



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ANTİMİKROBİYAL TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİNDE AG-TiO₂ VE ZNPT KOMPLEKSLERİNİN
KULLANIMI**

UTKU SARI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SERPİL UĞRAŞ**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ANTİMİKROBİYAL TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİNDE AG-TİO₂ VE ZNPT KOMPLEKSLERİNİN
KULLANIMI

Utku SARI tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı' nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Serpil UĞRAŞ
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Serpil UĞRAŞ
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Başaran DÜLGER
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Tamer AKKAN
Giresun Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 30/06/2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

30 Haziran 2022

Utku SARI



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanma süresinde desteğini ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam Doç. Dr. Serpil UĞRAŞ' a en içten dileklerle teşekkür ederim. Bu çalışma için sentezlenen Gümüş-Titanyum Dioksit (Ag-TiO₂), Çinko Piriton (ZnPT) kompleksi ve kullanılan diğer kimyasalların temin edilmesini sağalayan Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölüm Başkanı Prof. Dr. Halil İbrahim UĞRAŞ ve ekibine bu çalışmaya desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili anneme, Pakmaya Düzce Fabrika Kalite Güvence Şefi Sn. Sibel SAĞLAM' a, Fabrika Müdürü Sn. Orkun TÜRKMEN' e ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi DÜ.BAP-2021.05.01.1183 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

30 Haziran 2022

Utku SARI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR	IX
SİMGELER.....	X
ÖZET	XI
ABSTRACT.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. MİKROORGANİZMALARIN TEKSTİL ÜZERİNE ETKİLERİ	4
1.2. ANTİMİKROBİYAL TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ 6	
1.2.1. Hastanelerde Kullanılan Medikal Antimikrobiyal Tekstil Ürünleri	7
1.3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ANTİMİKROBİYAL	
MADDELER	9
1.3.1. Gümüş Moleküllerinin Antimikrobiyal Etkinliği	12
1.3.2. Çinko Moleküllerinin Antimikrobiyal Etkinliği	12
1.4. ANTİMİKROBİYAL LİF VE TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN ÜRETİM	
TEKNİKLERİNE UYGULANABİLİRLİĞİ	13
1.5. DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR.....	14
1.6. AMAÇ	15
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
2.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN Ag-TiO ₂ ve ZnPT KOMPLEKSLER	16
2.2. ÇALIŞMADA KULLANILAN MİKROORGANİZMALAR VE GENEL	
ÖZELLİKLERİ	16
2.3. Ag-TiO ₂ ve ZnPT KOMPLEKSLERİNİN ANTİMİKROBİYAL	
AKTİVİTE ÇALIŞMALARI.....	17
2.3.1. Katı Formda Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO ₂ Komplekslerinin	
Antimikrobiyal Aktivite Analizi	18
2.3.2. Agar Kuyu Difüzyon Yöntemi ile Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-	
TiO ₂ ve ZnPT Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analizi.....	18

2.3.3. Agar Disk Difüzyon Yöntemi ile Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO ₂ ve ZnPT Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analizi.....	19
2.4. Ag-TiO ₂ VE ZnPT KOMPLEKSİNİN TEKSTİL NUMUNELERİNE APLİKASYON DENEMELERİ VE OPTİMİZASYON	19
2.4.1. Konsantrasyon Optimizasyonu ve MİK Tayini.....	20
2.4.2. Komplekslerin Minimum Bakterisidal Konsantrasyonu (MBK) Tayini	21
2.5. APLİKASYON SONRASI STABİLİTE ÇALIŞMALARI.....	22
2.7. SİTOGENETİK ÇALIŞMALAR	23
3. BULGULAR.....	24
3.1. Ag-TiO ₂ ve ZnPT KOMPLEKSLERİNİN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTE ANALİZ BULGULARI.....	24
3.1.1. Katı Formda Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO ₂ Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analiz Bulguları.....	24
3.1.2. Agar Kuyu Difüzyon Yöntemi ile Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO ₂ ve ZnPT Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analiz Bulguları.....	25
3.1.3. Agar Disk Difüzyon Yöntemi ile Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO ₂ ve ZnPT Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analiz Bulguları.....	27
3.2. Ag-TiO ₂ ve ZnPT KOMPLEKSLERİNİN OPTİMUM APLİKASYON PARAMETRELERİ	28
3.2.1. Optimum Sıcaklık ve Süre	30
3.3. KOMPLEKSLERİN MİNİMUM BAKTERİSİDAL KONSANTRASYONU (MBK) TAYİNİ BULGULARI.....	32
3.4. STABİLİTE SONUÇLARI	34
3.5. Ag-TiO ₂ ve ZnPT KOMBİNASYONUNUN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTE DÜZEYİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ.....	36
3.6. SİTOTOKSİSİTE SONUÇLAR.....	37
4. TARTIŞMA	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	48
6. KAYNAKÇA	50
ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Shake flask metodu.....	21
Şekil 3.1. Ag-TiO ₂ nanotaneceklerin SEM görüntüsü	24
Şekil 3.2. Antimikrobiyal aktivite sonuçları	25
Şekil 3.3. Agar kuyu difüzyon aktivite sonuçları	26
Şekil 3.4. Agar disk difüzyon aktivite sonuçları.....	27
Şekil 3.5. Aplikasyon uygulamaları.....	29
Şekil 3.6. Optimum şartlarda aplikasyon sonrası Ag-TiO ₂ mik tayini	31
Şekil 3.7. Optimum şartlarda aplikasyon sonrası ZnPT mik tayini	32
Şekil 3.8. Optimum aplikasyon koşulları.....	32
Şekil 3.9. Shake flask metodu ile MBK.....	33
Şekil 3.10. Shake flask metodu ile MBK testi Ag-TiO ₂ için	33
Şekil 3.11. Shake flask metodu ile MBK testi ZnPT için.....	33
Şekil 3.12. Shake flask metodu ile MBK testi negatif kontrol için	34
Şekil 3.13. Ag-TiO ₂ maddesinin yıkama testi sonuçları.....	35
Şekil 3.14. ZnPT maddesinin yıkama testi sonuçları.....	35
Şekil 3.15. Aplikasyon sonrası tekstil numunelerinin süreye bağlı stabilite sonuçları... 36	
Şekil 3.16. Optimum şartlarda aplikasyon sonrası maddelerin MİK tayini.....	37
Şekil 3.17. Sitotoksisite deneyi.....	37
Şekil 3.18. Ag-TiO ₂ kompleksinin sitotoksisite sonucu	38
Şekil 3.19. ZnPT kompleksinin sitotoksisite sonucu	38

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Tekstilde materyallerinde bulunan mikroorganizmalar ve etkileri.....	5
Çizelge 1.2. Hastane tekstillerindeki mikroorganizmalara ilişkin bulgular.....	8
Çizelge 1.3. Tekstil endüstrisinde kullanılan antimikrobiyal maddeler	11
Çizelge 2.1. Çalışmada kullanılan indikatör mikroorganizmalar ve bazı özellikleri.....	16
Çizelge 2.2. Ag-TiO ₂ ve ZnPT komplekslerinin aplikasyon optimizasyonu.....	20
Çizelge 2.3. Kompleks kombinasyonunun antimikrobiyal aktivite düzeyine etkisi.....	23
Çizelge 3.1. Komplekslerin kuyu difüzyon tarama verileri.....	26
Çizelge 3.2. Komplekslerin disk difüzyon tarama verileri	28
Çizelge 3.3. Ag-TiO ₂ kompleksinin kumaş aplikasyon proses akış şeması	28
Çizelge 3.4. ZnPT kompleksinin kumaş aplikasyon proses akış şeması	29
Çizelge 3.5. Ag-TiO ₂ ve ZnPT komplekslerinin antimikrobiyal aktivite sonuçları	31
Çizelge 3.6. Shake flask metodu sonuçları	34

KISALTMALAR

AG	Gümüş
AIDS	Kazanılmış bağışıklık yetersizliği sendromu
AMM	Antimikrobiyal maddeler
Ar-Ge	Araştırma geliştirme
ATCC	Amerikan tipi kültür koleksiyonu
CAE	Cerrahi alan enfeksiyonu
CFU	Koloni oluşturma birimi
CFU	Koloni oluşturan birim
DK	Dakika
DNA	Deoksiribo nükleik asit
H	Saat
IC ₅₀	Yarı maksimum inhibisyon konsantrasyonu
M.Ö	Milattan önce
dH ₂ O	Distile su
M.Ö.	Milattan önce
MBC	Minimum bakterisidal konsantrasyon
MİK	Minimal inhibisyon konsantrasyonu
MRSA	Metisiline dirençli stafilokok aureus
NA	Nutrient agar
NB	Nütrient broth
NCCLS	Klinik ve laboratuvar standartları enstitüsü
NK	Negatif kontrol
NK	Negatif kontrol
PES	Polyester iplik
PES	Polyester kumaş
PK	Pozitif kontrol
RNA	Ribo nükleik asit
TEAM	Tekstil araştırma ve eğitim Merkezi
TiO ₂	Titanyum dioksit
UV	Ultraviyole
ZnPT	Çinko prition

SİMGELER

g	Gram
L	Litre
μg	Mikrogram
μL	Mikrolitre
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
cm^2	Santimetre kare
m^2	Metre kare
%	Yüzde



ÖZET

Antimikrobiyal Tekstil Ürünlerinin Geliştirilmesinde Ag-TiO₂ ve ZnPT Komplekslerinin Kullanımı

Utku SARI

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Serpil UĞRAŞ

Haziran 2022, 56 sayfa

Bu çalışmada sentezlenen Ag-TiO₂ ve ticari ZnPT komplekslerinin antimikrobiyal tekstil geliştirmede kullanılması amaçlanmıştır. Çalışmada %70 pamuk ve %30 polyester içeren tekstil malzemesi kullanılmıştır. Kompleksler, çektirme yöntemi ile tekstil materyali üzerine uygulanmıştır. Tekstil numunelerinin antimikrobiyal aktivitesi AATCC 147 yöntemi ile belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, Ag-TiO₂ ve ZnPT kompleksleri, *E. cloaceae*, *E. faecalis*, *S. typhimurium*, *S. epidermidis*, *P. vulgaris*, *Y. pseudotuberculosis*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *B. subtilis*, *E. coli*, *L. monocytogenes* ve *C. albicans* dahil olmak üzere tüm test mikroorganizmalarına karşı antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Tekstil materyali üzerine optimum uygulama koşulları, 50°C' de 60 dakika aplikasyon ve 70°C' de 60 dakika kurutma olarak belirlenmiştir. Uygulama için optimum konsantrasyon değerleri Ag-TiO₂ için 4g/L ve ZnPT için 0.01g/L olarak belirlenmiş ve bu değerlerin shake-flask yöntemi ile bakterisidal konsantrasyon (MBC) olduğu gösterilmiştir. Optimum koşullarda gerçekleştirilen uygulama sonrasında tekstil numunelerinin ciddi antimikrobiyal özellikler kazandığı ve tekstil malzemelerinin çevresinde 30 mm' den daha büyük bir inhibisyon zonu oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca tekstil malzemelerinin antimikrobiyal aktivitelerinin 10 tekrarlı yıkamaya kadar dayanıklı olduğu, açık hava ve oda sıcaklığında 25 günden fazla kalıcı olduğu belirlenmiştir. Ag-TiO₂ ve ZnPT karşılaştırıldığında ZnPT' nin daha aktif ve daha dayanıklı olduğu söylenebilir. *Allium cepa* L. ile yapılan sitogenetik çalışmalar sonucunda, ≤ 0.1g/L konsantrasyonunun toksik bir etkisi görülmemiştir. Bu çalışma sonucunda Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin antimikrobiyal tekstillerin geliştirilmesinde kullanılabileceği ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ag-TiO₂, Aplikasyon, Antimikrobiyal aktivite, Tekstil, ZnPT

ABSTRACT

Use of Ag-TiO₂ and ZnPT Complexes in the Development of Antimicrobial Textile Products

Utku SARI

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Biology

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serpil UĞRAŞ

June 2022, 56 pages

In this study, it was aimed to use the synthesized Ag-TiO₂ and commercial ZnPT complexes in the development of antimicrobial textile. Textile materials containing 70% cotton and 30% polyester were used in the study. The complexes were applied on textile material by exhausted process. Antimicrobial activity of textile samples was determined by AATCC 147 method. As a result of these studies, Ag-TiO₂ and ZnPT complexes have antimicrobial activity against all test microorganisms including *E. cloaceae*, *E. faecalis*, *S. typhimurium*, *S. epidermidis*, *P. vulgaris*, *Y. pseudotuberculosis*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *B. subtilis*, *E. coli*, *L. monocytogenes* and *C. albicans*. Optimum conditions of application on textile material were determined that application at 50°C for 60 min and drying at 70°C for 60 min. Optimum concentration values for the application were determined as 4g/L for Ag-TiO₂ and 0.01g/L for ZnPT, and these values were shown as bacteriocidal concentration (MBC) by shake-flask method. After the application carried out under optimum conditions, it was observed that the textile samples gained serious antimicrobial properties and formed an inhibition zone larger than 30 mm around the textile materials. Furthermore, it has been determined that the antimicrobial activities of textile materials were durable up to 10 repeated washings and it was permanent for more than 25 days under open air and room temperature conditions. When Ag-TiO₂ and ZnPT are compared, it can be said that ZnPT is more active and more durable. As a result of cytogenetic studies with *Allium cepa* L, no toxic effect was observed at rates of ≤ 0.1 g/L. As a result of this study, it has been revealed that Ag-TiO₂ and ZnPT complexes can be used in the development of antimicrobial textiles.

Keywords: Ag-TiO₂, Application, Antimicrobial activity, Textile, ZnPT

1. GİRİŞ

Temel olarak dokunmuş kumaş anlamına gelen tekstil, geniş ürün yelpazesi ile ilk çağlardan bu yana insan yaşamında önemli bir yer almaktadır. Geleneksel olarak örtme, koruma, süsleme amaçlı kullanılan tekstil ürünlerine, bu fonksiyonlarına ek olarak günümüzde farklı ihtiyaçlara cevap verecek yeni özellikler kazandırılmaktadır [1]. Tekstil ürünleri yapıları ve kullanım alanları açısından mikroorganizmaların yaşaması ve çoğalması için uygun inkübasyon ortamları sağlamaktadır [2]. Çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük ve tek hücreli canlılar olan mikroorganizmalar, soluduğumuz havada, temas ettiğimiz yüzeylerde, vücudumuzun hemen hemen her yerinde, giyindiğimiz giysilerde ve her alanda kullandığımız tekstil ürünlerinde bulunmaktadır. Mikroorganizmaların tekstil ürünlerinde çoğalması başta sağlık olmak üzere, fonksiyonel ve estetik açıdan da problemlere neden olmaktadır. Tekstil alanında mantar ve bakteriler oldukça büyük sorunlara neden olan mikroorganizmalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Mantar ve bakteriler, genellikle tekstil ürünlerinde simbiyotik bir ilişki içerisindedir [3], [4]. Tekstil ürünlerinde gelişebilen patojenik mikroorganizmalar insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri olan ciddi enfeksiyonlara sebep olabilmektedir. Özellikle cerrahinin en önemli sorunlardan biri cerrahi alan enfeksiyonları olarak bildirilmektedir. Yapılan araştırmalarda hasta vücut sıvıları ile temas eden sağlık çalışanlarının, hasta bakım ekipmanları, hastane ve ameliyat odalarında kullanılan tekstil ürünlerinin cerrahi alan enfeksiyonlarının gelişimine neden olabileceği bildirilmektedir [5], [6].

