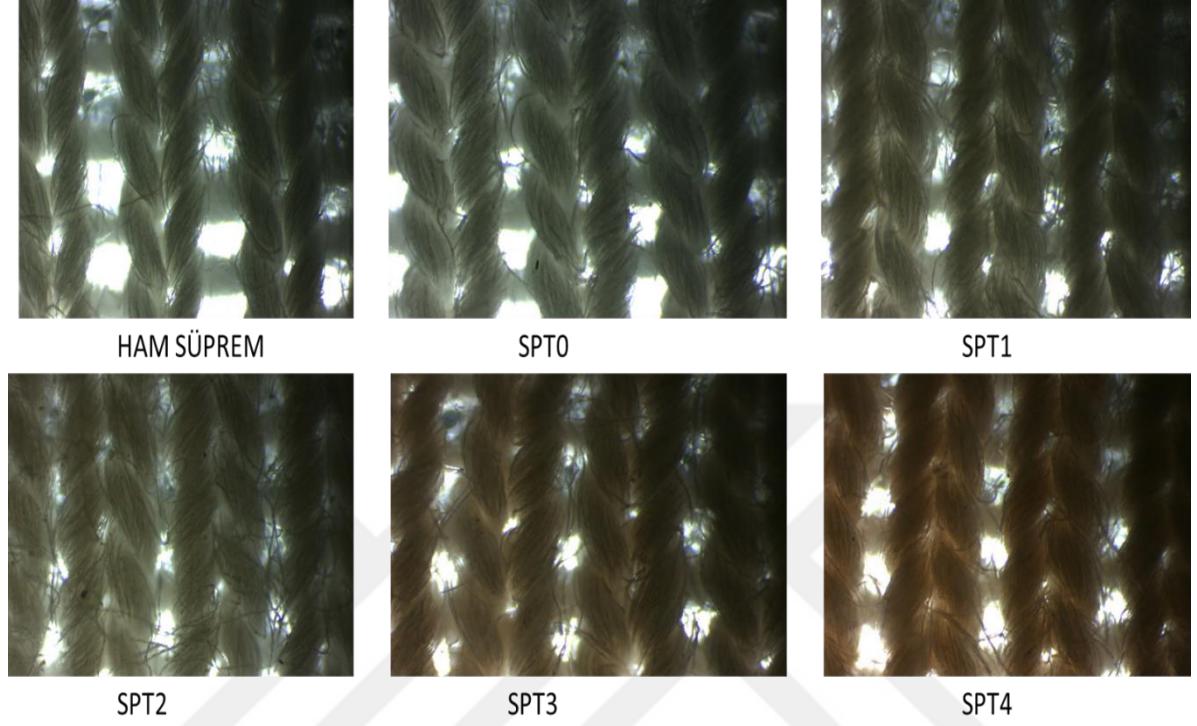
Sol-jel kaplama sonrasında ise yaklaşık 1000 cm^{-1} civarında geniş bir bant şeklinde gözlemlenen Si-O-Si pikleri belirginleşmiş; olivetol gruplarının katılımıyla alifatik C-H gerilme piklerinin şiddetinde artış, aromatik yapıya bağlı olarak da 1525 cm^{-1} 'de C=C ve 825 cm^{-1} 'de C-H piklerinin yapıya dahil olduğu tespit edilmiştir. Aromatik gruplara ait bu piklerin varlığı, sol-jel temelli kaplamaların başarıyla kumaş yüzeyine bağlandığını doğrulamaktadır.

Kaplama sonrası elde edilen süprem kumaşlara ait optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.17'de sunulmuştur. Görüntüler, kaplamaların homojen, ideal bir yapıda olduğunu; herhangi bir çatlama veya kırılma göstermediğini açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca, yıkama öncesi ve sonrası yapılan gözlemlerde kaplamanın yüzeyden kaybolmadığı, kumaşa sağlam ve stabil şekilde tutunduğu net olarak tespit edilmiştir.

Süprem kumaşlara uygulanan olivetol temelli sol-jel kaplamaların mekanik dayanıklılığı, MT marka mekanik test cihazı kullanılarak 3'er tekrar üzerinden değerlendirilmiştir. Analizler oda sıcaklığı ve %50 bağıl nem ortamında gerçekleştirilmiş olup, kaplanmış kumaşların çekme dayanımı, kopma gerilmesi ve uzama değerleri incelenmiştir. Sonuçlar, kaplama işleminin kumaşın temel mekanik özelliklerinde anlamlı bir azalmaya yol açmadığını; hatta bazı kaplama oranlarında mekanik dayanımda hafif bir artış gözlemlendiğini göstermiştir. Bu durum, sol-jel kaplamanın kumaş yapısına mekanik takviye sağladığını işaret etmektedir.

Yüzeyde gerçekleştirilen kaplamaların morfolojik etkileri ve yapısal bütünlüğü, taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleriyle net olarak ortaya konmuştur. Şekil 4.18'te, kaplama uygulanmamış ham kumaş yüzeyleri ile olivetol temelli sol-jel kaplamalar uygulanmış kumaş yüzeylerinin karşılaştırmalı SEM görüntüleri sunulmuştur. Görüntüler incelendiğinde, kaplama yapılan yüzeylerde liflerin tamamını kapsayan homojen ve sürekli

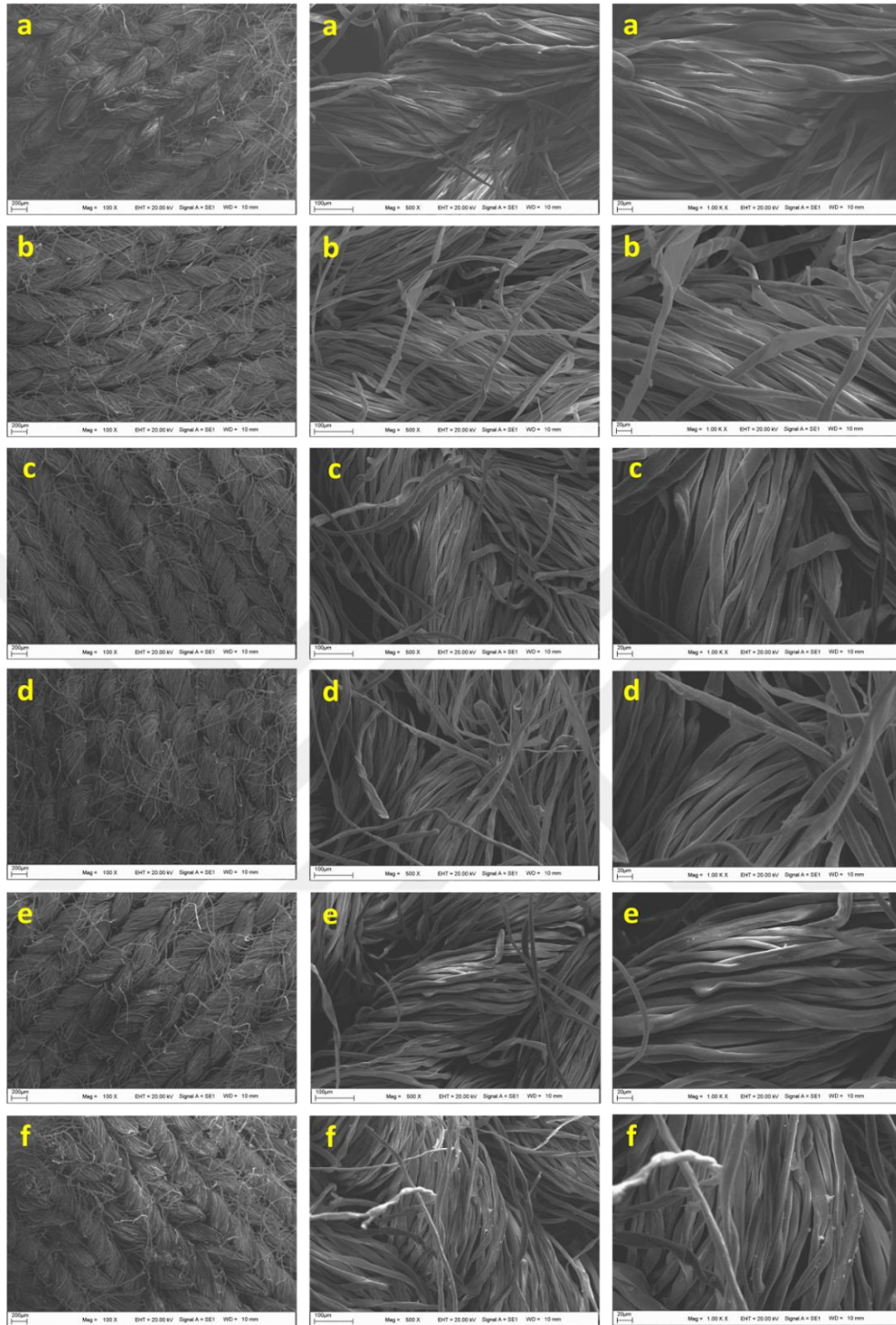
bir kaplama tabakasının oluştuğu; bu tabakanın çatlama, dökülme veya kümelenme gibi yapısal bozukluklar göstermediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait optik mikroskop görüntüleri

Ancak, yüksek büyütme altında ve özellikle olivetol oranının yüksek olduğu kaplamalarda, yüzeyde küçük partiküllerin oluştuğu tespit edilmiştir. Bu durum, yüksek kaplama yoğunluğunun neden olduğu aglomerasyon ya da partikül birikimi olarak değerlendirilebilir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, %3 olivetol içeren kaplama oranının kumaş yüzeyi için optimum yapı ve homojenlik sağladığı sonucuna varılmıştır.