Bu gibi sebepler ve özellikle son yıllarda görülen salgın hastalıklar, artan nozokomiyal enfeksiyonlar ve hijyen bilincinin artması antimikrobiyal tekstil ürünlerine olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Günümüzde artan ihtiyacı karşılamak üzere, tekstil ürünlerine antimikrobiyal etki kazandırmak amacıyla triklosan, kitosan, kuaterner amonyum tuzları, gümüş, bakır, çinko, gibi metaller kullanılmaktadır [1], [7], [8]. Tekstil ürünlerine antimikrobiyal etki kazandırmanın amacı medikal ve hijyen sorunlarına sebep olan patojenik özellikli ve konfor kaybına neden olan mikroorganizmalara karşı hem kullanıcıyı hem de tekstil ürünlerini korumaktır [9], [10].

Mikroorganizmaların tekstil ürünlerinde oluşturdukları zarar eski dönemlere dayanmaktadır. Bu zararlara karşı alınan önlemler konusunda ilk kayıtlar Mısır uygarlığına kadar dayanmaktadır. Mısırlılar, mumyaların sarıldığı kumaşların korunması amacıyla inorganik tuz, baharat ve bitki kullanmışlardır. Yine 1970' li yıllarda Şangay' da yapılan arkeolojik çalışmalarda, ipekten temin edilmiş tekstil materyallerinin binlerce yıldır çok iyi korunduğu bildirilmiştir. Tekstil ürünlerine yönelik koruma çalışmaları, İkinci Dünya Savaşı sırasında, araç örtüsü ve tentelik olarak kullanılan pamuklu kumaşların çürümelerinin önlenmesine bakır, klorinlenmiş balmumu ve antimon tuzlarının karışımı kullanıldığı görülmektedir. Ancak bu tür uygulamalar, hem ekonomik yönden elverişsiz hem de kullanışsız olması açısından endüstride kullanım oranı oldukça sınırlı kalmıştır. Daha sonraki yıllarda mikroorganizmalara karşı dirençliliği doğal liflere göre daha yüksek olan akrilik, naylon, PES gibi sentetik liflerin tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmıştır [4], [11].

Bununla birlikte son yıllardaki teknojik gelişmelerle tekstil sektöründe kullanılabilecek ve tekstil materyallerine uygulanabilecek birçok antimikrobiyal madde geliştirilmiştir. Bu kimyasal maddeler çalışma mekanizmalarına, insan ve çevreye etkilerine, yapılarına, uygulandıkları yüzeyde tutunma karakteristiklerine, farklı dış koşullara dayanıklılıklarına, fiyat ve mikroorganizmalara karşı gösterdikleri etkilere göre birbirlerinden oldukça farklı çalışma mekanizmalarına sahiptir [8]. Tekstil ürünlerine antimikrobiyal etki kazandırmak amacıyla triklosan, kitosan, kuaterner amonyum tuzları, çinko, bakır ve gümüş gibi çeşitli metaller kullanılmaktadır [1], [7]. Son yıllarda, tekstil sektöründe kullanılan sentetik yapıdaki antimikrobiyal maddelerin insan sağlığına beklenmedik ve istenmeyen yan etkiler oluşturmasının yanı sıra mikroorganizmaların bu maddelere karşı direnç kazanması durumu göz önüne alındığında, tekstil sektöründe doğal antimikrobiyal maddelerin kullanımı ve temini önem kazanmıştır [12]–[14].

Bunlar içerisinde gümüş tekstil ürünlerinin işlenmesinde en yaygın kullanılan doğal antimikrobiyal madde olarak kaşımıza çıkmaktadır. Gümüşün antimikrobiyal özelliği çok eski dönemlerden buyana bilinmektedir. Gümüşün, M.Ö. 1000' li yıllarda su dezenfektasyonunda, yanıklar ve kronik ülserlerin tedavisinde kullanıldığı, içme sularının temiz kalması amacıyla Romalıların ve Arapların, su torbalarında gümüş para tuttukları 1800' lü yıllarda ise gümüşün göz damlası olarak kullanıldığı bildirilmektedir. Daha sonraki dönemlerde yanıkların tedavisinde rutin bir şekilde kullanılmaya devam etmiştir. Günümüzde gümüş içerikli yara örtülerinin antibiyotiğe dirençli bakterilere karşı

kullanıldığı ve etkinliğe sahip olduğu bildirilmektedir [4], [15], [16].

Gümüş türlerinin *S. aureus*, *E. coli*, *Pseudomonas* sp. ve *Klesiella* sp. gibi yaklaşık olarak 650 bakteri türüne karşı inhibisyon aktiviteye sahip olduğu bildirilmekle birlikte, bakterilerin yanı sıra, mantar ve virüs gibi patojenik mikroorganizmalara karşı da etki gösterdiği bilinmektedir. [15]. Gümüşün antimikrobiyal mekanizmasının detayları henüz çok net açıklanamamakla birlikte, gümüş iyonlarının, mikroorganizmalardaki enzimlerin ve DNA yapılarında bulunan karboksilatlar, tiyoller, amidler ve imidazoller gibi elektron taşıyan bileşiklere bağlanarak inaktif hale getirdikleri bildirilmektedir [17]. Tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde gümüş içerikli moleküllerin kullanımı oldukça önemli bir yere sahiptir. Gümüşün cilde zarar vermemesi, tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde gümüşün kullanımını desteklemektedir. Ayrıca, gümüşün antimikrobiyal madde olarak çok geniş spektrumlu olması, bakteri direncinin gümüşe neredeyse hiç olmaması, düşük konsantrasyonlarda toksik etkisi olmaması, rahat işlenebilir olması ve maliyetlerinin çoğu malzemeye göre daha ucuz olması ve üretiminin kolay olması gibi birçok avantajı bulunmaktadır [15].

Günümüzde, gümüş tekstil ürünlerinin eldesinde kullanılan çok sayıda ticari antimikrobiyal sentetik lif ve iplik üretiminde kullanılmaktadır. Ultra-Fresh®, Silpure®, AlphaSan®, Bioactive®, SmartSilver® bunlara örnek olarak verilebilir [14]. Gümüş katkılı antimikrobiyal maddeler insan, çevre sağlığı ve toksisite göz önüne alındığında en kullanışlı maddeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Pek çok metal antimikrobiyal etkiye sahip olmasına karşın gümüşün avantajlı özellikleri sayesinde farklı metallere göre daha çok tercih edilmektedir. Gümüşün bakterilere karşı en dirençli metal olması tercih edilmesinin başlıca sebeplerinden biridir, düşük konsantrasyonlarda kullanımında insan vücuduna karşı toksik etkilerinin bulunmaması, gümüşün geçmişten günümüze kullanılan gerek sağlık gerekse tekstil ürünlerinde kullanılan geleneksel bir madde olmasının en başlıca nedenlerindedir. Gümüş molekülleri belirtildiği üzere, antivirüs, antibakteriyel ve antifungal özellikleri sebebiyle tekstil sektöründe, dokumacılık, kozmetik ve farmakoloji sektöründen halı sanayisine kadar pek çok alanda önemli bir yere sahiptir [18]. Yine tekstil ürünlerinin işlenmesinde en yaygın kullanılan doğal antimikrobiyaller içerisinde çinko içerikli kompleksler önemli bir yer almaktadır.

Çinko piriton (ZnPT) bakteriosidal ve fungisidal aktiviteye sahip organometalik bir bileşiktir. Kepek kontrolü amacıyla şampuanlarda en çok kullanılan antifungal ajandır. ZnPT 1950' lerde geliştirilmiş ve ilk olarak 1961' de kepek önleyici ajan olarak

kullanılmıştır [4], [15], [16]. Günümüzdeki salgın hastalıklardan biri olan SARS koronavirüsünün hücre kültürlerinde düşük konsantrasyonlarda çinko ve piriton kombinasyon uygulamaları hücre replikasyonunu inhibe ettiği tespit edilmiştir [17]. ZnPT ciltle uyumlu ve eko güvenlidir [14]. ZnPT tüketim hacminin ana oranını esas olarak kepek, seboreik dermatit ve sedef hastalığının tedavisi gibi tekstil dışı kullanımlar oluşturmaktadır [14], [18], [19]. Diğer uygulamalar arasında tekstiller, yapıştırıcılar, boyalar, tel/kablo izolasyonu ve zemin kaplamaları yer almaktadır [19]. Çinko piritonun kremler, spreyle ve şampuanlar için kullanımı ciddi seviyelerde iken tekstil alanında kullanımı Si-QAC and TCS gibi tekstil antimikrobiyallerinden oldukça düşüktür[14]. Artan talep karşısında tekstil endüstrisindeki uygulamaları hızla artmaktadır.

1.1. MİKROORGANİZMALARIN TEKSTİL ÜZERİNE ETKİLERİ

Mikroorganizmalar çok küçük olup çıplak gözle görülemeyen ancak mikroskop yardımı ile görülebilen organizmalara verilen genel tanımdır. Farklı özelliklerdeki mikroorganizmalar dünya üzerinde bulunan en soğuk yerler olan buzullardan, en derin okyanuslara, yüksek sıcaklıktaki kaynar sulara kadar bir çok ekstrem ortamda yaşamlarını sürdürebilirler. İnsan ve canlı vücudunun farklı bölgelerinde çok çeşitli mikroorganizmalar, vücut ile bir uyum içinde yaşamaktadır. Bedenimize giydiğimiz tekstil malzemeleri ve derimiz bu mikroorganizmaların hayatta kalabilmesi için son derece uygun ortamlar yaratmaktadır. Tekstil materyallerinin yüzeyleri ve özellikle doğal olan elyaf çeşitleri, besin kaynağı olma özellikleri, geniş yüzey alanları, lifler arasındaki boşluklar ve bu liflerin nem tutma özellikleri sayesinde mikroorganizmalar için son derece uygun yaşam ortamları sağlamaktadır. Mikroorganizmalar uygun yaşam ortamlarında biyofilm oluşturarak hızla çoğalabilmektedirler. Gelişen ve çoğalan mikroorganizmalar, tekstil materyalinde görüntü ve renk bozukluklarına, kötü kokulara, lekelenmelere ve kumaş mukavemet kaybına neden olabilmektedir. Bu durum tekstil ürününün hijyenik ve estetik bakımlardan kullanılamaz hale gelmesine ve konfor ve maddi kayıplara neden olabilmektedir. Bu tür mikroorganizmaların gelişmeleri ayrıca insan ve canlı sağlığı açısından da tehlike oluşturmaktadır [1].

Bakteriler ve mantarlar tekstil ürününün negatif yönden etkilemesi açısından kritik olan organizmalardır. Tekstil materyalinde uygun şartlarda gelişen bakteriler kötü kokuya, mantarlar ise biyolojik olarak parçalanmaya ve lekelenmeye neden olmaktadır. Aktif faaliyet halinde olan canlı vücudunda görülen bölgesel sıcaklık değişimleri mantarların

(28°C, pH 2,5-8,0) ve bakterilerin (37°C, pH 5,0-6,0) üremesi için uygun değer olan tetikleyici bir faktör oluşturmaktadır. Tekstil materyalleri üzerinde bulunabilen çeşitli gıda kirlilikleri, yağ, protein, şeker ve deri kalıntıları mikrobiyal üremeyi hızlandıran bir başka faktör olarak ortaya görülmektedir.

Günümüzde tekstillerin yüzeyinde bakteriyel gelişmeye ait yapılan araştırmalarda, geniş olarak tüketilen tekstil malzemelerinin çok fazla hastalığa sebep olan mikroorganizmaları bünyesinde taşıdığı tespit edilmiştir (Çizelge 1.1). Pamuk benzeri doğal liflere sahip ürünlerin lifleri gözenekli ve hidrofilik yapısından dolayı, oksijen, su ve besin moleküllerini barındırarak mikroorganizmalara uygun ortam sağlamıştır. Bu durum pamuk gibi doğal liflerde sentetik liflere oranla daha fazla mikrobiyal saldırıya ve çoğalmaya sebep olmaktadır. Tekstiller yüzeyinde hızla gelişen mikroorganizmalar, hoş olmayan kokuların nedenine sebep olurken aynı zamanda, renk ve görüntü bozulmalarına, lekeler, kumaşın bozulmasına ve kullanım ömrü ve mukavemetinin azalmasına (özellikle pamuk ve yün içerikli ürünlerde) neden olarak tekstillere zarar verebilmektedir [20]–[24].

Çizelge 1.1. Tekstilde materyallerinde bulunan mikroorganizmalar ve etkileri [25].

Mikroorganizma	İnsan Vücudunda Etkileri	Tekstil Türü			
		Çorap	İç giyim	Pantolon	
Bakteri	<i>Bacillus subtilis</i>	Göz enfeksiyonu (konjonktiv)	+	+	+
	<i>Escherichia coli</i>	İdrar yolu enfeksiyonları , Menenjit, İshal, Apse	+	+	+
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Zatürre, alt solunum yolları enfeksiyonu, yara enfeksiyonu		+	+
	<i>Proteus vulgaris</i>	İdrar yolu enfeksiyonları, yara enfeksiyonları, Menenjit	+		
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Açık yara enfeksiyonları, Nozokomiyal enfeksiyonlar		+	+
	<i>Staphylococcus aureus</i>	Sistem ve organ enfeksiyonları, toksik şok, irin ve apse	+	+	
Maya	<i>Candida albicans</i>	Deride kızarıklık, ağızda pamukçuk	+	+	
Küf	<i>Trichophyton interdigitale</i>	El ve ayaklarda deri enfeksiyonu	+		
	<i>Aspergillus niger</i>	Aflotoksin üretir, alerjik hastalıklar	+	+	

Tekstil ve kumaş yüzeylerine adhezyon ile tutunan mikroorganizmalar taşıyıcı olmaktadır. Hastane ve tıbbi alanlarda kullanılan hemşire ve doktor elbiseleri, önlükler,

yatak örtüleri, havlular, cerrahi elbiseler gibi tekstil materyallerinin antimikrobiyal özellikte olmaları oldukça önemlidir [1].

1.2. ANTİMİKROBİYAL TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Geleneksel olarak örtme, koruma, süsleme amaçlı kullanılmakta olan tekstil ürünlerine, bu işlevlerine ek olarak günümüzde farklı ihtiyaçlara cevap verecek yeni özellikler kazandırılmaktadır. Günümüzde birçok tekstil materyali sürekli olarak hastanelerde, otellerde, çocuk yuvalarında, topluma açık alanlarda kullanılmaktadır. Bu materyaller bulaşıcı ve enfeksiyon hastalık taşıma konusunda iletken olabilmektedirler. Bununla beraber özellikle tıbbi alanda kullanılan tekstiller, cerrahi elbiseler, hemşire üniformaları, kişisel kullanılan yatak örtüsü, havlu, gıda işletmelerinde çalışanların üniformaları antibakteriyel özellik taşımaları gerekmektedir. Bu gibi sebepler ve özellikle son yıllarda görülen salgın hastalıklar, artan nozokomiyal enfeksiyonlar ve hijyen bilincinin artması antimikrobiyal tekstil ürünlerine olan ihtiyacı ortaya çıkarmış ve giderek yaygınlaşmıştır [26], [27].