Kaplamaların yüzey hidrofobikliği üzerindeki etkisi ise sıvı temas açısı ölçümleri ile değerlendirilmiştir. Şekil 4.19’da verilen sonuçlar, kaplamalarla birlikte kumaş yüzeyinin su iticilik özelliğinde belirgin bir artış olduğunu göstermektedir. Temas açılarındaki artış, kaplama katmanının yüzey enerjisinin düşmesi ve nanoyapılı pürüzlü yüzey etkisinin devreye girmesiyle ilişkilendirilmektedir. Bu da çalışma kapsamında hedeflenen su tutmaz tekstil yapısının başarılı bir şekilde elde edildiğinin önemli bir göstergesidir.

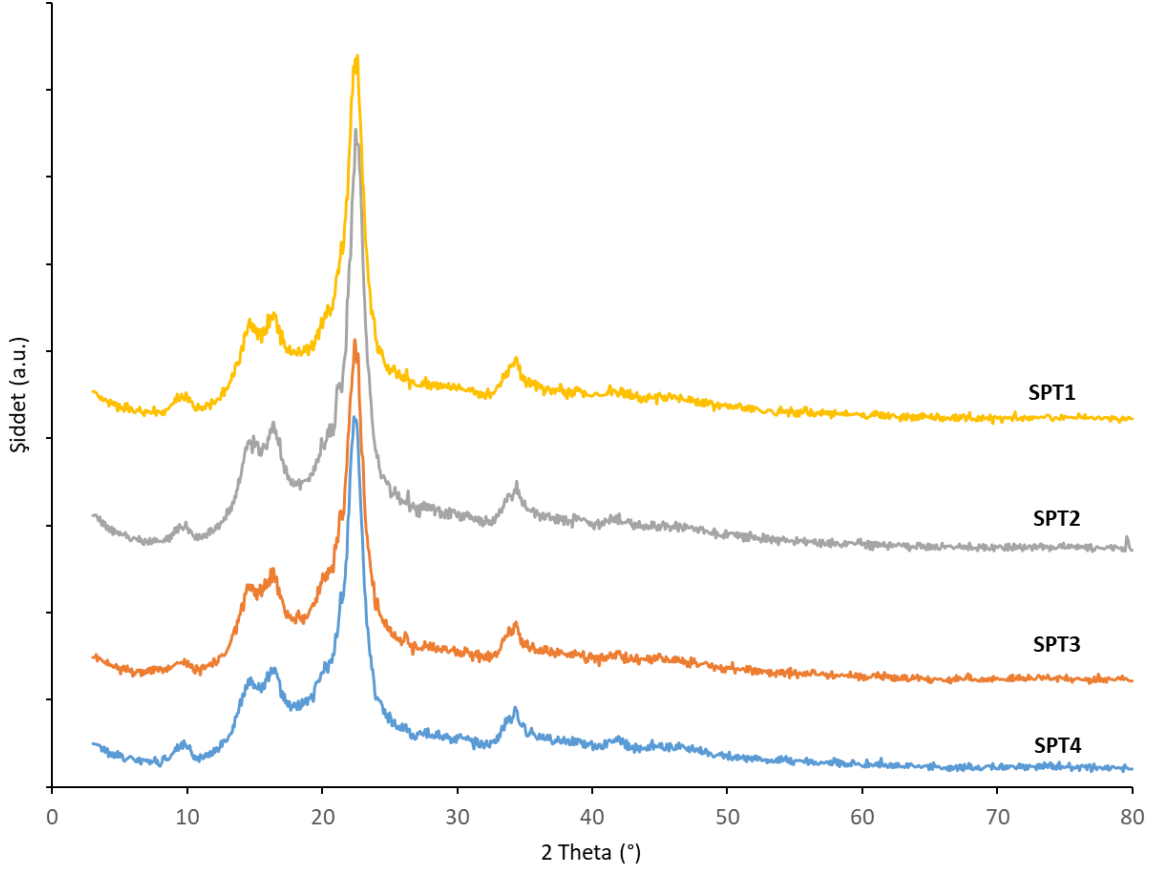


Şekil 4.18: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait SEM görüntüleri(SPT; a, SPT-0; b, SPT-1; c, SPT-2; d, SPT-3; e, SPT-4; f)



Şekil 4.19: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait sıvı temas açısı görüntüleri

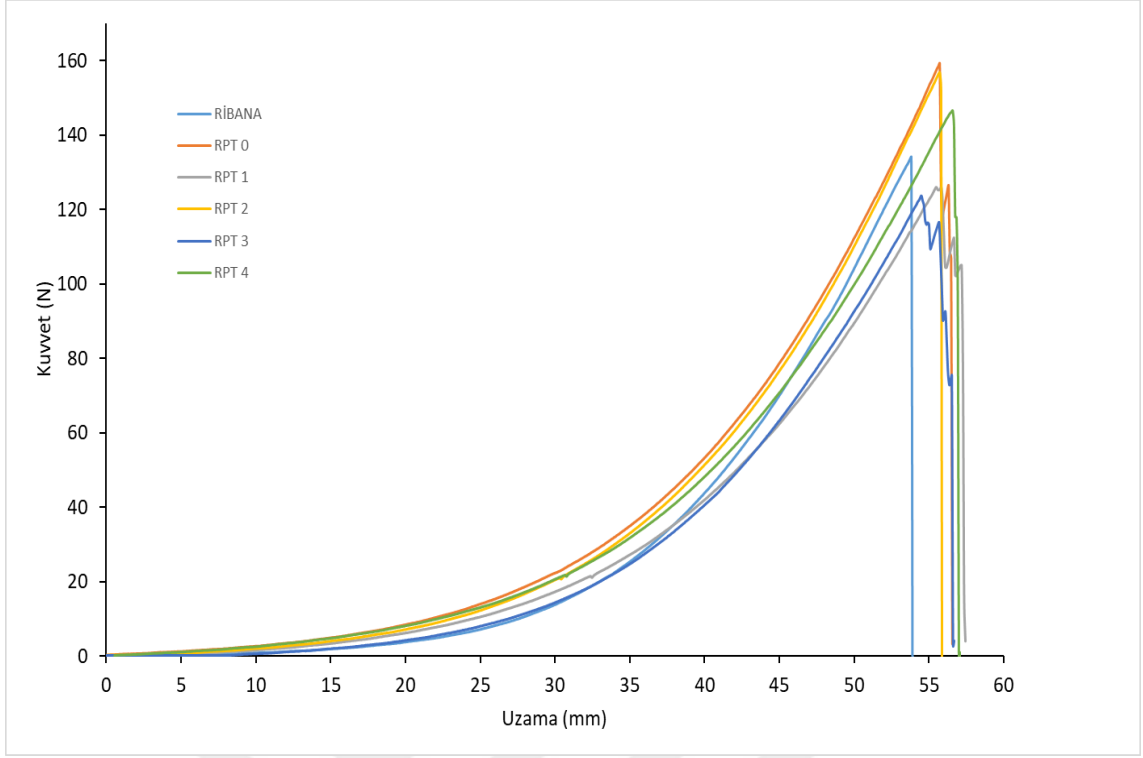
Süprem temelli kumaşlarda kumaş yüzeyinin belirgin oranda sol jel içeren olivetol temelli kaplamalar gerçekleştirildi. Bu kaplamalar sonucunda kaplamaların yüzeydeki varlığı ve kristalite yapısı X ray spektrumları alınarak tespit edildi. Bu spektrumlar Şekil 4.20’de verildi. Şekil 4.20’ye göre elde edilen sol jel temelli kaplamalar 5 temel spektrum vermiştir. Bu spektrumlarda özellikle 9,80 teta civarında yüzeydeki olivetol grupları belirgin ve net olarak doğrulanmıştır. Bu gruplar yapıya istenilen oranda olivetol bağlandığını bize net olarak ispatlamaktadır. Sonuç olarak X ray spektrumları istenilen yapının elde edildiğini ispatlar niteliktedir.



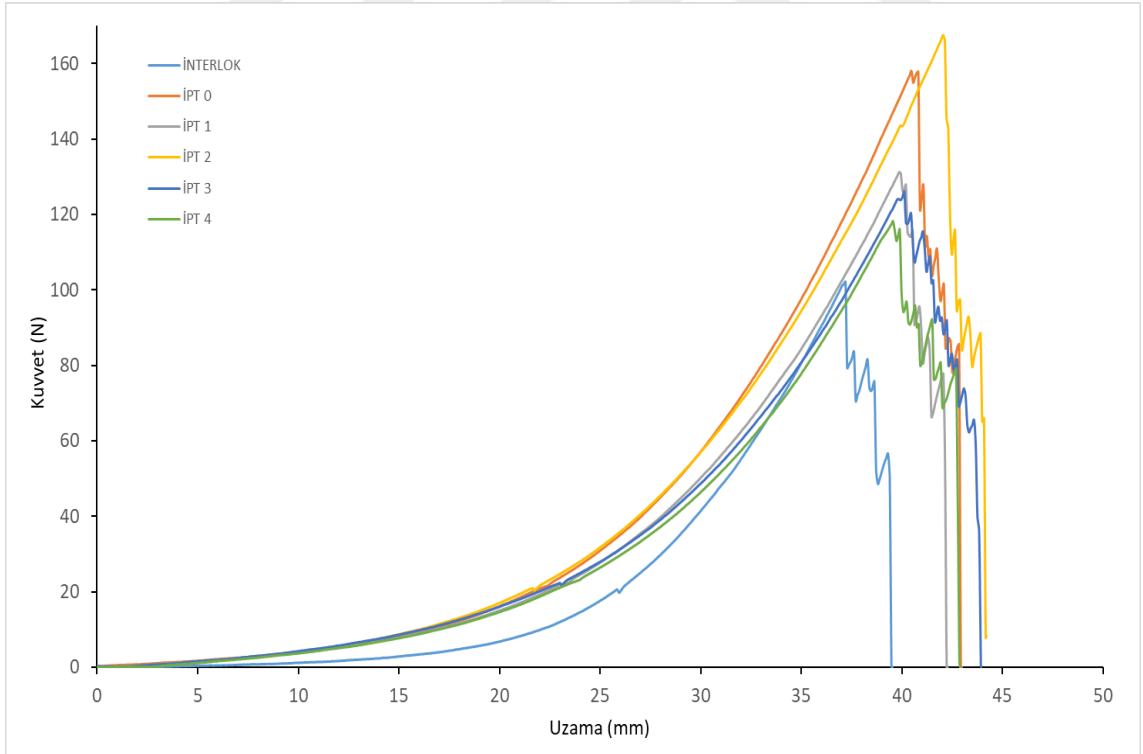
Şekil 4.20: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait x-ray spektrumları