Gündelik yaşamımıza birçok yerde mikroorganizmalara temas halinde bulunmaktayız. Soluduğumuz havada temas ettiğimiz yüzeylerde ve vücudumuzda birçok mikroorganizma yaşamaktadır. Bu mikroorganizmalar özellikle bakteriler enfeksiyon hastalıklara kokuya ve bir çok konfor kaybına sebep olmaktadır. Giysilerimizdeki mikroorganizmalar kirlenme, ter ve nem sayesinde uygun ortam şartlarına erişmekte ve çoğalmaktadır. Pamuklu tekstil materyallerinde bulunan mikroorganizmalar bozulmaya, lekelenmeye sebep olmaktadır. Tekstil ürünlerinde mikroorganizmaların zararları çok eski tarihlerde bilinmekteydi. M.Ö. 15. yüzyılda Antik Mısır' da mumyalama işleminde kullandıkları kumaşların korunması amacıyla bitkiler, inorganik tuzlar ve baharatlar kullandıkları görülmüştür bu konuda en eski uygulamalardan olduğu bilinmektedir[28]. Bununla birlikte çeşitli arkeolojik çalışmalarda, ipekten elde edilmiş tekstil materyalleri ve çeşitli elbiselerin binlerce yıldır bozulmadan iyi korunduğu görülmüştür [29].

Tekstil materyallerini koruma ve mukavemet çalışmaları, İkinci Dünya Savaşı sırasında, askeri tekstil ürünlerinde oldukça çok kullanılan bir yöntem olarak bilinmektedir [11]. Antibakteriyel tekstil ürünleri İkinci Dünya Savaşından bu yana kullanılmaktadır. Günümüzde pandemi ve salgın hastalıkların artışı ile birlikte hijyenik ürünlerin talebi ve toplumsal duyarlılığın artması antimikrobiyal malzemelere ilgiyi arttırmaktadır. Tekstil

ürünlerinin hayatımızdaki yeri ilk çağlardan itibaren yer almaktadır. Her geçen gün tekstil ürünlerinin ve türevlerinin kullanım alanları genişlemektedir. Tıp ve tekstil endüstrisindeki gelişmeler hijyenik tekstil ürünlerine olan gerekliliği arttırmıştır. Son yıllarda görülen hijyen bilincinin artması bu gruptaki ürünlerin önemini katlamaktadır. Bu antibakteriyel tekstil ürünlerin gündelik tekstil ürünlerinde kullanılması tüketici açısından rağbet gördüğü bilinmektedir[11], [26].

Bu tür uygulamaların temeli çok eskiye dayanıyor olmasına karşın çeşitli tekstil ürününe ve giysilere uygulanan işlemlerde ümit edilen sonuca varmak liflerin geliştirilmesi veya antimikrobiyel kimyasallarla elde edilmesiyle gerçekleşmiştir. Tekstil ürünlerinde kullanılan antimikrobiyeller, tıp, kozmetik ve gıdada uzun yıllardır çok kullanılan etken maddelerin tekstil maddelerine uyum sağlaması ile geliştirilmiştir. Günümüzdeki tüketicilerinin hijyen taleplerinin artması ise; antimikrobiyel tekstil ürünlerine özgü piyasa (Pazar) talebi oluşturmuştur. Bu talepleri karşılamak için son on senede ticari olarak yeni kimyasallar ve lifler geliştirilmiştir. Bugün genellikle tekstil kimyasalları üreticilerinin ürün yelpazelerinde antimikrobiyal malzemeleri vardır [30].

Tekstil endüstrisi son yıllarda teknolojinin gelişmesi, kullanıcıların farklı ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile fonksiyonel tekstil ürünlerine rağbet artmaktadır. Bununla beraber son yıllarda dünyayı ve ülkemizi etkisi altına alan Covid-19 pandemisi ile antimikrobiyal tekstil ürünlerine olan ilgi oldukça artmıştır. Antimikrobiyal tekstil ürünlerine özellikle hastanelerde ve medikal ürünlerde, otellerde ve okullarda daha fazla talep edileceği düşünülmektedir [31].

1.2.1. Hastanelerde Kullanılan Medikal Antimikrobiyal Tekstil Ürünleri

Tekstil materyallerine yerleşen ve üzerinde hızla çoğalan mikroorganizmalar, hem tekstil ürününe hem de kullanıcıların sağlığına zarar verirler. Bu durum, özellikle hastane, otel, okul ve halka açık yerlerde ciddi sorunların ortaya çıkmasına neden olabilir. Tıbbi tekstillerin kapsamında olan bakım ve hijyen ürünleri, tekstil endüstrisini önem arz eden ve büyüyen bir alanıdır. Tıbbi tekstil uygulamaları cerrahi operasyon ipliklerinden kemik naklinde kullanılan kompozit yapılara ve temizlik bezlerinden ameliyatlarda personel tarafından kullanılan gelişmiş gözetici önlüklere kadar çok geniş yelpazededir [32].

Dünya Sağlık Örgütü araştırmalarına göre dünyada her yıl yaklaşık 190 milyon kişinin çeşitli nedenlerle hastanelerde tedavi edildiği, ve bu hastaların %5' inde hastanelerden kaynaklı enfeksiyonlara yakalandığı tespit edilmektedir [33]. Hastane kaynaklı

infeksiyonların içinde bulunan cerrahi alan infeksiyonları hem ölüm oranının yüksek olması ve hem de ciddi derecede maddi zararlara sebep olmasından dolayı önemli bir yer teşkil etmektedir ve cerrahinin en önemli sorunlarından biridir. Her sene milyonlarca hastaya cerrahi girişim uygulanmakta ve bunların yaklaşık %3-%5’ inde cerrahi alan infeksiyonları gelişmektedir.

Yapılan araştırmalarda, CAE’ larının gelişimine genellikle kan ve vücut sıvılarına temas eden doktor, hemşire, laboratuvar ve sağlık personelleri ile kontamine olmuş hastane ekipmanları ve hastane odalarında kullanılan tekstil ürünlerinin sebep olabileceği anlatılmıştır. Kan ve vücut sıvılarının *Acinetobacter* spp., metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* [MRSA], AIDS, Enterobacteriaceae, hepatit B ve C virüsleri gibi infeksiyona sebep olan virüslerin tekstil malzemelerinin yüzeylerinde çoğaldıkları bilinmektedir [5], [6], [34].

Çizelge 1.2. Hastane tekstillerindeki mikroorganizmalara ilişkin bulgular [36].

Mikroorganizmalar	Hastane tekstil materyalleri	Referans
Parainfluenza virüsü	Hastane elbiseleri	[37]
<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Clostridium difficile</i> ve vankomisine dirençli enterokoklar	Hemşire üniformaları	[38]
Vankomisine dirençli enterokoklar	Çarşaf	[39]
Koagülaz negatif stafilokok <i>Bacillus</i> spp., Küfler	Çarşaf, doktor ve hemşire elbiseleri hasta elbiseleri ile kirli çamaşırları taşıyan keten kumaşlı arabalar	[40]
<i>Acinetobacter baumannii</i>	Yatak çarşafı ve perdeler	[41]
<i>Acinetobacter baumannii</i>	Çarşaf, hastane perdeleri ve hastanedeki yüzeyler	[42]
MRSA	Sağlık personeli elbiseleri ve çarşafı	[43]
Vankomisine dirençli enterokok, Koagülaz negatif Staphylococci, <i>Corynebacterium</i> spp., <i>Micrococcus</i> spp., <i>Bacillus</i> spp., <i>Enterococcus</i> spp., Saprotik Gram negatif basiller, Rotaviral RNA	Diğer çevresel alanlar, hasta ve sağlık personeli kullanılan elbiseler, hasta pijamaları, personel üniformaları	[44]–[46]

Mikroorganizmaların tekstil materyallerinin yüzeylerine tutunabilmesi nedeniyle bu ürünler taşıyıcı durumdadır. Bakım ve tedavi esnasında kan ve vücut sıvılarıyla temas

halinde olan sağlık personellerinin, enfekte olduğunun ve bu çalışanların da hastalar için bir tehlike oluşturduğu, ameliyat odası ortamında bu mikroorganizma ve virüslerin açık yaralardan, vücuda girebildiğini ve enfekte ettikleri çalışmalarda bildirilmektedir [7], [8], [35] (izelge 1.2).

Hasta ve sağlık çalışanları tarafından kullanılan medikal tekstil ürünlerinin mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal özellikte olması istenmektedir. Tekstil materyallerini antimikrobiyal işleme tabi tutmak çapraz enfeksiyonları engellemek ve tekstil materyallerinin bozulmasını önlemek için oldukça önemlidir [35]. Tekstillere uygulanacak antimikrobiyal maddeler gerekli ihtiyaçları karşılamalı ve tekstil yüzeyindeki patojen mikroorganizmaları yok etmeli veya üremesini engellemelidir. Antimikrobiyal kumaş geliştirilmesinde kullanılan antimikrobiyal maddelerde aranan en önemli özellikler içerisinde; kalıcılığı ve yıkamaya dayanımı, tüketici için alerjik etki göstermemesi ve herhangi bir tahrişe neden olmaması, maliyeti uygun ve çeşitli tekstil materyaline uygulanabilir olması gelmektedir [4].

1.3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ANTİMİKROBİYAL MADDELER

Mikroorganizmaların, saklama ve kullanım esnasında tekstil üzerinde çoğalması hem tekstil ürününü negatif yönde etkilemekte, hem de giyen kişi için sağlık problemlerine sebep olmaktadır [47]. Mikrobik enfeksiyon, yaşayan ya da yaşamayan cisme tehlike oluşturabilir. Bu gibi tehlikeler karşısında tekstil örneklerine antimikrobiyal özellik kazandırılmaktadır. Tekstillere uygulanan antimikrobiyel özellik kazandırma işlemleri, insan sağlığına zararlı bakteri, mantar ve patojen mikroorganizmaların tekstil yüzeylerinde yerleşmelerini veya çoğalmalarını önlemek amaçlanmıştır. Antimikrobiyal tekstil ürünleri elde edilmesindeki diğer bir amaç, tekstil materyallerini mikroorganizmaların özellikle de mantarların zararlı etkilerinden ve bozulmalardan korumaktır. Bu nedenle üniformalar, çadırlar, koruyucu tekstiller, teknik tekstiller, jeo tekstiller ve daha sonra perdeler, döşemeler ve banyo takımları gibi ev tekstilleri, ve bir çok gündelik hayatta kullandığımız tekstilleri antimikrobiyal kimyasal maddeler ile antimikrobiyal özellik kazandırılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle kumaşlara antimikrobiyal özellik kazandırılmasında yeni teknikler, özellikle tıbbi tekstil alanında başarıyla uygulanmaktadır [12], [48].

Tekstil materyallerine antimikrobiyel özellikler kazandırılabilmesi için antimikrobiyal maddelerin lif çekimi anında ekleyerek lifin polimer yapısı içerisine hapsedilmesi veya bitim uygulaması ile tekstil materyaline aktarılması ile elde edilebilmektedir. Lif çekim teknolojisinde antimikrobiyal madde, lif çekim çözelti düzeneğinden geçirilmeden önce eklenmektedir. Eklenen antimikrobiyal özellikteki maddenin özellikleri lif çekim şartlarına (işlem ısısı, partikül çapı, kimyasal dayanımı, polimerle etkileşim sağlamaması) ile uyumlu olması gerekmektedir [49]. Antimikrobiyal tekstil liflerinin üretiminde en çok kullanılan maddeler: chitosan, triklosan ve en başta gümüş olmak üzere kullanılan çeşitli metal iyonlarıdır [50]. Antimikrobiyel lifler, en çok tıp, koruyucu sağlık ve hijyen sektörlerinde kullanılmaktadır. Hastalık yapan mikroorganizmaların en son istenecekleri yerler hiç şüphesiz ki hastanelerdir. Bu alanlarda kullanılacak liflerin toksik, alerjik ve kanserojenik olmaması gereklidir. Ayrıca fiziksel ve kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişim olmaksızın sterilize edilmelidir. Son zamanlarda bakteriyostatik lifler ve iplikler, özellikle çok sayıda poliester, akrilik ve viskon liflerinin üretildiği Japonya’da görülmekte olup üretimleri hızla artmaktadır. Bu liflerin çoğu, gümüş, bakır ve çinko metal kompleks esaslı antimikrobiyel kimyasal maddeler içermektedir [51].

Bitim işlemleri ile antimikrobiyal özellik kazandırılmasında ise püskürtme, emdirme ve kaplama gibi yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde en çok tercih edilen organik bazlı antimikrobiyal katkı maddeleri: anilidler, halojenleştirilmiş salisilik asit, kuarterner amonyum tuzları, organotin bileşikler, organosilikon amonyum tuzları ve kuarterner amonyum sülfonamid türevleridir [49]. Antibakteriyel özellik kazandırmak için yapılan işlemin yıkamaya karşı dayanımı en önemli nokta olmuştur. Antimikrobiyel maddeler bitim işlemleri ile herhangi bir kovalent bağ oluşturmaksızın materyale uygulandıysa, belirli bir zaman veya yıkama etkisiyle tamamen tekstil materyalinden uzaklaşabilmektedir. Bu gibi sorunlardan dolayı, lif üretimi sırasında antimikrobiyel kimyasalların eklenmesiyle antimikrobiyel özelliğe sahip lifler üretilmesi elde edilen antimikrobiyal kumaşın dayanıklılığına ciddi katkıda bulunmaktadır. Bu sayede elde edilen antimikrobiyel korumanın etkili ve uzun ömürlü olması sağlanmaktadır. Böylece, bitim işlemleri ile elde edilenden çok daha kalıcı ve uzun ömürlü antimikrobiyel etki sağlanmaktadır [52].

Tabiatta çok fazla bitkisel antimikrobiyal bileşik bulunmaktadır. Bu bileşikler genellikle ikincil metabolit olan fenol ve türevleridir. Bitkilerdeki bu antimikrobiyal etki mekanizmasından sorumlu bileşikler fenolikler, fenolik asitler, kuinonlar, saponinler,

flavonoitler, taninler, kumarinler, terpenoitler ve alkaloitler olarak bilinmektedir. Doğal antimikrobiyal maddeler içerdikleri terpenoitler ve fenolikler sayesinde hücre zarını parçaladığı, kumarin ve alkaloitler sayesinde ise genetik materyal üzerinde etki ettiği bilinmektedir. Ancak, doğal bitkisel materyaller çözünme hızı ve yapısı gereği yıkama dayanımları zayıftır [53]. Tekstil ürünlerine antibakteriyel özellik kazandırmak için kullanılan kimyasallar; aminler veya kuaterner amonyum bileşikler, biguanidler, fenoller, alkoller ve aldehitler, çeşitli metal iyonları, oksitler, fotokatalizler veya organokatalik bileşikler gibi mineral içerikli organik bileşiklerdir [54]. Tekstil endüstrisinde kullanılan antimikrobiyal maddeler Şekil 1.3’ de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Tekstil endüstrisinde kullanılan antimikrobiyal maddeler [49].

Organik Bileşikler	Halojenlenmiş Difenil Eterler (Triclosan)
	Fenol Bileşikleri
	Halofenolikler ve Bisfenolik Bileşikleri
	Rezorsinol ve Türevleri
	Benzoik Ester, Kuaterner ve Amonyum Bileşikleri
Diğer Anorganik Bileşikler	Zeolitler
	NaAl-Silikat
Metaller	Gümüş, Çinko, Bakır gibi metaller

Bununla birlikte, kadmiyum, gümüş, bakır ve civa gibi metaller de tekstil ürünlerine antibakteriyel özellik sağlamak için kullanılmaktadır. Ag , Ag^+ , Ag^{2+} ve Ag^{3+} gümüş oksidasyon halleri çok önceden beri birçok bakteri ve mantar için inhibitör etkiye sahip olduğu tesbit edilmiştir. Üstelik nano gümüş parçacıkları geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir [55], [56]. Nano-gümüş renk bozulması, kötü koku, ürün bozulması ve konfor kaybı gibi sorunlarla mücadele etmekte ve mükemmel dirence sahip (50 yıkama sonrasında dahi) antibakteriyel nitelik taşımaktadır [57].

Metal iyonları mikroorganizmaların üremelerini iki farklı mekanizmaya göre engellemektedir. Birincisi, metal iyonlarının hücre zarında olumsuz etkilere sahip olması veya hücre zarından geçerek enzimlerin $-SH$ gruplarına bağlanmasıdır. Enzimatik aktivitenin devamlı eksilmesi ise, mikroorganizma metabolizmasının değişmesine sebep olmaktadır. Bir diğer etkisi, metal iyonlarının bakterilerin molekül yapısına zarar veren oksijen radikallerinin üretimini katalizlemeleridir [27]. Günümüzde antimikrobiyal etki elde etmek için en çok gümüş iyonları kullanılmaktadır. Bununla birlikte çinko ve bakır

gibi metal moleküllerinde kullanıldığı bilinmektedir.

1.3.1. Gümüş Moleküllerinin Antimikrobiyal Etkinliği

Yapılan literatür taramalarına göre antimikrobiyal etki sağlaması için en çok gümüş iyonları kullanılmaktadır. Çok eski zamanlardan beri Gümüşün antibakteriyel etkisi olduğu bilinmektedir. MÖ 4000 yıllarında mikrop oluşumunu önlemek ve su kalitesini arttırmak için gümüşten yapılmış alet ve kapların, kullanıldığı bildirilmektedir. Gümüşün düşük konsantrasyonda tifo basiline zarar verdiği ve 1:4000-1:10000 arasındaki düşük konsantrasyonlarında anthrax sporlarına karşı dirençli gösterdiği 19.yy' da, kanıtlanmıştır. İçme suyunun arıtılmasında ve yaraların dezenfeksiyonunda gümüş sık sık kullanılmıştır. Yatak takımlarında ve tekstil ürünlerinde düşük konsantrasyonlu gümüş iyonu kullanımı, nörodermatit ve psoriasis işlemlerinde hala pozitif etki göstermektedir. İnsan ve canlı sağlığının yanı sıra deri tahrişi gibi hiçbir negatif yan etkisi olmayan gümüş, antibakteriyel tekstil liflerinde oldukça sık kullanımı karşımıza çıkmaktadır [49].

Endüstrinin birçok alanında, farklı amaçlarla kullanılmak üzere gümüş moleküllerinin kullanıldığı bilinmektedir. Gümüş bileşikleri ve gümüş iyonları bakteri, mantar ve virüslere karşı antimikrobiyal etkiye sahip olmaları yapılan araştırmalarla herhangi bir toksik etkisinin olmaması nedeni ile tıbbi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [58]. Ag^+ iyonlarının etkisiyle gümüş bileşikleri ve nanotaneciklerinin antimikrobiyal etkinliği olduğu düşünülmektedir. Bakterilerin antibiyotiklere karşı direnç gösterdiği halde gümüş iyonlarına karşı direnç gösterdiği görülmemiştir [59]. Önceki yıllarda gümüşten salınan Ag^+ iyonlarının hücreye bağlanıp, hücre duvarında delikler açtığı ve bu delikler sayesinde hücre geçirgenliğinin bozularak ölmesine sebep olduğu düşünülmüyordu. Yapılan son yıllardaki çalışmalarda gümüşün hücresel enzim ve DNA' ların yapılarında bulunan thioller, karboksilatlar, amidler ve imidazoller gibi bileşiklere bağlanarak yok ettiği görülmüştür [47], [59].

1.3.2. Çinko Moleküllerinin Antimikrobiyal Etkinliği

Çinko oksit (ZnO) maddesinin fotokatalitik, elektrik iletkenliği ve UV absorpsiyonu etkili, antimikrobiyal özelliğe sahip olduğu bilinmektedir. Ayrıca ZnO canlı sağlığına zararsız toksik etkisi olmayan bir malzemedir. Çinko molekülleri bu özelliklerinden dolayı günlük yaşamda medikal, kozmetik gibi birçok alanda kullanılmaktadır. ZnO nanotaneciklerin gösterdikleri antimikrobiyal etki mekanizmaları tam olarak bilinmemektedir. Araştırmacılar iki farklı etki mekanizması üzerinde durmaktadır [60].

Buna göre; ZnO nanotaneçiklerinin yüzey pürüzlülüğünün etkisi olduğu düşünölmektedir. Yüzey pürüzlüğü yüksek olan ZnO nanotaneçiklerinin bakteri hücrelerinin zararını mekanik bir etkiyle bozduğu ileri sürölmektedir. Bir diğeri varsayım ise ZnO nanotaneçikler, UV ya da görünür ışığa maruz kaldığında ortama elektron çiftleri yaymaktadır. Bu elektron çiftlerinin etkisiyle belirli reaksiyonlar gerçekleşmekte ve hidrojen peroksit üretmektedirler. Oluşan hidrojen peroksit antimikrobiyal bir etki yaratarak bakteri ve mantar hücrelerini öldürmektedir [61], [62].

1.4. ANTİMİKROBİYAL LİF VE TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN ÜRETİM TEKNİKLERİNE UYGULANABİLİRLİĞİ

Üzerine antimikrobiyal madde tatbik edilen tekstil ürünlerini giyen insanlar, mikrobiyal kontaminasyonlara karşı kendini korumuş olmaktadır. Bu tür tekstil ürününe yerleşmiş antimikrobiyal ajanlar, mikroorganizmaları etkisiz hale getirmekte ya da mikroorganizma hücresinin gerekli sistemlerine müdahale ile hücre duvarı hasarı, (hücre duvarı geçirgenliğinin değışikliğı vb.) gerçekleştirmektedir [63]. Daha önce de vurgulandığı gibi antimikrobiyal ürünler iki farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bunlar; antimikrobiyal lifler geliştirilmesi: bu yöntemde antimikrobiyal tekstil ürünü, şekil vermeden önce polimere (liflere) antimikrobiyal ajanların yerleştirilmesi ile elde edilir. Bu usul sağlamlılık yönünden iyi sonucu vermektedir. Lif yapısı içine gömülen hareketli antimikrobiyal ajanlar kullanım sırasında yavaşça serbest kalmaktadır. Trevira tarafından geliştirilmiş gümüş içeren Bioactive® poliester ve Novaceta tarafından üretilmiş olan Silfresh® selöloz asetat lifleri örnek olarak verilebilir [14].

Bitim işlemleri ile antimikrobiyal özellik kazandırılmasında ise, Antimikrobiyel bitim işlemlerinde, çektirme, emdirme, vakumla aplikasyon, maksimum flotte aplikasyonu, aktarma, püskürtme, köpükle aplikasyon ve kaplama yöntemlerinden bazıları kullanılarak tekstil materyallerine antimikrobiyel maddeler uygulanarak mikroorganizmaların etkinlikleri durdurulmuştur. Emdirme, püskürtme ve kaplama işlemleri, tekstil endüstrisinde en çok kullanılan antibakteriyel kimyasal aplikasyon yöntemlerindedir. Aynı zamanda tekstil boyama işleminde lif içerisine antimikrobiyel maddenin daha iyi tutunduğı varsayımı ile işlem ömrünün kalıcılığının artırılması amacı ile boyama işlemi esnasında antimikrobiyel madde çözeltiye eklenebilir [64]–[66]. Konvansiyonel usullerin yanı sıra (nano boyutlu kolloidal solüsyonların kullanımı, nano boyutlu kabuk-çekirdek partiküllerinin kullanımı, lif ile kovalent bağ formasyonu için biyositin kimyasal

modifikasyonu ve çağraz bağlayıcı kullanılarak lifin üzerinde salınabilen antimikrobiyal maddelerin çağraz bağlanması gibi çeşitli metotlar kullanılmaktadır [14].

Tekstil materyaline uygulanan antimikrobiyal etken maddelerin mikroorganizmalar üzerinde etkili edebilmesi için organizma ile temas etmesi veya organizmaya doğru salınarak organizmanın üremesini engellemesi gerekmektedir [26]. Antimikrobiyal maddelerin dayanıklılığının ve etki süresini arttırmak amacıyla liflere reçineler veya çağraz bağlayıcı maddeler eklenebilmektedir. Bunlar genellikle üreformaldehit, melaminformaldehit veya başka tür azotlu reçinelerden oluşabilmektedir. Bu reçineler, kumaşlara uygulanan antibakteriyel veya antifungal maddelerin dayanıklılığını arttırmaktadır.

1.5. DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Antimikrobiyal tekstil ürünlerinin insan sağlığı ve çevre sağlığı açılarından önemli faydaları olmakla beraber çeşitli problemleri de gündeme getirebilmektedir. Antimikrobiyal tekstiller ürünlerinin yararlı yönlerinin yanında vücut mikrobiyotasında oluşturabilecekleri olumsuz etkiler, alerjik reaksiyonlar ve çevre açısından toksik etki yaratma potansiyelleri nedeni ile uzun vadede dikkatle izlenmeleri gereken ürünlerdir [18]. Bitim işlemi ile elde edilen antimikrobiyal tekstil ürünleri, lif üretimi esnasında eklenilerek elde edilen tekstil yüzeylerine göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha önce de vurgulandığı gibi, lif üretimi esnasında eklenerek elde edilen antimikrobiyal etkinlik, bitim işlemi ile elde edilen antimikrobiyal özelliğe göre daha fazla kalıcı olmaktadır.

Bitim işlemi sırasında tekstil yüzeyine aktarılan ve çeşitli kimyasallar kullanarak yüzeye bağlanarak tutunması beklenen antimikrobiyal etken maddeler zamanla tutundukları yüzeyden uzaklaşır ve uygulanan tekstil yüzeyinin antimikrobiyal etkinliğinin azalması durumu ortaya çıkmaktadır. Bu etkinliğin azalması halinde ortamda bulunan mikroorganizmalar bu antimikrobiyal maddelere karşı direnç kazanmaya başlamakta ve kullanıcı sağlığı açısından çok daha riskli durumlar ortaya çıkabilmektedir. Böyle durumlarda zararlı mikroorganizmanın gelişimi engellenirken organizmalar arasındaki doğal denge bozulabilmekte ve diğer zararlı bir organizma türünün gelişimine yol açılabilecek koşullar yaratılmaktadır [12].

1.6. AMAÇ

Son yıllarda görülen salgın hastalıklar, artan nozokomiyal enfeksiyonlar ve hijyen bilincinin artması antimikrobiyal tekstil ürünlerine olan ihtiyacı daha da artmasına neden olmuştur. Bu çalışmada, Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin antimikrobiyal tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde kullanımı amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda sırasıyla; sentez Ag-TiO₂ ve ticari ZnPT komplekslerinin kumaş aplikasyonunun optimizasyonu, aplikasyon öncesinde ve sonrasında, 13 farklı mikroorganizmaya karşı antimikrobiyal aktivitelerinin tespit edilmesi, minimal inhibasyon konsantrasyonlarının ve minimum bakterisidal konsantrasyonlarının belirlenmesi, tekstil numunelerine aplikasyon sonrası stabilite testleri ve komplekslerin *Allium cepa* L.'deki sitogenetik etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN Ag-TiO₂ ve ZnPT KOMPLEKSLER

Bu tez çalışmasında kullanılan Ag-TiO₂ (Gümüş Titanyum Dioksit) Düzce Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Öğretim Üyesi Prof. Dr. Halil İbrahim UĞRAŞ ve ekibi tarafından sentezlenmiştir. Sentezlenen nanotaneçiklerin FT-IR spektroskopisi ile karakterizasyonu tanımlanmıştır. Gümüş nanopartiküllerin şekilleri SEM (FEI-Quanta FEG 250) ile görüntülenmiştir. Ag-TiO₂ kalsinasyonlu ve kalsinasyonsuz olmak üzere iki farklı uygulama ile sentezlenmiştir. Kalsinasyon işlemi molekülün aktivitesini arttırmak amacıyla molekülün 600°C’ de 2 saat inkübasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan ZnPT (Çinko Piriton) kompleksi (C₁₀H₈N₂O₂S₂Zn) ticari olarak MERCK’ ten satın alınmıştır.

2.2. ÇALIŞMADA KULLANILAN MİKROORGANİZMALAR VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Antimikrobiyal aktivite testi çalışmalarında kullanılan indikatör mikroorganizmalar Düzce Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Moleküler Biyoloji Anabilim Dalından temin edilmiştir (Çizelge 2.1). İndikatör bakteriler, Mueller Hinton Agar (MHA) ve Mueller Hinton Broth (MHB) besiyerleri, indikatör olarak kullanılan fungus için ise Potato Dekstroz Agar (PDA) ve Potato Dekstroz Broth (PDB) besiyerleri, kullanılarak 16-18 saat 37 °C’ de büyütülmüştür.

Çizelge 2.1. Çalışmada kullanılan indikatör mikroorganizmalar ve bazı özellikleri.

Mikroorganizma	Kaynak	Gram özelliği	Zararları
<i>Enterococcus faecalis</i>	ATCC 29212	+	Özellikle nozokimyasal hastane kaynaklı tehlikeli enfeksiyonlara neden olabileceği bilinmektedir. Sepsin, endokardit ve menejit gibi ciddi enfeksiyonlara neden olabilmektedirler [67].
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 25923	+	Gıda zehirlenmelerinin en önemli kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Sistem ve organ enfeksiyonlarına neden olmaktadır. Bir çok antibiyotiğe karşı direnç kazanmıştır [68].
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	ATCC 12228	+	İntravasküler cihazlardan bulaşıya neden olur ancak aynı zamanda genel olarak protez eklemlerinde, kateterlerde ve büyük yaralarda da görülmektedir. Septisemi ve endokarditde hastalıkları ile ilişkilidir [69], [70].

Çizelge 2.1. (devam) Çalışmada kullanılan indikatör mikroorganizmalar ve bazı özellikleri.