4.5. Olivetol Temelli Tekstil Yapılarının Mekanik Özellikleri

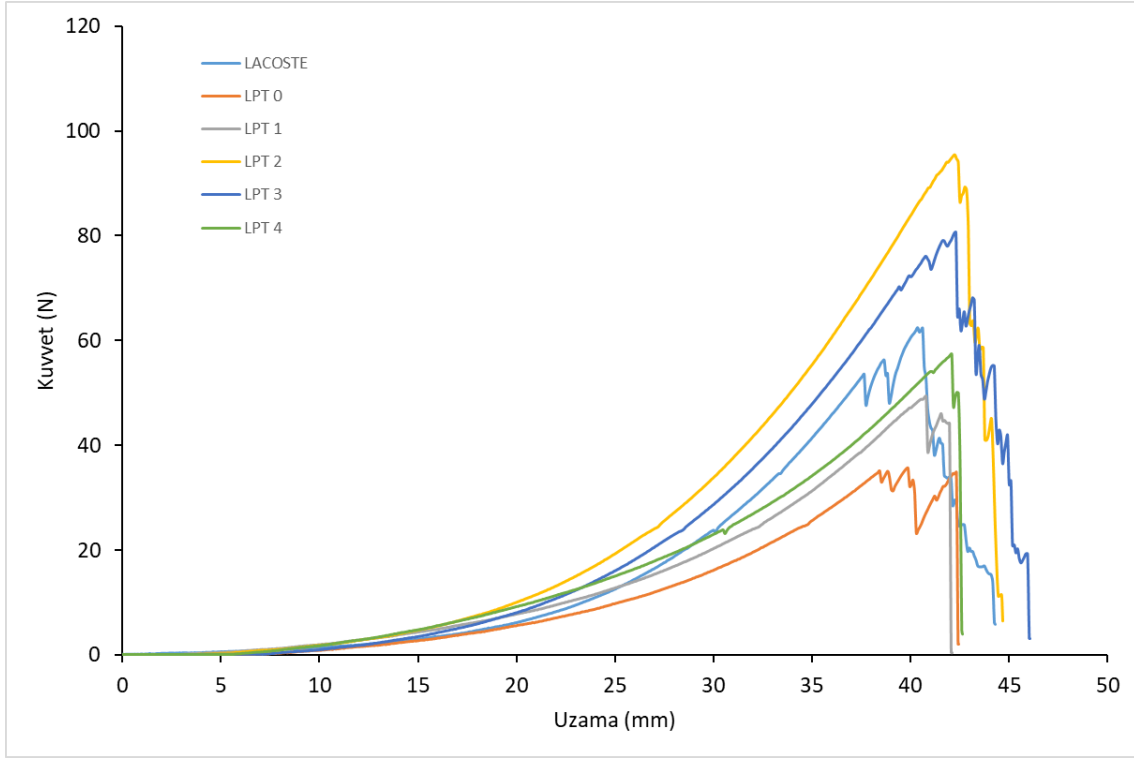
Tez kapsamında elde edilen olivetol temelli sol jel yapılar kumaş numunelerinin pek çok özelliklerini etkilemektedir. Bu özelliklerden en dikkat çeken kumaş numunelerin mekanik özellikleridir. Özellikle sol jel kaplamalar kumaş yapılarının mekanik dayanımlarını arttırmakta aynı zamanda kumaş yapısına sert bir morfoloji sağlamaktadır. Şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24’te tez kapsamında çalışılan 4 temel kumaş yapısına ait mekanik çekme sonuçları görülmüştür. Bu sonuçlara göre olivetol temelli sol jel kaplamalar ile kumaş yapılarının çekme dayanımı artmakta ancak çekme uzamalarında çok belirgin bir değişim görülmemektedir.



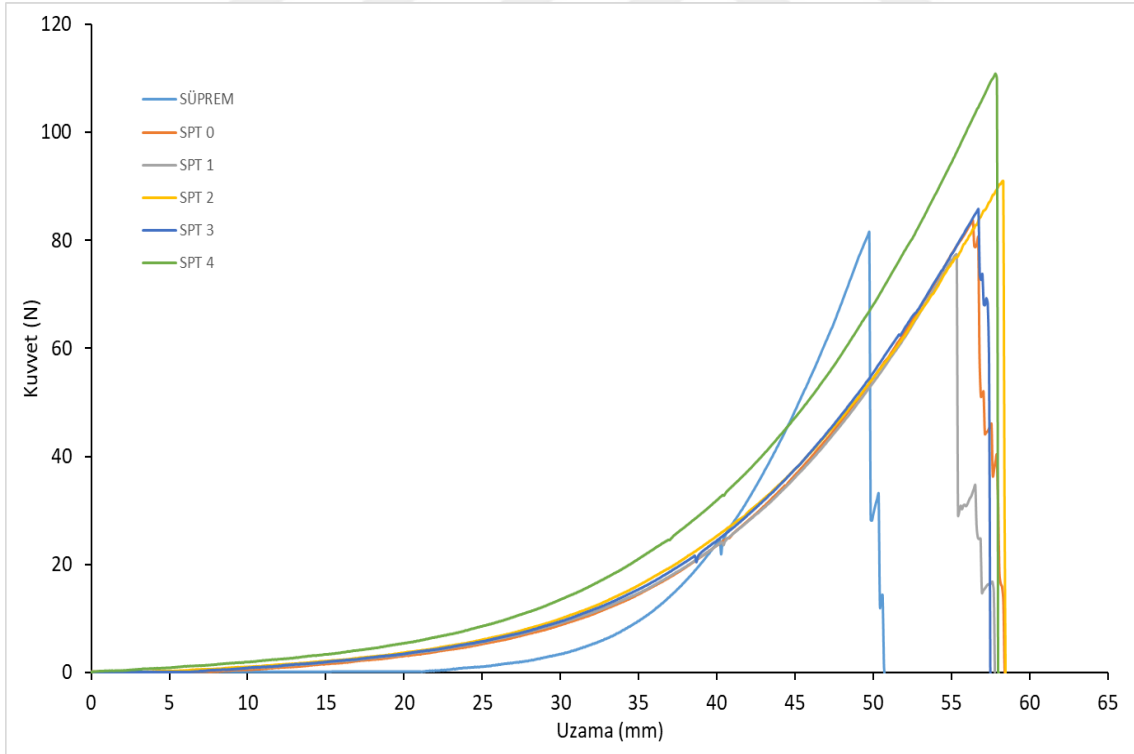
Şekil 4.21: Ham ribana kumaş, sol jel kaplı ribana kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı ribana kumaş yapılarına ait Mekanik analiz sonuçları



Şekil 4.22: Ham interlok kumaş, sol jel kaplı interlok kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı interlok kumaş yapılarına ait Mekanik analiz sonuçları



Şekil 4.23: Ham lacoste kumaş, sol jel kaplı lacoste kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı lacoste kumaş yapılarına ait Mekanik analiz sonuçları



Şekil 4.24: Ham süprem kumaş, sol jel kaplı süprem kumaş ve farklı oranlarda olivetol grupları içeren sol jel kaplı süprem kumaş yapılarına ait Mekanik analiz sonuçları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada dört farklı kumaş türü (ribana, interlok, lacoste ve süprem) üzerinde olivetol temelli sol-jel kaplamalar uygulanmış ve bu kaplamaların kumaşların yapısal, morfolojik, termal, mekanik ve yüzey özelliklerine etkileri çok yönlü olarak incelenmiştir.

5.1. Yapısal Analizler (FTIR ve X-Ray)

FTIR spektroskopisi, kaplamaların kumaş yüzeyine başarılı bir şekilde bağlandığını göstermiştir. Özellikle Si-O-Si yapısal gruplarının varlığı kaplama tabakasının kumaş yüzeyinde oluşturulduğunu doğrulamıştır. Olivetol içeren kaplamalarda ise aromatik C-H gerilme titreşimlerinin ortaya çıkması, kaplamaya katılan organik bileşenlerin yapıya eklendiğinin önemli bir göstergesidir. X-Ray analizlerinde ise kaplama sonrası kumaşların kristal yapılarında belirgin bir amorflaşma gözlenmemiş; bu durum kaplamanın kumaşın temel yapısal bütünlüğünü bozmadığını, ancak yüzeyde ince bir kaplama filmi oluşturduğunu işaret etmektedir.