<i>Salmonella typhimurium</i>	ATCC 14028	-	Tifo, paratifo ve gıda zehirlenmesine yol açabilir. Yangı ve abselere neden olabilir [71].
<i>Proteus vulgaris</i>	ATCC 13315	-	İdrar yolu enfeksiyonlarına sebep olabilir bu enfeksiyonlarda uzun süreli seyretmesi durumunda böbrek taşı oluşumuna neden olabilmektedir. Fırsatçı bir patojen olup yara enfeksiyonlarına, menenjit, organ apselerine yeni doğanlarda ise göbek kordonu enfeksiyonlarına neden olmaktadır [72].
<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	ATCC 911	-	Hayvanlarda ve insanlarda çeşitli enfeksiyonlara neden olurlar. Organlarda pseudotüberkül adı verilen lezyonlar yaparak çeşitli enfeksiyonlara neden olmaktadır [73].
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853	-	Nozokomiyal enfeksiyonların en önemli grupları içinde yer alır. Solunum ve idrar yollarının, yanıkların ve açık yaraların patojenidir [74].
<i>Enterobacter cloacae</i>	ATCC 13047	-	Bağıışıklığı düşük insanlarda idrar yolu ve solunum yolu hastalıklarına neden olduğu bilinmektedir. Menenjit hastalığının etkenlerinden birisi olarak bilinmektedir [75].
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 35218	-	Alt üriner sistem enfeksiyonlarına, idrar yolu enfeksiyonlarına, pnömoni, sepsis, menenjit, ishal, apse, peritonit, sinüzit vb enfeksiyonlara yol açtığı bilinmektedir.. O157:H7 <i>E. coli</i> tipi gıda zehirlenmesi etmeni olup, kanlı ishale veya ölüme yol açabilmektedir [76].
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	ATCC 13883	-	Alt solunum yollarını etkileyerek akciğerlere kalıcı hasar veren prulan balgam üreten bir hastalığa sebep olmaktadır. Ayrıca tromboflebit, idrar yolu enfeksiyonu, kolesistit, ishal, yara enfeksiyonu, osteomyelit, bakteriyemi ve septisemi hastalıklarına yol açtığı bilinmektedir [77], [78].
<i>Listeria monocytogenes</i>	ATCC 7644	+	İnsan ve hayvanlarda listeriosis enfeksiyonuna neden olan ve konakçının beyni, omurilik zarlarını, kan dolaşımını enfekte edebilir. Yeni doğanlarda menenjitin en yaygın nedenidir [79], [80].
<i>Bacillus subtilis</i>	ATCC 6633	+	Gıda zehirlenmelerinde oldukça karşılaşılmaktadır. Panoftalmi ve iridoksiklit gibi göz enfeksiyonlarına sebep olduğu bilinmektedir [81].
<i>Candida albicans</i>	ATCC 90028	-	Vücudun diğer çevreye açık ve nemli dokularında da aşırı çoğalırsa kandidoza yol açabilir. Ağız enfeksiyonuna pamukçuk denir [82], [83].

2.3. Ag-TiO₂ ve ZnPT KOMPLEKSLERİNİN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTE ÇALIŞMALARI

Tekstil numunelerine antimikrobiyal özellik kazandırmak amacıyla kullanılacak Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin tekstil aplikasyonu öncesinde üç farklı yöntem ile antimikrobiyal aktiviteleri analiz edilmiştir. Bu yöntemlerden ilki katı formda elde edilen kalsinasyonlu/kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ kompleksinin doğrudan antimikrobiyal aktivite analizidir. Diğer yöntemler ise tekstil materyallerine tutunumun sağlanabilmesi için Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin çözelti halinde olması gerekliliğinden dolayı komplekslerin çözeltileri hazırlandıktan sonraki antimikrobiyal aktivite analizlerini içermektedir.

2.3.1. Katı Formda Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analizi

Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ komplekslerinin antimikrobiyal aktivitelerinin belirlenmesi amacıyla, ilk olarak kullanılacak test mikroorganizmaları MHB besiyerine inoküle edilerek çalkamalı su banyosunda 37 °C' de 16-18 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda mikroorganizma kültürlerinin spektrofotometrede (Mapada) 600 nm dalgaboyundaki absorpsanları ölçülmüş ve kültürler yaklaşık 1×10^7 - 1×10^8 CFU/mL olacak şekilde steril dH₂O ile seyreltilmiştir. Seyreltilerek hazırlanan örneklerden 100 µL alınarak MHA içerikli petrilere yayılmıştır. Daha sonra katı formda olan kalsinasyonlu/kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ kompleksleri standart sonuç eldesi amacıyla hassas terazide $0,020 \pm 0,002$ g tartılarak steril bir pens yardımıyla agar yüzeyine yerleştirilmiş ve hazırlanan örnekler 37 °C' de 16-18 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası katı örnekler etrafında oluşan zon çapları dikkate alınarak, sonuçlar değerlendirilmiştir.

2.3.2. Agar Kuyu Difüzyon Yöntemi ile Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ ve ZnPT Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analizi

Öncelikle Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin çözeltileri hazırlanmıştır. %7 oranında katı formunda olan kalsinasyonlu/kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ ve %7 oranında C₂₀H₃₇NaO₇S (dukosat sodyum) 100 mL saf su içinde çözülmüştür. ZnPT %50 oranda olacak şekilde saf su içinde çözülmüştür ve çözülmüş halde elde edilen komplekslerin antimikrobiyal aktiviteleri agar kuyu difüzyon testi ile kontrol edilmiştir.

Agar Kuyu Difüzyon Testi ile antimikrobiyal aktivitenin belirlenmesi amacıyla öncelikle test mikroorganizmaları MHB besiyerine inoküle edilerek çalkamalı su banyosunda 37 °C' de 16-18 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda mikroorganizma kültürlerinin spektrofotometrede 600 nm dalga boyundaki absorpsanları ölçülmüştür ve kültürler yaklaşık 1×10^7 - 1×10^8 CFU/mL olacak şekilde steril dH₂O ile seyreltilmiştir. Seyreltilerek hazırlanan örneklerden 100 µL alınarak MHA içerikli petrilere yayılmıştır. Ardından agarda 6-8 mm çapında kuyular oluşturulmuş ve her bir kuyuya çözülmüş bir şekilde elde edilen kalsinasyonlu/kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinden 100 µL eklenmiştir [84]. Örnekler 37 °C' de 16-18 saat inkübe edilmiş ve inkübasyon süresi sonunda kuyular etrafında oluşan zon çapları ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

2.3.3. Agar Disk Difüzyon Yöntemi ile Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ ve ZnPT Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analizi

Öncelikle Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin çözeltileri hazırlanmıştır. %7 oranında katı formunda olan kalsinasyonlu/kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ ve %7 oranında C₂₀H₃₇NaO₇S 100 mL saf su içinde çözülmüştür. ZnPT ise %50 oranda olacak şekilde saf su içinde çözülmüş ve elde edilen komplekslerin antimikrobiyal aktiviteleri agar disk difüzyon testi ile kontrol edilmiştir.

Agar disk difüzyon testi ile antimikrobiyal aktivitenin belirlenmesi amacıyla öncelikle test mikroorganizmaları MHB besiyerine inoküle edilerek çalkamalı su banyosunda 37°C' de 16-18 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda mikroorganizma kültürlerinin spektrofotometrede 600 nm dalga boyundaki absorbansları ölçülmüş ve kültürler yaklaşık 1×10^7 - 1×10^8 CFU/mL olacak şekilde steril dH₂O ile seyreltilmiştir. Seyreltilerek hazırlanan örneklerden 100 µL alınarak petrilere yayılmıştır. Takiben kalsinasyonlu/kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinden 10' er µL test disklerine emdirilmiş ve farklı maddeleri içeren diskler steril bir pens yardımıyla agar yüzeyine yerleştirilmiştir. Pozitif kontrol olarak antibiyotik (Ciprofloksacin; CIP.30 mg) kullanılmış ve çalışmalar çift tekrarlı olarak yapılmıştır. Örnekler 37 °C' de 16-18 saat inkübe edilmiş ve inkübasyon süresi sonunda diskler etrafında oluşan zon çapları ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

2.4. Ag-TiO₂ VE ZnPT KOMPLEKSİNİN TEKSTİL NUMUNELERİNE APLİKASYON DENEMELERİ VE OPTİMİZASYON

Çalışmada kullanılan yöntem bütün tekstil liflerine uygulanabilir olarak seçilmekle birlikte, çalışmada %70 pamuk %30 polyester lif içeren, metraj baskılı, örgü, tekstil materyali kullanılmıştır. Hazırlanan kumaş materyalleri 2.5 x 3.5 cm² ve 2.5 x 2.5 cm² ölçülerinde kesilmiştir. Hazırlanan kumaş parçaları 2.3.2.' de anlatıldığı gibi hazırlanan kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin çözeltileri kullanılarak aplikasyon işlemi yapılmıştır. Kullanılan Ag-TiO₂ kompleksinin aplikasyon işlemini gerçekleştirmeden önce tekstil materyallerine tutunmasını arttırmak amacıyla bitim işlemini tamamlamak amacıyla sitrik asitle pH 4.5-5.0 getirilmiş ve aplikasyon için banyo tarzı kullanılmıştır. ZnPT kompleksinin aplikasyon işlemi gerçekleştirirken, tekstil materyaline tutunması amacı ile günümüz tekstil endüstrisinde aktif olarak kullanılan

Binder Pac 10g/L, WLA 1g/L, Asetik Asit 1g/L ve Magnezyum Klorür 1g/L, kullanılmıştır.

Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin tekstil numunelerine aplikasyon denemeleri optimum koşulların belirlenmesi amacıyla; Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin farklı konsantrasyonları, farklı uygulama süreleri, farklı sıcaklık uygulamaları ve farklı kurutma süreleri ile gerçekleştirilmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Ag-TiO₂ ve ZnPT Komplekslerinin aplikasyon optimizasyonu.

Antimikrobiyal Madde	Konsantrasyon	Aplikasyon Süresi	Aplikasyon Sıcaklığı	Kurutma İşlemi	Test Mikroorganizmaları
ZnPT /Ag-TiO ₂	2g/L - 4g/L	30 dk	25°C	70 °C-120 dk / 70 °C- 60 dk	<i>B. subtilis</i> <i>E. coli</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>P. vulgaris</i> <i>B. subtilis</i> <i>Y. pseudotuberculosis</i> <i>B. subtilis</i> <i>E. coli</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>P. vulgaris</i>
			50°C		
			70°C		
			90°C		
		60 dk	25°C		
			50°C		
			70°C		
			90°C		
		120 dk	25°C		
			50°C		
			70°C		
			90°C		

Farklı aplikasyon denemeleri sonrasında tekstil örneklerinin antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi için; kullanılacak test mikroorganizmaları bir gün öncesinde MHB sıvı besiyerine inoküle edilerek çalkamalı su banyosunda 37 °C’ de 16-18 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda mikroorganizma kültürleri 1×10^7 - 1×10^8 CFU/mL olacak şekilde steril dH₂O ile seyreltilmiştir. Seyreltilen test mikroorganizmalarından 100 µL örnek alınarak MHA içerikli petrilere yayma ekim yapılmıştır. Takiben aplikasyon uygunlanmış olan tekstil numuneleri steril bir pens yardımıyla agar yüzeyine yerleştirilmiştir. Etüve alınan petrilere 37 °C’ de 16-18 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda tekstil numunesinin çevresinde ve altında mikroorganizma inhibisyonu varlığı ya da yokluğu dikkate alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

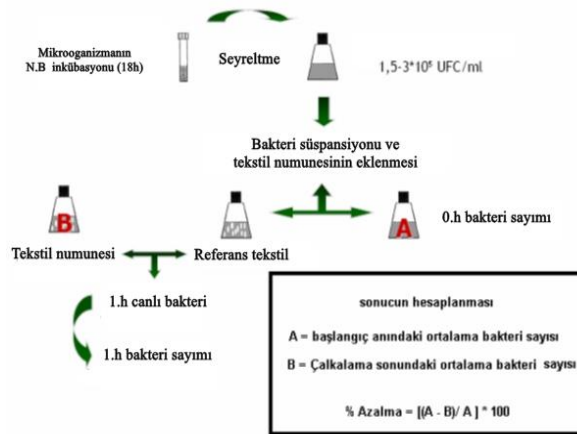
2.4.1. Konsantrasyon Optimizasyonu ve MİK Tayini

Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin aplikasyon için en uygun doz ve minimal inhibasyon konsantrasyonu (MİK) belirlenmesi amacıyla tasarlanan bu çalışmada; %70 pamuk %30 polyester lif içeren 2.5 x 3.5 cm² ölçülerinde hazırlanan tekstil materyalleri öncelikle 50°C derecede 60 dk süreyle çalkamalı su banyosunda sırasıyla 0.1, 0.5, 1, 2 ve 4g/L konsantrasyonlarda Ag-TiO₂ kompleksi ve sırasıyla 0.01, 0.1, 0.5, 1 ve 2g/L

konsantrasyonlarda ZnPT kompleksi ile aplikasyon işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sonunda çıkarılan numuneler askıda kalacak şekilde 70°C derecede 60 dk sürelerde etüvde kurutulmuştur. Kurutulan tekstil örneklerinin antimikrobiyal etkinlikleri 2.4’ de anlatıldığı gibi analiz edilmiştir.

2.4.2. Komplekslerin Minimum Bakterisidal Konsantrasyonu (MBK) Tayini

Bu çalışma, optimum konsantrasyon ve MİK değerlerinin letal (bacteriocidal) olup olmadığı ve işlem görmüş kumaşın, dinamik koşullar altında bakterilerin büyümesine karşı gösterdikleri dirençleri ölçmek amacıyla dizayn edilmiştir. Minimum bakteriyosidal konsantrasyonu belirleme çalışması ASTM E2149-01’ e göre yapılan shake flask metodu ile belirlenmiştir (Şekil 2.1). Bu test yönteminde kompleksler ile aplikasyonu yapılmış kumaş örnekleri bulunan besiyerine bakteri inokule edilmekte ve başlangıç anındaki bakteri sayısı ile bir saatlik ve 24 saatlik çalkalamalı inkübatörde inkübasyonu sonucundaki bakteri sayısı oranlanmaktadır. Elde edilen oranın azalma yönünde olması numune kumaş ile yapılan çalkalama işleminin solüsyon içerisindeki ortalama bakteri sayısında azalmaya neden olduğunu göstermektedir [85], [86]. Belirlenen optimum koşullarda aplikasyonu yapılan tekstil örnekleri, 2×10^5 CFU/mL *B. subtilis* inokule edilmiş MHB içerikli falkon tüplerine alınmıştır. Test başlangıç zamanında (0.saat), 1. saat inkübasyon sonrasında ve 24. saat inkübasyon sonrasında çalkamalı inkübatörde 37 °C’ de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası belirlenen sürelerde 100 µL örnek alınarak eküvyon çubuğu ile MHA yüzeyine yayılmıştır ve bakteri koloni sayımı yapılmıştır. Şekil 2.1’ deki formül kullanılarak bakteri sayısındaki değişim hesaplanmıştır.



Şekil 2.1. Shake flask metodu [26].