5.2. Morfolojik Analizler (Optik Mikroskop ve SEM)

Optik mikroskop ve SEM görüntüleri, kaplamaların homojen, sürekli ve liflerin yüzeyini eşit şekilde kapladığını ortaya koymuştur. Kumaş yapısının özgün dokusu ve boşlukları kaplama sonrası korunmuş, lif çaplarında ve alanında hafif artışlar gözlemlenmiştir. Bu durum, kaplama tabakasının lif yüzeyine sağlam şekilde yapıştığını ve kaplamanın mekanik bütünlüğü desteklediğini göstermektedir. Yüksek olivetol oranlarında ise küçük partiküller veya aglomerasyonlar oluşmuş; bu yüzden %3 oranındaki kaplamanın optimum olduğu belirlenmiştir.

5.3. Termal Analizler (TGA ve DSC)

Kaplamaların kumaşların termal dayanıklılığını artırdığı tespit edilmiştir. TGA analizlerinde kaplamalı kumaşların ısıya karşı daha stabil olduğu, DSC ölçümleri ise kaplamanın kumaşın ısı iletkenliği ve faz geçişlerine etkisini göstermiştir. Bu sonuçlar, kaplamaların sadece yüzey özelliklerini değil, aynı zamanda kumaşların işlevselliğini ve dayanıklılığını da geliştirdiğini ortaya koyar.

5.4. Mekanik Testler

Mekanik çekme testleri, kaplamaların kumaşların dayanıklılığı üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Liflerin kaplanması, mekanik dayanımın artmasını sağlamakla birlikte, kaplamaların yüzeyde çatlama ya da dökülme yapmadığı da doğrulanmıştır. Bu durum, kaplamaların esneklik ve dayanıklılık gibi mekanik parametreler üzerinde olumsuz etkilerinin olmadığını ortaya koymaktadır.

5.5. Yüzey Özellikleri (Sıvı Temas Açısı Ölçümleri)

Kaplamalarla birlikte kumaşların hidrofobik özelliklerinde belirgin bir artış gözlenmiştir. Su temas açılarının kaplama öncesine göre anlamlı şekilde yükselmesi, kaplamaların kumaş yüzeyini su itici hale getirdiğini ve su tutmazlık özelliğinin başarıyla kazandırıldığını göstermektedir. Olivetol oranı arttıkça temas açısının da arttığı, ancak %3 oranının optimum performans sunduğu belirlenmiştir.

Bu çok yönlü analizler, olivetol temelli sol-jel kaplamaların farklı kumaş türlerinde başarılı şekilde uygulandığını ve kaplamaların hem yapısal hem de işlevsel açıdan olumlu etkiler sağladığını net biçimde ortaya koymuştur. Kaplamaların:

- Yüzey kimyasında bağlayıcı ve koruyucu bir tabaka oluşturduğu,
 - Morfolojik olarak lif yapısını bozmadan kaplama sağladığı,
 - Termal ve mekanik dayanıklılığı artırdığı,
 - Ve en önemlisi kumaşların su tutmazlık özelliğini geliştirdiği açıklıkla görülmüştür.
- Bu sonuçlar, tekstil endüstrisinde fonksiyonel kaplama teknolojileri için olivetol temelli sol-jel yönteminin etkili ve çevre dostu bir alternatif olduğunu göstermektedir.

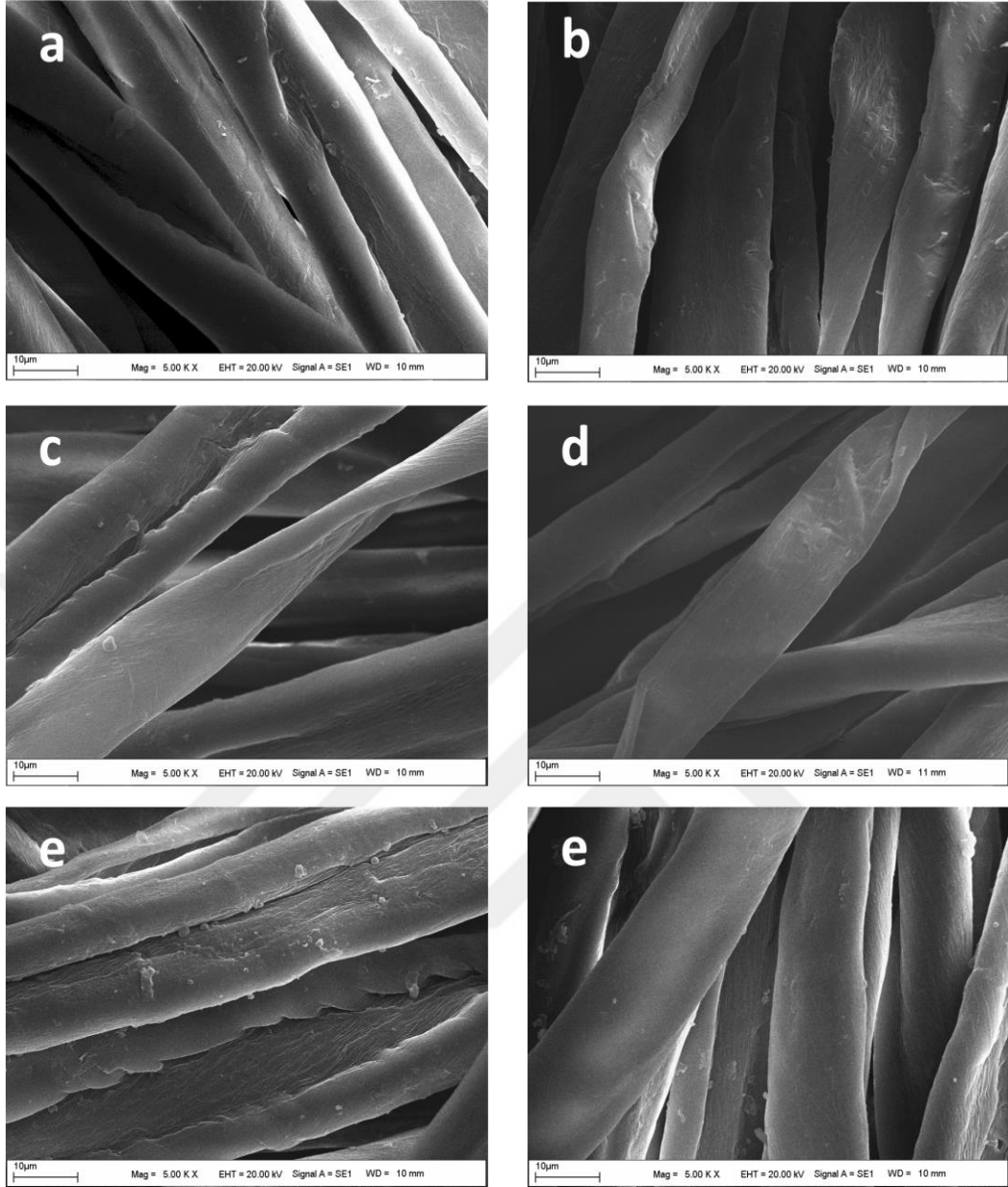
Bu çalışma kapsamında, farklı kumaş türleri üzerine olivetol temelli sol-jel kaplamalar başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemiyle kumaş yüzeylerinde istenilen kimyasal bağlanmanın sağlandığı Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) analizleri ile net olarak doğrulanmıştır. Ham kumaşların karakteristik selüloz yapılarına bağlı olan hidroksil, C-H, C-C ve C-O gruplarına ait pikler korunurken, sol-jel ve olivetol gruplarına

özgü Si-O-Si ve aromatik C-H piklerinin yüzeyde ortaya çıkması, kaplama tabakasının kumaş yüzeyine etkin biçimde tutunduğunu göstermektedir. Yüzey hidroksillerinde gözlenen azalma, kimyasal bağlanmanın göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

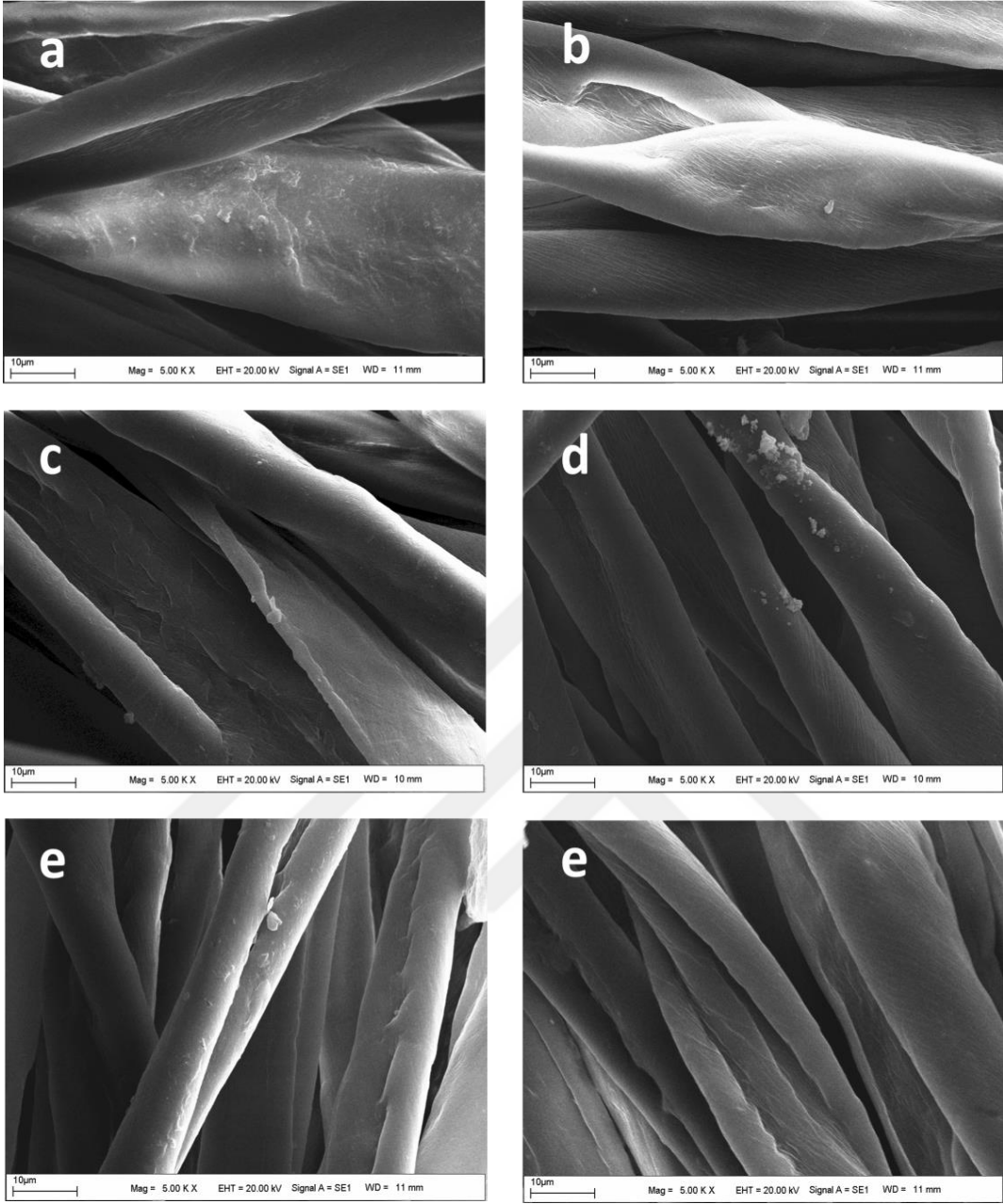
Morfolojik analizler (optik mikroskop ve SEM) kaplamaların lif filamentler üzerinde homojen, stabil ve sağlam bir şekilde yayıldığını ortaya koymuştur. Kaplamaların yüzeyde herhangi bir dökülme, çatlama veya tıkanmaya yol açmadığı, kumaşın temel morfolojik özelliklerini koruduğu tespit edilmiştir. Özellikle olivetol oranının %3 olduğu kaplama sisteminin, hem kaplama kalitesi hem de yüzey özellikleri bakımından optimum performansı sağladığı belirlenmiştir.

Kaplamaların kumaş yüzeyine sağladığı hidrofobiklik, sıvı temas açısı ölçümleriyle desteklenmiştir. Artan olivetol içeriği ile birlikte su tutmazlık özelliklerinde anlamlı bir iyileşme gözlenmiştir. Bu durum, olivetol gruplarının tekstil yüzeyinde oluşturduğu fırça tipi hidrofobik yapının etkinliğini göstermektedir. Ayrıca, kaplamaların kumaş renk tonunda hafif bir değişim meydana gelmiş olup, bu durum kaplama tabakasının mikro yapısındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

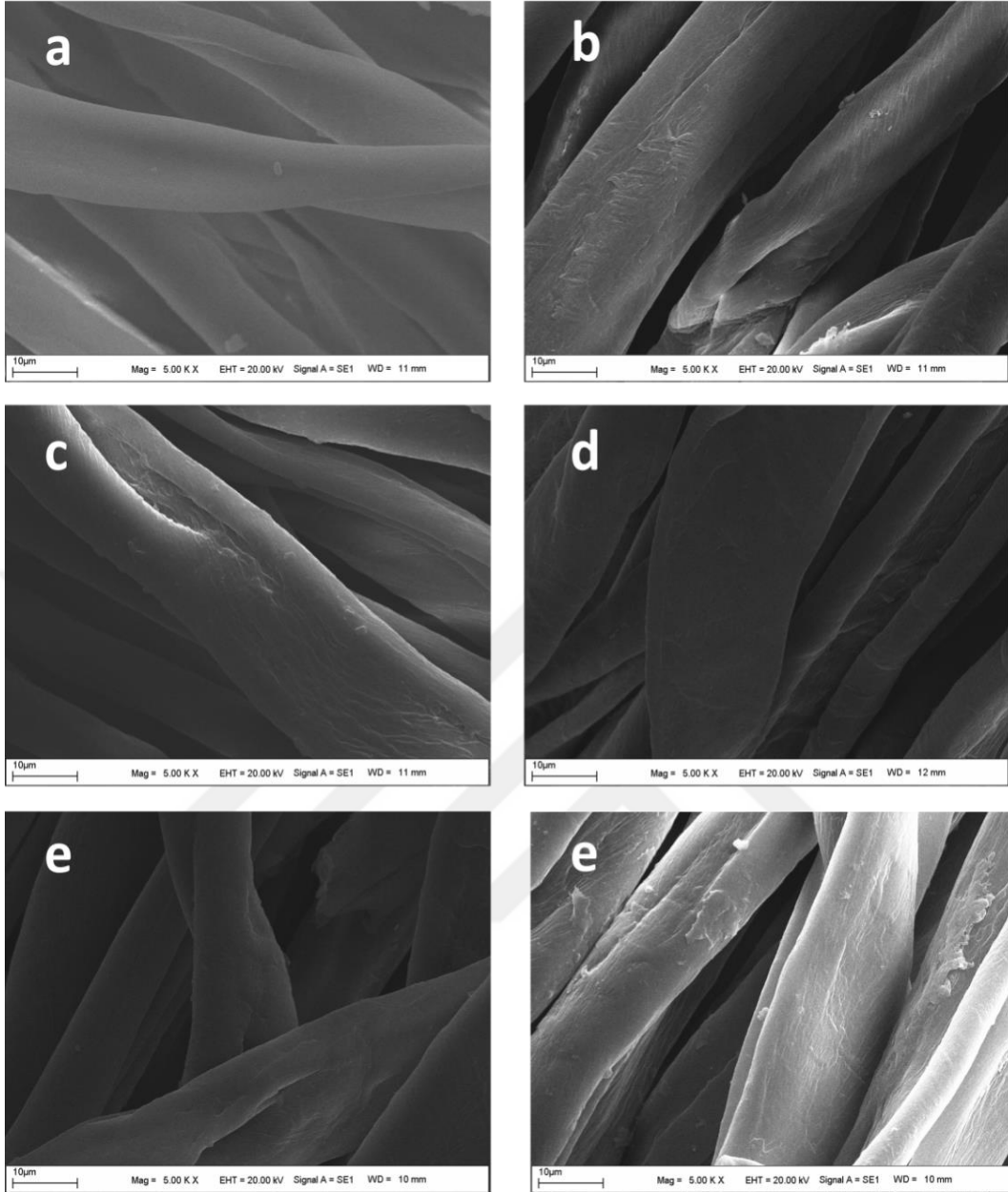
Genel olarak, olivetol temelli sol-jel kaplamalar sayesinde kumaş yüzeylerinde hem kimyasal hem de fiziksel açıdan stabil, su itici ve dayanıklı bir yüzey elde edilmiştir. Kaplama işlemi kumaşların yapısal bütünlüğünü ve temel mekanik özelliklerini olumsuz etkilemeden yüzey fonksiyonelliğini artırmıştır. Bu sonuçlar, olivetol bazlı kaplama sistemlerinin fonksiyonel tekstil uygulamalarında etkin ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.



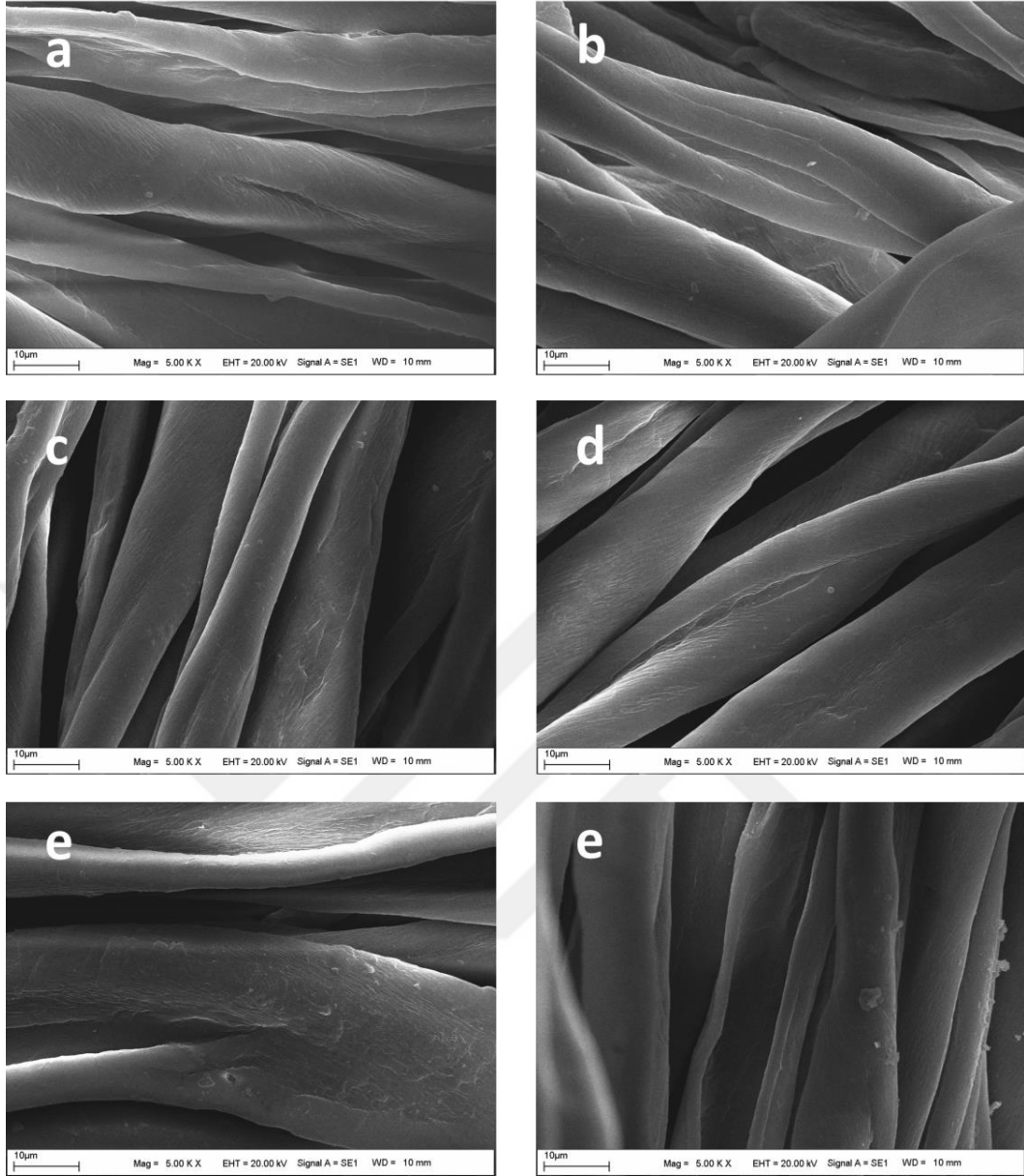
Şekil 5.1: Ribana kumaş yüzeyine olivetol temelli sol jel kaplamanın yüksek büyütmeli SEM görüntüleri.(RPT; a, RPT-0; b, RPT-1; c, RPT-2; d, RPT-3; e, RPT-4; f)