2.5. APLİKASYON SONRASI STABİLİTE ÇALIŞMALARI

Yıkama dayanımı kullanılan etken maddenin infinite özelliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Tekstil numunelerinin antibakteriyel etkinlik kalıcılığı ve zamana bağlı değişimi görmek amacı ile tasarlanmış bu çalışmada öncelikle %70 pamuk %30 sentetik lif içeren 2.5 x 2.5 cm² ölçülerinde hazırlanan tekstil numuneleri belirlenen optimum koşullarda Ag-TiO₂ ve ZnPT kompleksleri ile aplikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Ardından tekstil materyalleri 1-10 yıkamaya kadar dayanımlarına bakılması amacıyla, saf su ile 35 °C’ de 15 dakika yıkanan numuneler 70°C’ de 60 dakika kurutulmuştur. Bu şekilde paralel deneyler ile 10 yıkama gerçekleştirilmiştir. Her bir yıkama sonucu kurutulan tekstil örneklerinin antimikrobiyal etkinlikleri 2.4’ de anlatıldığı gibi analiz edilmiştir.

Ayrıca stabilite testi için aplikasyon sonrası yıkama yapılmayan tekstil örnekleri oda sıcaklığında açık alanda 1 gün, 3 gün ve 25 gün bekletilmiş ve bu süreler sonucunda antimikrobiyal etkinlikleri 2.4’ de anlatıldığı gibi analiz edilmiştir. Hem yıkama sonuçları hem de stabilize sonuçları değerlendirilirken indikatör mikroorganizma olarak *B. subtilis* bakterisi kullanılmıştır. Pozitif kontrol olarak yıkama işlemi yapılmamış tekstil numunesi ve negatif kontrol olarak aplikasyon işlemine tabi tutulmamış tekstil numunesi kullanılmıştır.

2.6. Ag-TiO₂ ve ZnPT KOMBİNASYONUNUN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTE DÜZEYİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Etkinlik mekanizmasını ve antimikrobiyal duyarlılıklarını görmek amacı ile tasarlanan bu çalışmada; %70 pamuk %30 sentetik lif içeren 2.5 x 2.5 cm² ölçülerinde tekstil materyalleri öncelikle 50°C derecede 60 dk süreyle çalkalamalı su banyosunda belirlenen [Ag-TiO₂ (4g/L) + ZnPT (0.01g/L)] konsantrasyon miktarları ile aplikasyon işlemine tabi tutulmuştur (Çizelge 2.3). İşlem sonunda çıkarılan numuneler askıda kalacak şekilde 70°C derecede 60 dk sürelerde etüvde kurutulmuştur. Kurutulan tekstil örneklerinin antimikrobiyal etkinliğinin belirlenmesi için; kullanılacak test mikroorganizmaları bir gün öncesinde MHB sıvı besiyerine inoküle edilerek çalkamalı su banyosunda 37 °C’ de 16-18 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda mikroorganizma kültürleri 1×10⁷-1×10⁸ CFU/mL olacak şekilde steril dH₂O ile seyreltilmiştir. Seyreltilen test mikroorganizmalarından 100 µL örnek alınarak MHA içerikli petrilere yayma ekim

yapılmıştır. Takiben aplikasyon uygulanmış olan tekstil numunleri steril bir pens yardımıyla agar yüzeyine yerleştirilmiştir. Etüve alınan petripler 37 °C’ de 16-18 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.3. Kompleks kombinasyonunun antimikrobiyal aktivite düzeyine etkisi.

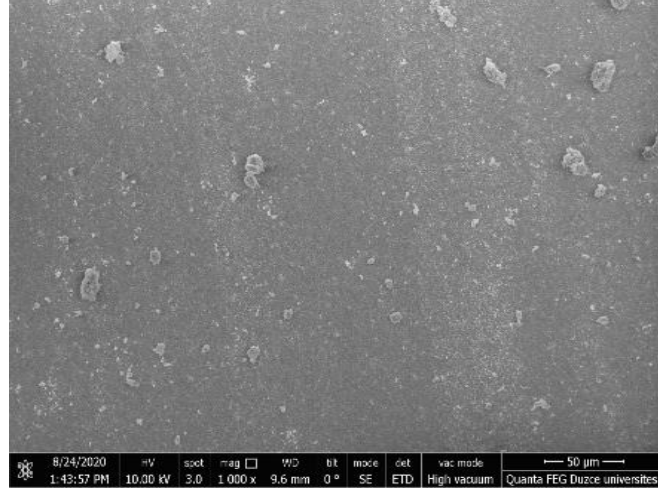
Madde	Madde Miktarı	Aplikasyon Süresi	Aplikasyon Sıcaklığı	Kurutma İşlemi	Test Mikroorganizmaları
Ag-TiO ₂ + ZnPT	4g/L + 0.01g/L	60 dk	50 °C	60 dk-70 °C	<i>E. faecalis</i> <i>S. aureus</i> <i>S. epidermidis</i> <i>S. typhimurium</i> <i>P. vulgaris</i> <i>Y. pseudotuberculosis</i> <i>P. aeruginosa</i> <i>E. cloaceaceae</i> <i>E. coli</i> <i>K. pneumoniae</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>B. subtilis</i> <i>C. albicans</i>

2.7. SİTOGENETİK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerin sitotoksik etkilerinin belirlenmesi amacıyla, çabuk ulaşılabilir maliyet ve hızlı çimlenmesi nedeni ile *A. cepa* kullanılmıştır [87], [88]. Çalışmada kullanılmak üzere orta boy yaklaşık 51 adet *A. cepa* seçilmiştir. Yaklaşık olarak 6-7 cm çapında olan *A. cepa* kök primordialarına zarar vermeyecek şekilde çimlenmiş olan kök ve dış kabuklardan temizlenmiştir. Ag-TiO₂ ve ZnPT kompleksleri 0.05, 0.1, 2.5, 5, 10, 25, 50, 100 mg/L’ lik konsantrasyonları distile su ile hazırlanmıştır. Daha sonrasında oda sıcaklığında ve karanlık ortamda 96 saat boyunca çimlendirilmiştir. Her bir uygulama grubu için üçer adet soğan kullanılmıştır. Süre sonunda her bir soğanların kök uzunlukları değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

Bu çalışmada, öncelikle antimikrobiyal tekstil üretiminde kullanılmak üzere, kalsinasyonlu ve kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ kompleksi sentezlenmiş ve elektron mikroskopisiyle karakterize edilmiştir (Şekil 3.1). Yine daha önce belirtildiği gibi çalışmada kullanılan ZnPT kompleksi ticari olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Ag-TiO₂ Nanotaneciklerin SEM görüntüsü.

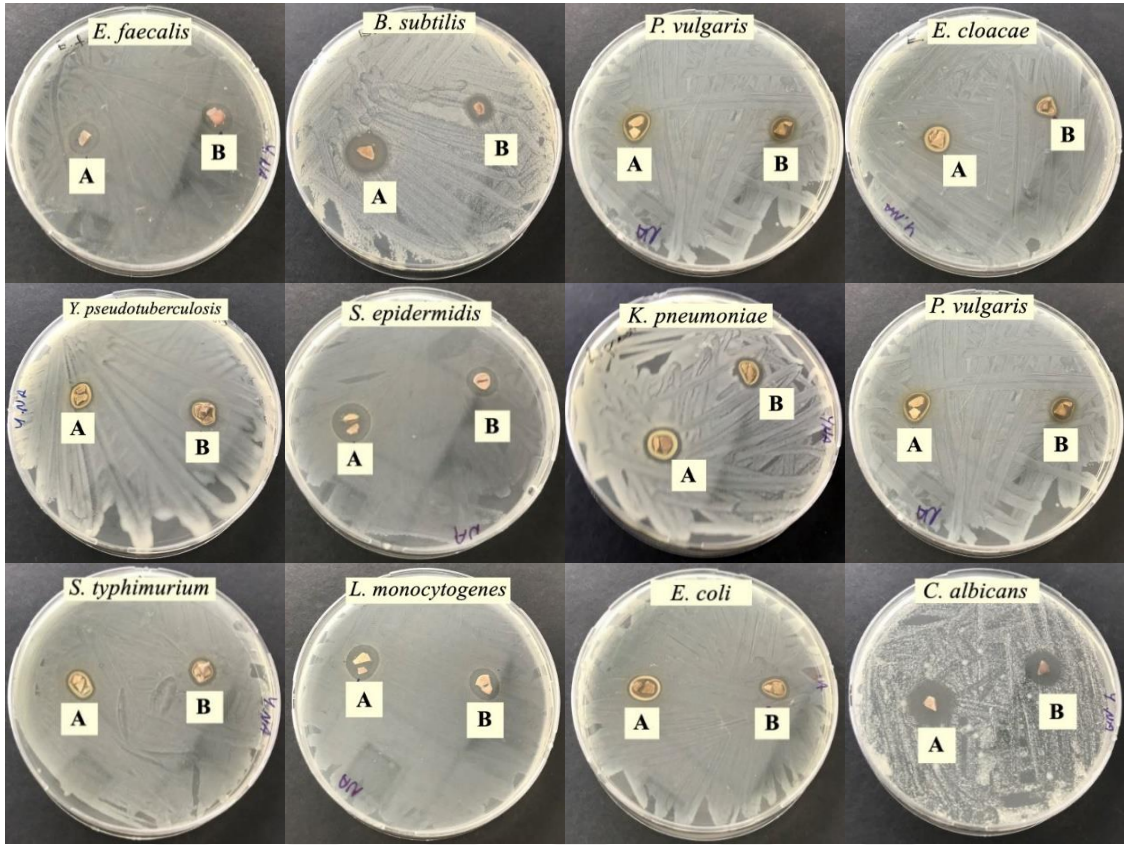
3.1. Ag-TiO₂ ve ZnPT KOMPLEKSLERİNİN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTE ANALİZ BULGULARI

Antimikrobiyal özellik kazandırmak amacıyla kullanılacak Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin kumaş aplikasyonu öncesinde üç farklı yöntem ile antimikrobiyal aktiviteleri analiz edilmiştir.

3.1.1. Katı Formda Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analiz Bulguları

Öncelikle bu çalışma için sentezlenen çözünmemiş katı formda olan kalsinasyonlu ve kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ komplekslerinin antimikrobiyal aktiviteleri test edilmiştir (Şekil 3.2). Yapılan çalışma sonucunda katı formda olan kalsinasyonlu ve kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ komplekslerinin *P. vulgaris*, *E. cloacae*, *Y. pseudotuberculosis*, *L. monocytogenes*, *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. epidermidis*, *E. faecalis*, *B. subtilis*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* ve *C. albicans* olmak üzere tüm tüm mikroorganizmalara karşı

antimikrobiyal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 3.2).

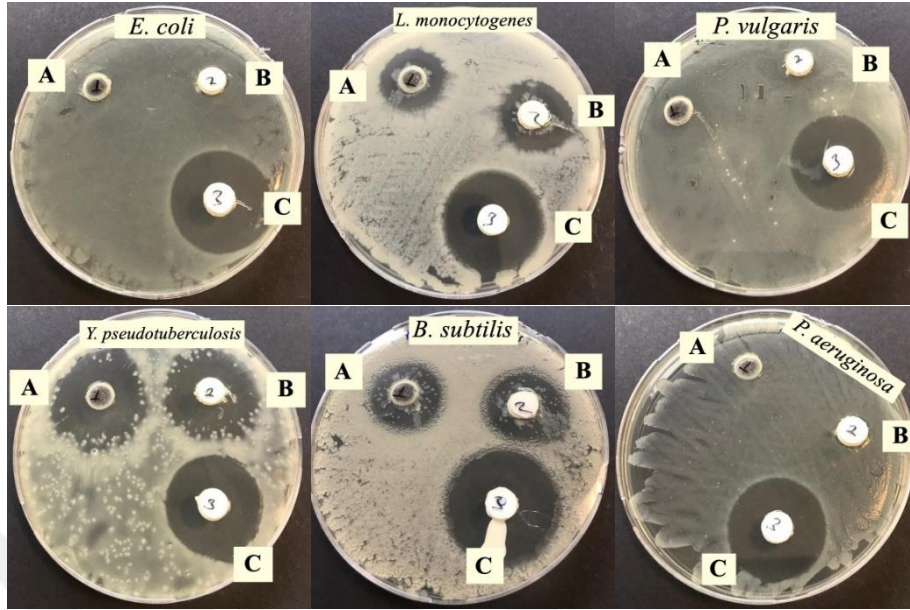


Şekil 3.2. Antimikrobiyal aktivite sonuçları [A]; Kalsinasyonlu Ag-TiO₂ [B];
Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂.

3.1.2. Agar Kuyu Difüzyon Yöntemi ile Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ ve ZnPT Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analiz Bulguları

Bu çalışmada, çözülmüş Ag-TiO₂ (kalsinasyonsuz), Ag-TiO₂ (kalsinasyonlu) ve ZnPT komplekslerinin agar kuyu difüzyon yöntemi ile antimikrobiyal aktiviteleri test edilmiştir. Komplekslerin test mikroorganizmalarına karşı gösterdikleri inhibisyon etkileri Şekil 3.3 ve Çizelge 3.1' de gösterilmiştir. Çözülmüş formda katı formdaki kompleksler ile kıyaslandığında; kalsinasyonlu ve kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ komplekslerinin biri hariç (*Y. pseudotuberculosis*) Gram (-) diğer tüm bakterilere (*E. cloacae*, *S. typhimurium*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* ve *E. coli*) ve *C. albicans*' a karşı antimikrobiyal aktivitesini kaybettiği görülmüştür. Diğer Gram (+); *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *L. monocytogenes* ve Gram (-); *Y. pseudotuberculosis* bakterilerine karşı inhibisyon aktiviteye sahip olduğu görülmüştür. Bu durum Ag-TiO₂: C₂₀H₃₇NaO₇S (1:1) oranında karıştırılarak 100 mL saf su içinde tam olarak çözünmediği ve buna bağlı olarak Ag-TiO₂ miktarının antimikrobiyal

aktivite için yetersiz kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte ZnPT Kompleksinin tüm test mikroorganizmalarına karşı yüksek inhibisyon aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir.



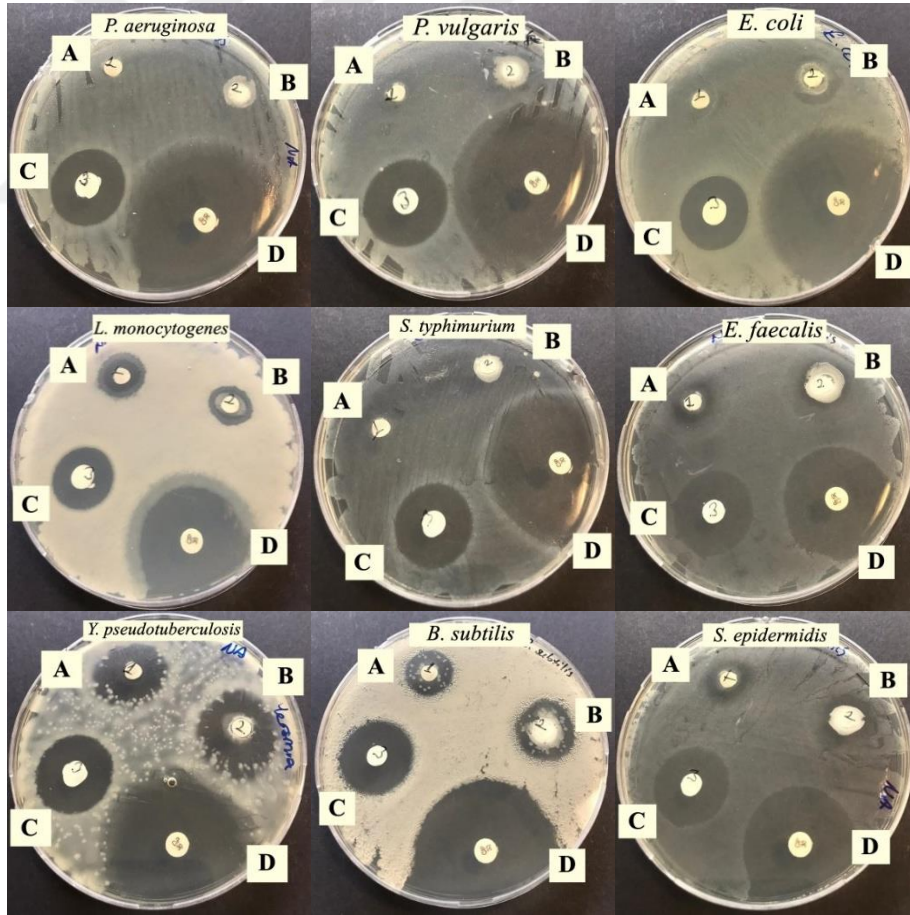
Şekil 3.3. Agar kuyu difüzyon aktivite sonuçları [A]; Kalsinasyonlu Ag-TiO₂, [B]; Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂, [C]; ZnPT.

Çizelge 3.1. Komplekslerin kuyu difüzyon tarama verileri.

Test Mikroorganizmaları	İnhibisyon Bölgesi (mm)		
	ZnPT	Ag-TiO ₂ (Kalsinasyonlu)	Ag-TiO ₂ (Kalsinasyonsuz)
<i>E. cloaceae</i>	29	-	-
<i>E. faecalis</i>	28	16	16
<i>S. typhimurium</i>	28	-	-
<i>S. epidermidis</i>	33	16	16
<i>P. vulgaris</i>	29	-	-
<i>Y. pseudotuberculosis</i>	27	31	31
<i>S. aureus</i>	32	16	16
<i>P. aeruginosa</i>	27	-	-
<i>K. pneumoniae</i>	40	-	-
<i>B. subtilis</i>	30	23	22
<i>E. coli</i>	27	-	-
<i>L. monocytogenes</i>	30	19	21
<i>C. albicans</i>	28	-	-

3.1.3. Agar Disk Difüzyon Yöntemi ile Kalsinasyonlu/Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ ve ZnPT Komplekslerinin Antimikrobiyal Aktivite Analiz Bulguları

Bu çalışmada, çözülmüş Ag-TiO₂ (kalsinasyonsuz), Ag-TiO₂ (kalsinasyonlu) ve ZnPT komplekslerinin disk difüzyon yöntemi ile antimikrobiyal aktiviteleri test edilmiştir. Komplekslerin test bakterilere karşı gösterdikleri inhibasyon etkileri Şekil 3.4 ve Çizelge 3.2' de gösterilmiştir. Çözülmüş formda disk difüzyon analizinde olduğu gibi kalsinasyonlu ve kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ komplekslerinin biri hariç (*Y. pseudotuberculosis*) Gram (-) diğer bakterilere (*E. cloaceae*, *S. typhimurium*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* ve *E. coli*) ve *C. albicans*' a karşı antimikrobiyal aktivitesini kaybettiği görülmüştür. *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *Y. pseudotuberculosis*, *S. aureus*, *B. subtilis*, ve *L. monocytogenes* bakterilerine karşı inhibasyon aktiviteye sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte ZnPT Kompleksinin tüm test mikroorganizmalarına karşı yüksek inhibasyon aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Agar disk difüzyon aktivite sonuçları [A]; Kalsinasyonlu Ag-TiO₂ [B]; Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂, [C]; ZnPT, [D]; Pozitif Kontrol.

Çizelge 3.2. Komplekslerin disk difüzyon tarama verileri.

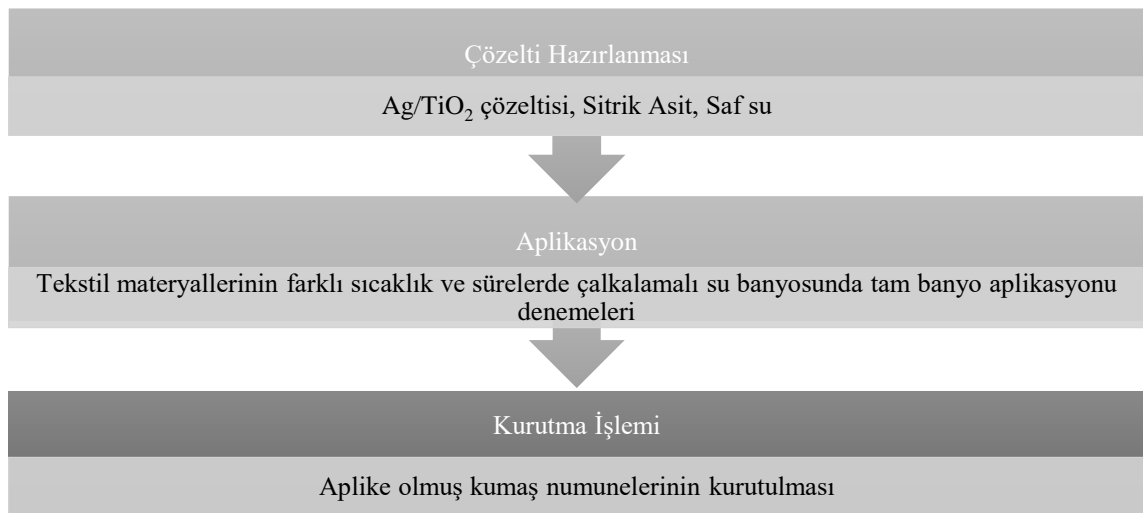
Test Mikroorganizmaları	İnhibasyon Bölgesi (mm)			K
	ZnPT	Ag-TiO ₂ (kalsinasyonlu)	Ag-TiO ₂ (kalsinasyonsuz)	
<i>E. cloaceae</i>	24	-	-	40
<i>E. faecalis</i>	23	18	18	30
<i>S. typhimurium</i>	20	-	-	41
<i>S. epidermidis</i>	22	16	16	33
<i>P. vulgaris</i>	24	-	-	47
<i>Y. pseudotuberculosis</i>	32	21	23	40
<i>S. aureus</i>	31	20	20	33
<i>P. aeruginosa</i>	22	-	-	43
<i>K. pneumoniae</i>	33	-	-	41
<i>B. subtilis</i>	24	19	20	40
<i>E. coli</i>	21	-	-	38
<i>L. monocytogenes</i>	19	16	16	33
<i>C. albicans</i>	28	-	-	-

K; Kontrol (Ciprofloxacin; 30 mg)

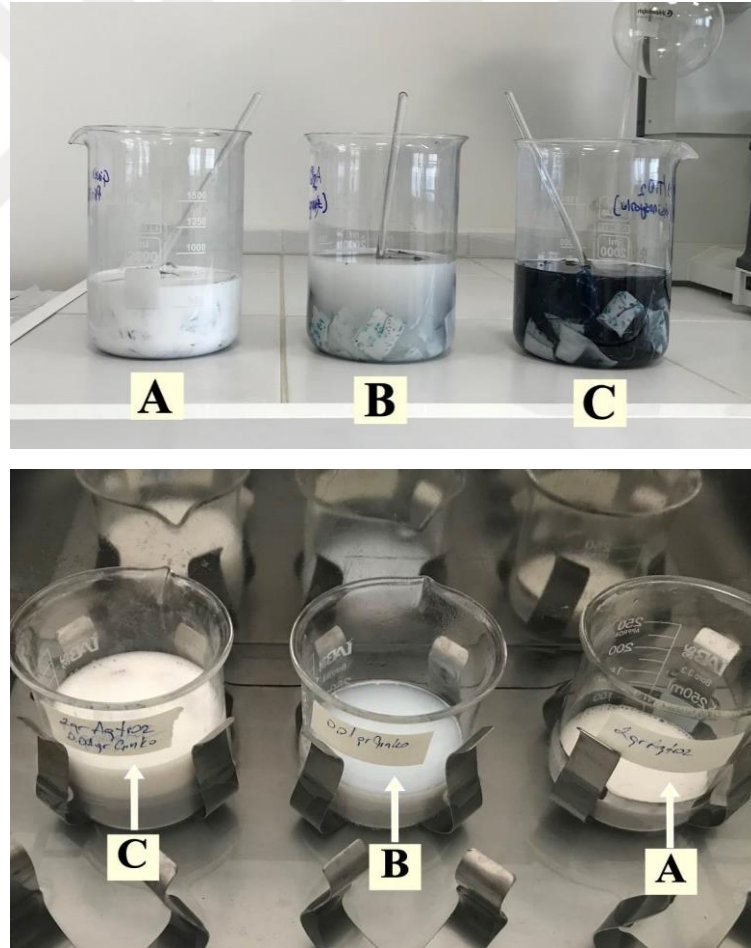
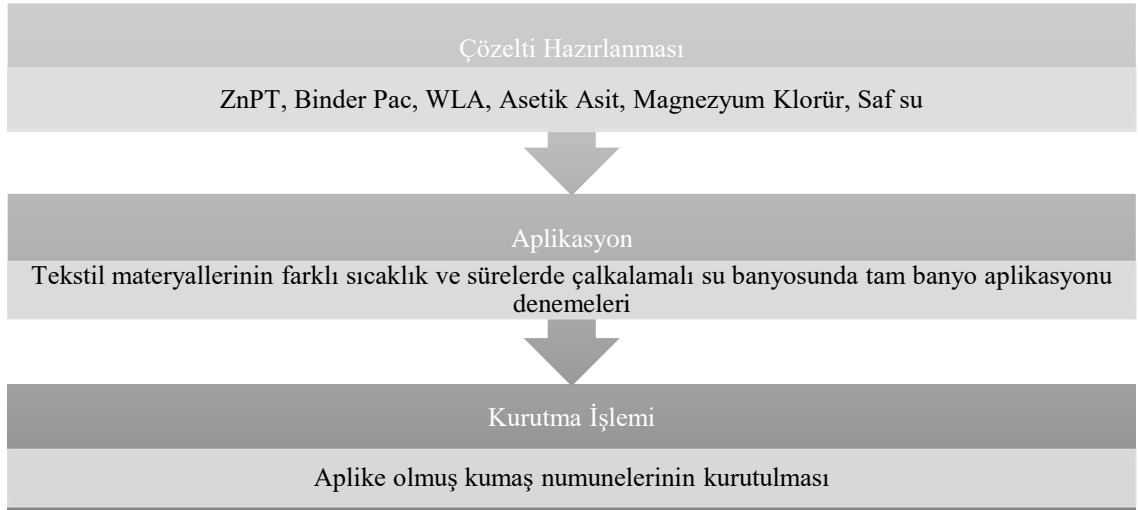
3.2. Ag-TiO₂ ve ZnPT KOMPLEKSLERİNİN OPTİMUM APLİKASYON PARAMETRELERİ

Bu çalışmada, gerek tekstil endüstrisinde çok yaygın kullanılması gerekse de kullanılan kimyasal maddelerin lif ve tekstil ürünlerine kolay uygulanabilirliği nedeniyle çektirme (tam banyo aplikasyon) yöntemi tercih edilmiştir. Farklı aplikasyon şartları denemeleri ile elde edilen tekstil örneklerinin antimikrobiyal aktiviteleri test edilmiş ve komplekslerin test mikroorganizmaları için en yüksek inhibisyon etkiye sahip aplikasyon şartları tespit edilmiştir (Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4).

Çizelge 3.3. Ag-TiO₂ kompleksinin kumaş aplikasyon proses akış şeması.



Çizelge 3.4. ZnPT kompleksinin kumaş aplikasyon proses akış şeması.



Şekil 3.5. Aplikasyon uygulamaları [A]; ZnPT, [B]; Ag-TiO₂ (kalsinasyonsuz), [C]; Ag-TiO₂ (kalsinasyonlu).

3.2.1. Optimum Sıcaklık ve Süre

Bu çalışmada, farklı sıcaklık ve sürelerde Ag-TiO₂ ve ZnPT kompleksleri ile applike edilen kumaş örneklerinin antimikrobiyal aktivitesi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, Ag-TiO₂ ve ZnPT kompleksleri ile 50°C' de 60 dakika aplikasyon sonrasında 70°C' de 60 dakika kurutma işlemi ile elde edilen kumaş örneklerinin 13 mikroorganizmaya (*Y. pseudotubercluisis*, *E. cloaceae*, *S. typhimurium*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. coli*, *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *L. monocytogenes* ve *C. albicans*) karşı yüksek aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiş ve bu şartlar optimum aplikasyon şartları olarak kabul edilmiştir. Çözündürme işlemi sonrasında yapılan doğrudan aktivite testleri ile bazı mikroorganizmalara karşı aktivitesini kaybettiği gözlenen Ag-TiO₂ kompleksinin, yüksek oranda ve çapraz bağlayıcı (sitrik asit) ile muamelesi ile kumaş aplikasyonu sonrasında tekrar 7 mikroorganizmaya (*E. cloaceae*, *S. typhimurium*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. coli* ve *C. albicans*) karşı aktivite kazandığı görülmüştür. Ag-TiO₂ kompleksinin konsantrasyon artışına bağlı olarak antimikrobiyal aktivitesinin arttığı gözlenmiştir.

Ayrıca yapılan çalışmalar sonucunda, kalsinasyonlu ve kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ komplekslerinin antimikrobiyal aktivitelerinde bir fark görülememiş olup, bundan sonraki tüm çalışmalarda çözünmesi daha iyi olan Kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ kompleksi ile devam edilmiştir.

3.3.2. Konsantrasyon Optimizasyonu ve MİK Tayini Bulguları

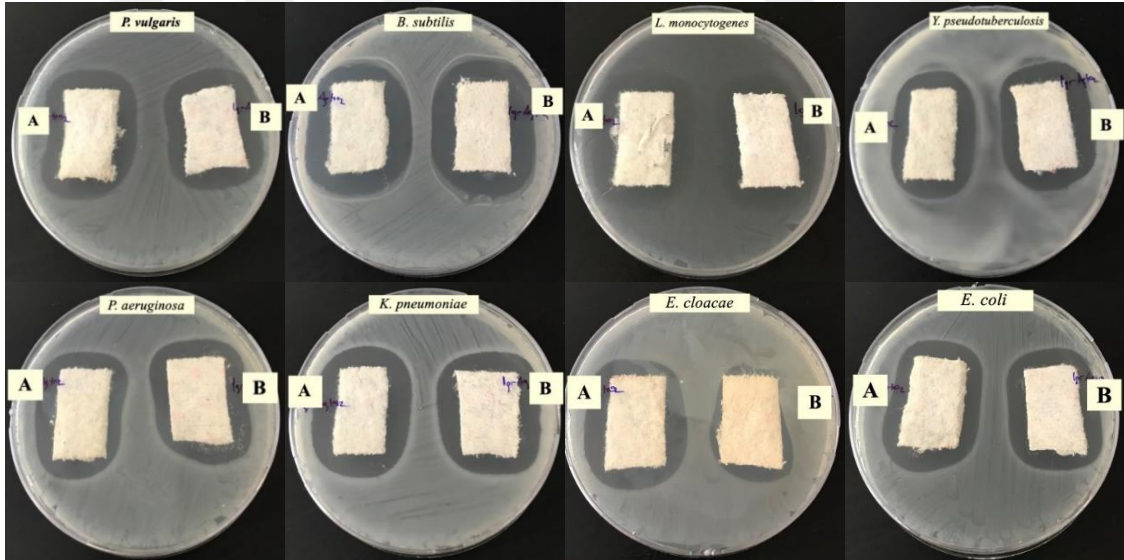
Denemelerde kullanılan Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin minimal inhibasyon konsantrasyonunu (MİK) ortaya çıkarmak amacı ile farklı konsantrasyonlar hazırlanmış tekstil materyalleri belirlenen optimum proses basamaklarına göre applike edilmiş ve kurutulmuştur. MİK testleri sonucunda; Ag-TiO₂ kompleksinin indikatör bakteriler için MİK değerleri; *E. cloaceae* ve *S. typhimurium* için 1g/L, *C. albicans* için 4g/L, *Y. pseudotubercluisis*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. coli*, *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *S. aureus*, ve *L. monocytogenes* için 0,5g/L, *B. subtilis* için 0,1g/L, ve tüm test bakterileri için ZnPT kompleksinin MİK değeri ise 0.005g/L olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.5 ve şekil 3.6).