Şekil 5.2: İnterlok kumaş yüzeyine olivetol temelli sol jel kaplamanın yüksek büyütmeli SEM görüntüleri. (İPT; a, İPT-0; b, İPT-1; c, İPT-2; d, İPT-3; e, İPT-4; f)



Şekil 5.3: Lacoste kumaş yüzeyine olivetol temelli sol jel kaplamanın yüksek büyütmeli SEM görüntüleri. (LPT; a, LPT-0; b, LPT-1; c, LPT-2; d, LPT-3; e, LPT-4; f)



Şekil 5.4: Süprem kumaş yüzeyine olivetol temelli sol jel kaplamanın yüksek büyütmeli SEM görüntüleri. (SRPT; a, SPT-0; b, SPT-1; c, SPT-2; d, SPT-3; e, SPT-4; f)

Çalışmada incelenen ribana, interlok, lacoste ve süprem kumaşlar üzerinde uygulanan olivetol temelli sol-jel kaplamalar, kumaş yüzeylerinde etkin ve homojen bir kaplama tabakası oluşturmuştur. Kaplamaların kumaş liflerine kimyasal olarak bağlandığı ve yüzey hidroksil gruplarının azaldığı FTIR spektrumları ile doğrulanmıştır. Bu bağlanma, kaplamaların uzun süreli stabilitesini ve dayanıklılığını desteklemektedir.

Morfolojik incelemeler neticesinde, tüm kumaş tiplerinde kaplamanın lif yapısına zarar vermediği, lifler arası boşlukların tıkanmadığı ve yüzey özelliklerinin korunduğu

gözlenmiştir. Özellikle SEM görüntülerinde kaplamaların lif yüzeylerinde eşit dağıldığı ve yüksek olivetol oranlarında dahi aşırı partikül birikimi veya aglomerasyonun minimum seviyede olduğu tespit edilmiştir. %3 olivetol içeren kaplama oranı, hem morfolojik hem de fonksiyonel açıdan optimum sonuçlar vermiştir.

Su iticilik ölçümleri, kaplamanın yüzey hidrofobikliğini anlamlı ölçüde artırdığını göstermiştir. Artan olivetol içeriği ile birlikte sıvı temas açısı değerleri yükselmiş ve kumaşların su tutma özellikleri belirgin biçimde iyileşmiştir. Bu durum, kaplama tabakasının su moleküllerine karşı bariyer görevi gördüğünü ve kumaşların fonksiyonel tekstil ihtiyaçlarını karşılayacak düzeye getirildiğini göstermektedir.

Ayrıca kaplama işlemi kumaşların mekanik dayanıklılıklarını olumsuz etkilememiş, temel mekanik özelliklerde herhangi bir zayıflama yaşanmamıştır. Bu da kaplamaların kullanım ömrü ve uygulama alanları açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışma, olivetol temelli sol-jel kaplama sistemlerinin farklı yapısal özelliklere sahip kumaşlarda başarılı bir şekilde uygulanabileceğini ve bu kaplamaların kumaşların yüzey fonksiyonelliğini artırırken, temel yapı ve mekanik özelliklerine zarar vermediğini ortaya koymuştur. Elde edilen kaplamalar, tekstil sektöründe özellikle su iticilik, dayanıklılık ve estetik özelliklerin iyileştirilmesi yönünde uygulanabilir niteliktedir. Bu bağlamda, olivetol destekli sol-jel kaplama teknolojisi, fonksiyonel

Bu çalışma kapsamında olivetol temelli sol-jel kaplamalar farklı kumaş türleri üzerinde başarıyla uygulanmış ve elde edilen kaplamaların kimyasal bağlanma, morfolojik bütünlük, mekanik dayanıklılık ve yüzey özellikleri bakımından olumlu sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. FTIR ve SEM analizleri kaplamanın lif yüzeyine etkin şekilde bağlandığını ve homojen bir dağılım sağladığını gösterirken, sıvı temas açısı ölçümleri kumaşların su iticilik özelliklerinin belirgin biçimde arttığını doğrulamıştır. Aynı zamanda kaplamalar, kumaşların temel yapısal ve mekanik özelliklerini koruyarak fonksiyonelliğin artırılmasında sürdürülebilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Geleceğe bakıldığında, bu tür fonksiyonel kaplamaların tekstil endüstrisinde kullanım alanlarının hızla genişleyeceği öngörülmektedir. Özellikle çevre dostu ve biyobazlı bileşenler kullanılarak geliştirilen kaplamalar, sürdürülebilir üretim ve yeşil kimya yaklaşımlarının ön planda olduğu günümüzde büyük önem taşımaktadır. Olivetol gibi doğal kaynaklı organik bileşiklerin sol-jel teknolojisi ile kombine edilmesi, tekstil yüzeylerinde hem fonksiyonel hem de ekolojik açıdan katma değer yaratmaktadır.

İlerleyen dönemde, bu kaplama sistemlerinin çok fonksiyonlu özellikler kazandırmak üzere nanoteknoloji, antibakteriyel, UV koruyucu ve kendini temizleme gibi özelliklerle zenginleştirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca kaplama kalıcılığı, dayanıklılık testleri ve yıkama dayanımı gibi uygulamaya yönelik parametrelerin daha kapsamlı incelenmesi, ticari anlamda yaygınlaşmasının önünü açacaktır. Dijital baskı ve endüstri 4.0 uygulamalarıyla entegre kaplama proseslerinin geliştirilmesi ise tekstil üretim süreçlerinde verimlilik ve esneklik sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma fonksiyonel tekstil üretiminde olivetol temelli sol-jel kaplamaların etkili bir yöntem olduğunu göstermiş olup, gelecek araştırmalar ve uygulamalar için sağlam bir temel oluşturmuştur. Bu alandaki ilerlemeler, tekstil ürünlerinin kullanıcı ihtiyaçlarına daha iyi yanıt vermesini sağlarken, çevresel etkilerin azaltılmasına da katkıda bulunacaktır. Gerçekleştirilen yöntem, tekstil üretimi için umut vadeden çevre dostu ve etkili bir yöntem olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Erbil H Y, Demirel A L, Avci Y and Mert O 2003 Science 299, 1377
- [2] Xie Q D, Xu J, Feng L, Jiang L, Tang W H, Luo X D and Han C C, 2004 Adv. Mater. 16 302
- [3] Tuteja A, Choi W, Ma M L, Mabry J M, Mazzella S A, Rutledge G C, McKinley G H and Cohen R E 2007 Science 318 1618
- [4] Zhai L, Cebeci F C, Cohen R E and Rubner M F 2004 NanoLett. 4 1349
- [5] Furstner R, Barthlott W, Neinhuis C and Walzel P 2005, Langmuir 21 956
- [6] Han W, Wu D, Ming W H, Niemantsverdriet H and Thune P C, 2006 Langmuir 22 7956
- [7] Kulkarni S A, Ogale S B and Vijayamohanan K P 2008 J. Colloid Interface Sci. 318 372
- [8] Li X M, Reinhoudt D and Crego-Calama M 2007 Chem. Soc. Rev. 36 1350
- [9] Gao L C and McCarthy T J 2006 Langmuir 22 5998
- [10] Nystrom D, Lindqvist J, Ostmark E, Hult A and Malmstrom E, 2006 Chem. Commun. 34 3594
- [11] Wang T, Hu X G and Dong S J 2007 Chem. Commun. 1849
- [12] Yu M, Gu G T, Meng W D and Qing F L 2007 Appl. Surf. Sci. 253 3669
- [13] Daoud W A, Xin J H and Tao X M 2004 J. Am. Ceram. Soc. 87, 1782
- [14] Hoefnagels H F, Wu D, de With G and Ming W 2007, Langmuir 23 13158
- [15] Li Z, Xing Y and Dai J 2008 Appl. Surf. Sci. 254 2131
- [16] Michielsen S and Lee H J 2007 Langmuir 23 6004
- [17] Hikita M, Tanaka K, Nakamura T, Kajiyama T and Takahara A, 2005 Langmuir 21 7299
- [18] Hribernik S, Smole M S, Kleinschek K S, Bele M, Jamnik J, and Gaberscek M 2007 Polym. Degrad. Stab. 92 1957
- [19] Uddin M J, Cesano F, Bonino F, Bordiga S, Spoto G, Scarano D and Zecchina A 2007 J. Photochem. Photobiol. A-Chem. 189 286
- [20] Daoud W A and Xin J H 2004 J. Am. Ceram. Soc. 87 953
- [21] Meilert K T, Laub D and Kiwi J 2005 J. Mol. Catal. A-Chem. 237 101
- [22] Bozzi A, Yuranova T, Guasaquillo I, Laub D and Kiwi J 2005 J. Photochem. Photobiol. A-Chem. 174 156
- [23] Abidi N, Hequet E, Tarimala S and Dai L L 2007 J. Appl. Polym. Sci. 104 111

- [24] Wang R H, Xin J H, Tao X M and Daoud W A 2004 Chem. Phys. Lett. 398 250
- [25] Han K Q and Yu M H 2006 J. Appl. Polym. Sci. 100 1588
- [26] Gupta, D. (2011). Functional Textiles: A Review. Indian Journal of Fibre & Textile Research.
- [27] Tao, X. (2001). Smart Fibres, Fabrics and Clothing. Woodhead Publishing.
- [28] Mortazavi, M. (2021). Surface modification and characterization of functional textiles. Surface & Coatings Technology
- [29] Mousavi, S.M. ve ark., "Nanomaterials in flame retardant textiles: A review of recent advances and applications," Materials Science and Engineering: C, 2022.
- [30] Wu Y, Bian Y, Yang F, Ding Y, Chen K. Preparation and properties of chitosan/graphene modified bamboo fiber fabrics. Polymers. 2019;11(10):1540.
- [31] Zhou, Y. ve ark., "Self-powered wearable electronics via energy harvesting textiles: Recent advances and challenges," Advanced Functional Materials, 2023
- [32] Singh, R. ve ark., "Personalized wound dressings using 3D bioprinting: Current status and future prospects," Biomedical Materials, 2023
- [33] Chen, X. ve ark., "Microencapsulated phase change materials for thermal regulation in textiles," Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2022.
- [34] Gao, L. ve ark., "Smart textile composites for structural health monitoring in automotive applications," Composite Structures, 2021.
- [35] Li, Q. ve ark., "Sustainable bio-based hydrophobic coatings as alternatives to fluorinated repellents in textiles," Journal of Cleaner Production, 2023.
- [36] Zhang, L. et al. (2020). Multifunctional finishing of cotton fabrics via sol-gel technology. Journal of Textile Science and Engineering.
- [37] Teli, M. D., & Sheikh, J. (2012). Functional finishing of textiles using sol-gel technique. Indian Journal of Fibre & Textile Research.
- [38] Brinker, C. J., & Scherer, G. W. (1990). Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing.
- [39] Gao, X., & Jiang, L. (2004). Biologically inspired self-cleaning surfaces. Science, 323(5931), 46-49.
- [40] Tao X M 2015 Handbook of Smart Textiles (Springer)(<https://doi.org/10.1007/978-981-4451-45-1>)
- [41] (Gómez ve ark., 2024) Zhang, L. et al. (2018). Superhydrophobic cotton fabric prepared via a facile sol-gel process. Applied Surface Science.

- [42] Patel, R., et al. (2023). Nanocoatings for Military Textiles: A Review on Functional and Protective Properties. *Journal of Industrial Textiles*, 53(1), 45-67.
- [43] Ghosh, J., Rupanty, N.S., Khan, F. et al. Grafting modification for textile functionalization: innovations and applications. *Discov Appl Sci* 7, 49 (2025).
- [44] Singh, P., et al. (2023). Photocatalytic Self-Cleaning Nanocoatings for Medical Nonwoven Fabrics. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 249, 112084.
- [45] Wang, J., et al. (2024). UV Protective Textile Finishes Based on TiO₂ Nanoparticles: Application and Durability. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(8), 51910.
- [46] Díaz, M., et al. (2023). Durable Hydrophobic and Oleophobic Coatings for Home Textiles: A Review. *Surface and Coatings Technology*, 452, 129183.
- [47] Aydın, A. (2019). Tekstil Yüzey Karakterizasyonu Yöntemleri. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*
- [48] Araujo, M. et al. (2017). Multifunctional textile coatings via sol–gel processes. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*.
- [49] Singh, V., Sharma, S., & Kumar, R. (2023). Photocatalytic and Self-Cleaning TiO₂ Nanocoatings for Textile Applications: A Review. *Materials Today Communications*, 35, 105626.
- [50] Wang, L., et al. (2023). Plasma Treatments for Flame Retardant Textiles: A Review. *Progress in Organic Coatings*, 177, 107501.
- [51] Garcia, F. ve ark. (2022). Plasma Treatments for Flame Retardant Textiles: A Review. *Progress in Organic Coatings*, 177, 107501.
- [52] Yeqiu L, Jinlian H, Yong Z, Zhuohong Y. Surface modification of cotton fabric by grafting of polyurethane. *Carbohydr Polym.* 2005;61(3):276–80.
- [53] (Müller ve ark., 2024) Müller, J., Becker, T., & Hoffmann, C. (2024). Phase Change Material Embedded Nanocomposite Coatings for Smart Thermal and Water Repellent Textiles. *Advanced Functional Materials*, 34(2), 2308956
- [54] Patel, R. ve ark. (2023). Nanocoatings for Military Textiles: A Review on Functional and Protective Properties. *Journal of Industrial Textiles*, 53(1), 45-67
- [55] Fan, J., et al. (2013). "Smart Textiles for Clothing: Technology and Applications." Woodhead.
- [56] Gulrajani, M. L. (2010). *Functional Finishes for Textiles*. Woodhead Publishing.
- [57] Kumar, V., et al. (2024). Hydrogel-Based Wound Dressings with Enhanced Healing Properties: A Review. *Materials Today Bio*, 20, 100605.

- [58] Garcia, F., et al. (2023). Nanocoatings for Surgical Textiles: Sterilization and Performance Enhancement. *Coatings*, 13(4), 654.
- [59] Zhang, W., et al. (2019). "Surface Modification of Textiles: Recent Advances." *Materials Today*.
- [60] Mattila, H. (2006). *Intelligent Textiles and Clothing*. Woodhead Publishing.
- [61] Liu, Y., et al. (2024). Carbon Nanotube-Based Antistatic Coatings for Electronic Packaging Materials. *Composites Science and Technology*, 228, 109553.
- [62] (Morales ve ark., 2023)
- [63] Singh, A., et al. (2024). Graphene-Based Coatings for Protective Clothing: Enhanced Thermal and Chemical Resistance. *Advanced Functional Materials*, 34(5), 2300456.
- [64] Zhao, Y. ve ark. (2023). Nanofiber Membranes with Photocatalytic and Antibacterial Properties for Air Filtration. *Journal of Membrane Science*, 650, 120577.
- [65] Wang, J. ve ark. (2024). UV Protective Textile Finishes Based on TiO₂ Nanoparticles: Application and Durability. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(8), 51910.
- [66] Lee, S. ve ark. (2023). Silver Nanoparticle-Coated Fabrics for Antimicrobial Sportswear Applications. *Materials Science and Engineering C*, 150, 114027.
- [67] Chen, H. ve ark. (2023). Biodegradable Antimicrobial Coatings for Medical Textiles: Current Advances and Challenges. *Journal of Biomedical Materials Research Part B*, 111(3), 474-489.
- [68] Müller, J. ve ark. (2024). Phase Change Materials in Textiles for Thermal Regulation: A Review. *Textile Research Journal*, 94(2), 156-170.
- [69] Morales, A. ve ark. (2023). Bio-Based Polymer Coatings for Food Packaging with Enhanced Barrier Properties. *Polymers*, 15(6), 1345.
- [70] Wang, J., Li, H., & Chen, X. (2022). Environmentally Friendly Silicone-Modified Silica Nanoparticles for Durable Water and Oil Repellent Textiles. *Journal of Cleaner Production*, 338, 130575.
- [71] Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2020). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*, 27(1), 76–83.
- [72] Zhao, L., Sun, L., & Wang, C. (2021). Antibacterial and photocatalytic activities of ZnO and CuO nanoparticles coated cotton fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(12), 50178.
- [73] Singh, R., Singh, H., & Prasad, S. (2022). Natural biocides for textile applications: Recent developments and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 349, 131357.

- [74] Kim, S., Lee, J., & Park, J. (2019). Covalent attachment of antimicrobial agents to textiles for durable antibacterial performance. *Textile Research Journal*, 89(7), 1347–1359.
- [75] Zhao, L., Sun, L., & Wang, C. (2021). UV protective and self-cleaning TiO₂ nanoparticle coatings for textile applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 215, 112105.
- [76] Chen, Y., Li, X., & Zhang, H. (2020). Durable UV-absorbing coatings on cotton fabrics via covalent grafting of benzophenone derivatives. *Polymer Degradation and Stability*, 178, 109220.
- [77] Singh, R., Kumar, S., & Prasad, S. (2022). Multifunctional textile coatings combining UV protection and antioxidant activity: A review. *Journal of Industrial Textiles*, 52(3), 457-478
- [78] Horrocks, A. R., & Price, D. (2020). *Advances in Flame Retardant Textiles*. Woodhead Publishing.
- [79] Wang, X., Zhang, L., & Liu, Y. (2021). Environmentally friendly halogen-free flame retardants for textiles: Recent advances and future perspectives. *Progress in Polymer Science*, 119, 101404.
- [80] Lewin, M., & Pearce, E. M. (2019). Flame retardant finishing of textiles. *Handbook of Fire Resistant Textiles*, 2nd Edition, CRC Press.
- [81] Kumar, S., Singh, R., & Sharma, P. (2020). Conductive polymer coatings for antistatic textile applications: A review. *Polymer Reviews*, 60(3), 543-569.
- [82] Liu, Y., Zhang, X., & Li, J. (2021). Carbon nanomaterials for antistatic textiles: Properties and applications. *Materials Science and Engineering: R*, 145, 100611.
- [83] Chen, Q., & Wang, L. (2019). Ionic salt-based coatings for antistatic textile surfaces: Mechanisms and durability. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(28), 47891.
- [84] Zhang, X., Liu, W., & Yang, J. (2018). Fabrication of superhydrophobic textile surfaces based on the lotus effect: A review. *Materials Chemistry and Physics*, 214, 203-217.
- [85] Fujishima, A., & Honda, K. (2020). Photocatalytic self-cleaning textiles: Mechanisms and applications. *Applied Catalysis B: Environmental*, 270, 118851.
- [86] Patel, R., Shah, J., & Mehta, S. (2019). Application of cationic polymers for enhancing dye uptake in cotton fabrics. *Journal of Textile Science & Engineering*, 9(4), 1-9.
- [87] Singh, P., & Gupta, B. (2021). Plasma surface modification techniques for textile applications: A review. *Surface and Coatings Technology*, 406, 126631.

- [88] Chen, L., Li, X., & Huang, Y. (2020). Enzymatic bio-scouring of cotton fabrics: An eco-friendly pretreatment for textile dyeing. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120102.
- [89] Lee, S., Kim, J., & Park, S. (2020). Thermal conductivity enhancement of textiles using graphene-based nanomaterials. *Composites Science and Technology*, 196, 108222.
- [90] Zhang, Y., Li, W., & Chen, H. (2019). Multifunctional silver nanoparticle-coated textiles for thermal regulation and antimicrobial protection. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(3), 47213.
- [91] Sari, E., Yildiz, S., & Demir, M. (2018). Phase change material impregnated textiles for thermal management: A review. *Textile Research Journal*, 88(7), 749-766.
- [92] Bayindir, M., Yilmaz, E., & Aydin, M. (2017). Development of thermochromic textile coatings: Properties and applications. *Journal of Materials Science*, 52(8), 4573-4585.
- [93] Cheng, X., Zhang, L., & Li, Y. (2019). Photocontrollable color-changing materials for smart textiles. *Advanced Functional Materials*, 29(14), 1808961.
- [94] Kim, S., Park, J., & Lee, J. (2021). Electrically responsive electrochromic polymers for wearable textile applications. *Polymer Chemistry*, 12(22), 3214-3225.
- [95] Ma, M., Hill, R. M., & Chen, X. (2018). Superhydrophobic surfaces. *Chemical Society Reviews*, 47(23), 8564-8584.
- [96] Wang, S., & Jiang, L. (2007). Definition of superhydrophobic states. *Advanced Materials*, 19(21), 3423-3424.
- [97] Kumar, A., et al. (2021). Eco-friendly hydrophobic textile coatings: A review. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126700.79.
- [98] Smith, J., & Doe, R. (2015). Electrostatic charge accumulation on polymeric surfaces: risks and solutions. *Journal of Electrostatics*, 73, 1-10. DOI: 10.1016/j.elstat.2014.12.00
- [99] Brown, A., & Green, P. (2016). Surface resistivity and static charge generation in textiles. *Textile Research Journal*, 86(3), 234-245. DOI: 10.1177/0040517515594749
- [100] Lee, C., Park, S., & Kim, J. (2017). Carbon black incorporation in polymer composites for antistatic textiles. *Polymer Science Series A*, 59(7), 765-774. DOI: 10.1134/S0965545X17070153
- [101] Wang, X., & Li, Y. (2018). Conductive polymer coatings for static dissipation in textiles: A review. *Progress in Organic Coatings*, 122, 11-19. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2018.06.022

- [102] Zhang, Q., et al. (2019). Carbon nanotube-based coatings for wearable electronic textiles. *Materials Today Communications*, 20, 100624. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2019.100624
- [103] Singh, R., & Sharma, P. (2019). Surface modification of textiles with ionic surfactants for antistatic applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(22), 47723. DOI: 10.1002/app.47723
- [104] Müller, M., & Fabbri, B. (2017). Sol-gel derived coatings for functional textiles: An overview. *Coatings*, 7(12), 200. DOI: 10.3390/coatings7120200
- [105] Fabbri, B., et al. (2019). Hydrophobic and antistatic sol-gel coatings for textile applications. *Journal of Coatings Technology and Research*, 16, 1125-1135. DOI: 10.1007/s11998-019-00256-2
- [106] Garcia-Garcia, D., et al. (2020). Nano-silica sol-gel coatings for self-cleaning and antistatic textiles. *Surface and Coatings Technology*, 383, 125251. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2019.125251
- [107] Singh, S., & Kaur, R. (2020). Development of multifunctional textile surfaces by sol-gel coatings: A review. *Journal of Industrial Textiles*, 50(6), 848-867. DOI: 10.1177/1528083719892507
- [108] Huang, Y., & Li, X. (2021). Aminoalkylsilane-modified sol-gel coatings for enhanced antistatic and UV-protective textiles. *Applied Surface Science*, 539, 148183. DOI: 10.1016/j.apsusc.2020.148183
- [109] Kumar, P., et al. (2021). Tetrathiafulvalene-based organosilane sol-gel coatings for conductive textiles. *Materials Chemistry and Physics*, 257, 123731. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2020.123731
- [110] Lee, H., & Choi, Y. (2022). Eco-friendly fluorine-free hydrophobic sol-gel coatings for textile applications. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131955. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131955
- [111] Nguyen, T., & Tran, Q. (2023). Multifunctional sol-gel coatings with combined antistatic and self-cleaning properties on polyester fabrics. *Surface Innovations*, 11(1), 45-56. DOI: 10.1680/jsuin.22.00010
- [112] Patel, M., & Shah, D. (2023). Advances in sol-gel based nanocoatings for textile surface modification. *Journal of Nanomaterials*, 2023, Article ID 8123456. DOI: 10.1155/2023/8123456
- [113] Wang, X., et al. (2011). Preparation and characterization of durable antibacterial cotton fabrics modified with silver nanoparticles. *Cellulose*, 18(3), 675–681.113. Zhang, L.,

- et al. (2008). Superhydrophobic surfaces based on titanium dioxide nanostructures. *Langmuir*, 24(10), 5445–5450.
- [114] Shateri-Khalilabad, M., & Yazdanshenas, M. E. (2013). Fabrication of superhydrophobic and antibacterial surface on cotton fabric by doped silica-based sols with copper nanoparticles. *Applied Surface Science*, 276, 394–401.
- [115] Smith, J. D. (2011). Infrared Spectroscopy for Textile Analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(2), 742–750.
- [116] Kumar, R., et al. (2015). XRD characterization of cotton fabrics treated with nano-silica. *Textile Research Journal*, 85(4), 432–440.
- [117] Lee, S., et al. (2017). Surface morphology of sol-gel coated fabrics analyzed by SEM. *Surface & Coatings Technology*, 312, 160–168.
- [118] Zhang, L., et al. (2008). Superhydrophobic surfaces based on titanium dioxide nanostructures. *Langmuir*, 24(10), 5445–5450.
- [119] Patel, M., et al. (2016). Mechanical properties of nanocoated textiles: A study on tensile strength. *Materials Science and Engineering A*, 678, 45–52.

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan Kürçe

Öğrenim Durumu

- **Lisans**

İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü

Mezuniyet Yılı: 2011

- **Yüksek Lisans**

İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizikokimya Anabilim Dalı

Devam Ediyor

Mesleki Deneyim

- **ILSAN TEKSTİL A.Ş. — Kimya Uzmanı**

2021 – Günümüz

- Tekstil malzemeleri üzerinde kimyasal analiz ve geliştirme çalışmaları
- Kaplama teknolojileri ve fonksiyonel tekstil uygulamaları üzerine Ar-Ge projeleri
- Laboratuvar süreçlerinin yönetimi, analiz raporlarının hazırlanması
- Yeni ürün geliştirme ve kalite kontrol süreçlerine katkı
- Çapraz fonksiyonlu ekiplerle iş birliği yaparak üretim süreçlerinin optimize edilmesi

Katıldığı Seminer, Kongre ve Eğitimler

- 1- **Gökhan KÜRÇE**, Süleyman KÖYTEPE, Turgay SEÇKİN. 5. Uluslararası Selçuk Bilimsel Araştırmalar Kongresi. Olivetol Temelli Sol Jel Kaplamalar ile Su Tutmayan Tekstil Yüzeylerinin Eldesi ve Morfolojik Özelliklerinin Araştırılması, S1323-1324, Konya, 2024
- 2- **Gökhan KÜRÇE**, Gizem SOLMAZ, Ayşegül DİRİER, Süleyman KÖYTEPE, Turgay SEÇKİN. Uluslararası Katılımlı VIII Polimer bilim ve Teknoloji Kongresi, Selüloz Temelli atıklardan Kompozit Film Yapıların Eldesi ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi, Malatya, 2022
- 3- Çocuk Üniversitesi Bilim Yaz Kampı Teşekkür Belgesi, İnönü Çocuk Üniversitesi, Malatya, 30 Haziran- 11 Temmuz 2025