Çizelge 3.5. Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin antimikrobiyal aktivite sonuçları.

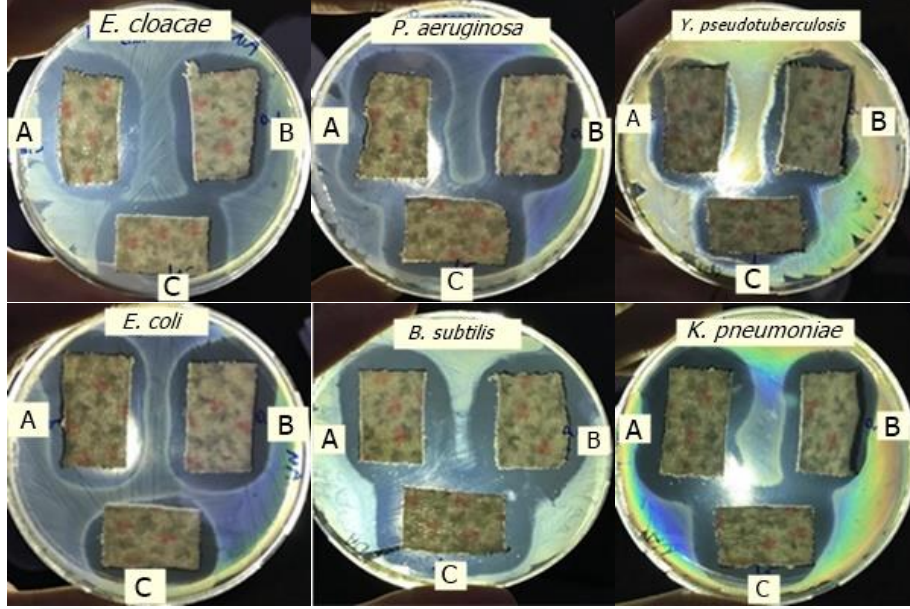
Test Mikroorganizmaları	Ag-TiO ₂ (g/L)					ZnPT (g/L)						
	0.1	0.5	1	2	4	0,001	0,005	0.01	0.1	0.5	1	2
<i>E. cloaceae</i>	-	-	31	33	34	-	+	33	34	35	35	38
<i>E. faecalis</i>	-	+	32	35	37	-	+	34	35	37	40	39
<i>S. typhimurium</i>	-	-	33	34	35	-	+	33	35	36	38	40
<i>S. epidermidis</i>	-	+	32	34	35	-	+	32	33	36	36	37
<i>P. vulgaris</i>	-	+	33	35	37	-	+	31	32	34	35	39
<i>Y. pseudotuberculosis</i>	-	+	34	41	42	-	+	31	32	33	34	33
<i>S. aureus</i>	-	+	32	34	36	-	+	33	35	33	35	39
<i>P. aeruginosa</i>	-	+	32	34	37	-	+	31	34	34	37	40
<i>K. pneumoniae</i>	-	+	32	35	35	-	+	31	43	36	36	43
<i>B. subtilis</i>	+	32	33	37	40	-	+	34	39	40	43	45
<i>E. coli</i>	-	+	32	33	35	-	+	33	35	36	38	40
<i>L. monocytogenes</i>	-	+	32	35	36	-	+	31	33	36	35	40
<i>C. albicans</i>	-	-	-	-	+	-	+	35	40	43	44	50

(+); kumaş çevresinde değil ancak temas noktasında mikroorganizma inhibisyonu var.

(-); inhibisyon yok.

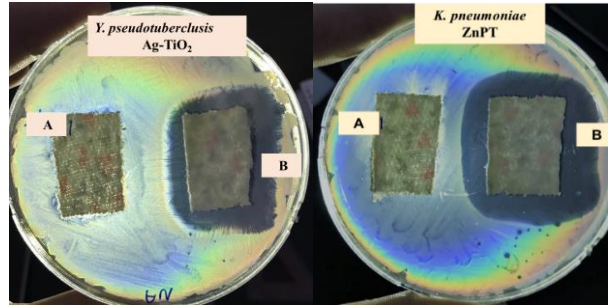


Şekil 3.6. Optimum şartlarda aplikasyon sonrası Ag-TiO₂ MİK tayini [A]; 2g/L, [B]; 1g/L.



Şekil 3.7. Optimum şartlarda aplikasyon sonrası ZnPT MİK tayini [A]; 0.5g/L, [B]; 0.1g/L, [C]; 1g/L.

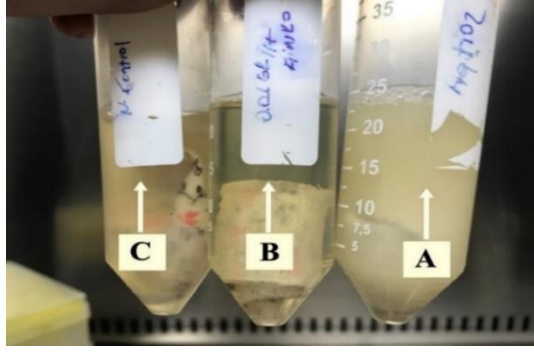
Bununla birlikte; kalıcılık ve görünür/ölçülebilir antimikrobiyal aktivite komplekslerin optimum konsantrasyonları; Ag-TiO₂ kompleksinin 4g/L ve ZnPT kompleksinin ise 0.01g/L olarak belirlenmiştir. Bundan sonraki tüm çalışmalarda bu konsantrasyonlar ile devam edilmiştir (Şekil 3.7).



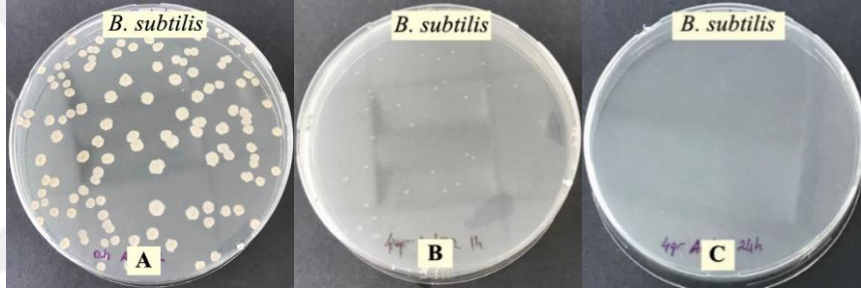
Şekil 3.8. Optimum aplikasyon koşulları Ag-TiO₂; [A]; Kontrol, [B]; 4g/L Ag-TiO₂; ZnPT; [A]; Kontrol, [B]; 0,01g/L ZnPT.

3.3. KOMPLEKSLERİN MİNİMUM BAKTERİSİDAL KONSANTRASYONU (MBK) TAYİNİ BULGULARI

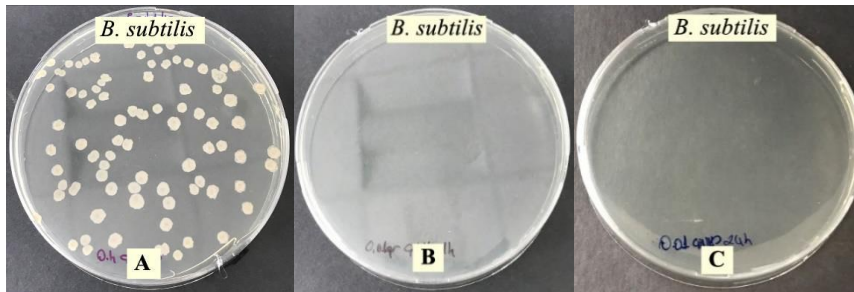
Ag-TiO₂ (4g/L) ve ZnPT (0.01g/L) komplekslerinin optimum aplikasyon konsantrasyonları kullanılarak *B. subtilis* bakterisi örnekleme üzerinden minimum bakterisidal konsantrasyonu (MBK) belirlenmiştir (Şekil 3.8-3.10).



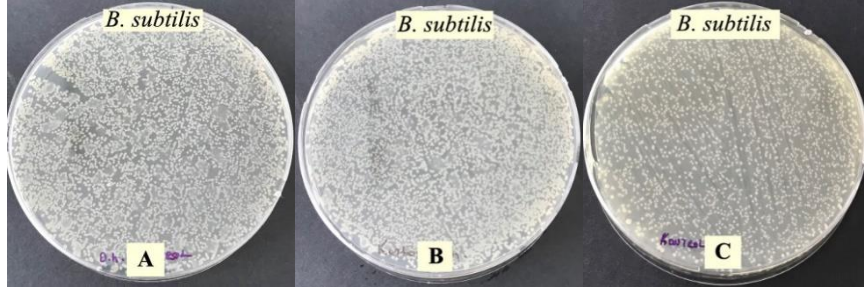
Şekil 3.9. Shake flask metodu ile MBK [A]; *B. subtilis* bakterisinin (2×10^5 CFU/ml) Ag-TiO₂ (4g/L) kompleksiyle applike edilmiş kumaş örneği ile inkübasyonu. [B]; *B. subtilis* bakterisinin (2×10^5 CFU/ml) ZnPT (0.01g/L) kompleksi ile applike edilmiş kumaş örneği ile inkübasyonu. [C]; *B. subtilis* bakterisinin (2×10^5 CFU/ml) aplikasyon yapılmamış kumaş örneği (kontrol) ile inkübasyonu.



Şekil 3.10. Shake flask metodu ile MBK testi için; *B. subtilis* bakterisinin (2×10^5 CFU/ml) Ag-TiO₂ (4g/L) kompleksiyle applike edilmiş kumaş örneği ile inkübasyonu sonrasında [A]; İnkübasyonun 0. saati CFU/mL, [B]; İnkübasyonun 1. saati CFU/mL, [C]; İnkübasyonun 24. saati CFU/mL.



Şekil 3.11. Shake flask metodu ile MBK testi için; *B. subtilis* bakterisinin (2×10^5 CFU/mL) ZnPT (0.01g/L) kompleksiyle applike edilmiş kumaş örneği ile inkübasyonu sonrasında [A]; İnkübasyonun 0. saati CFU/mL [B]; İnkübasyonun 1. saati CFU/mL, [C]; İnkübasyonun 24. saati CFU/mL.



Şekil 3.12. Shake flask metodu ile MBK testi için; *B. subtilis* bakterisinin (2×10^5 CFU/mL) aplikasyonsuz tekstil numunesi ile inkübasyonu sonrasında [A]; İnkübasyonun 0. saati CFU/mL, [B]; İnkübasyonun 1. saati CFU/mL, [C]; İnkübasyonun 24. saati CFU/mL.

Ag-TiO₂ (4g/L) kompleksinin 1 saat içerisinde *B. subtilis* bakteri sayısını %78.46 oranında azalttığı 24 saat içerisinde ise bakteri büyümesini tamamen ortadan kaldırdığı görülmüş olup, bakteriyosidal aktiviteye sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 3.6), (Şekil 3.10). ZnPT (0.01g/L) kompleksinin ise 1 saat içerisinde dahi etkisini hızla gösterdiği ve güçlü bakteriyosidal aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.6), (Şekil 3.11).

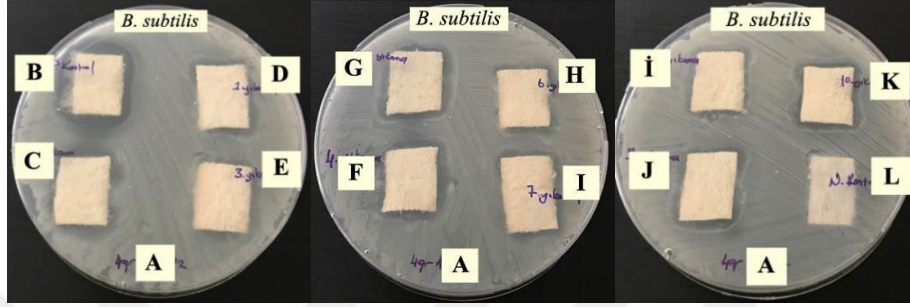
Çizelge 3.6. Shake flask metodu sonuçları.

Uygulama	CFU / L			Azalan Canlılık (1h)	Azalan Canlılık (24h)
	0 h	1 h	24 h		
Ag-TiO ₂ (4g/L aplikasyon)	1300	280	0	%78.46	% 100
ZnPT (0,01g/L aplikasyon)	900	0	0	%100	% 100
Negatif Kontrol	>300	>300	>300	0	0

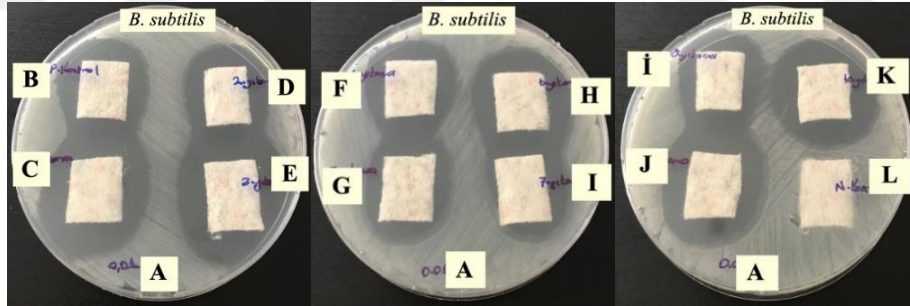
3.4. STABİLİTE SONUÇLARI

Yıkama dayanımı kullanılan etken maddenin infinite özelliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu çalışmada yıkama testleri sonucunda komplekslerin antibakteriyel etkinliğinin 10. yıkamaya kadar devam ettiği görülmüştür (Şekil 3.13-3.15). Ancak Ag-TiO₂ (4g/L aplikasyon) kompleksinin etkinliğini yıkamalar sonucunda (ilk yıkamada itibaren) ciddi bir şekilde kaybettiği (<70%) görülmekte ve yine açık havada gerçekleştirilen stabilite deneylerinde aktivite kaybı (<50%) görülmektedir.

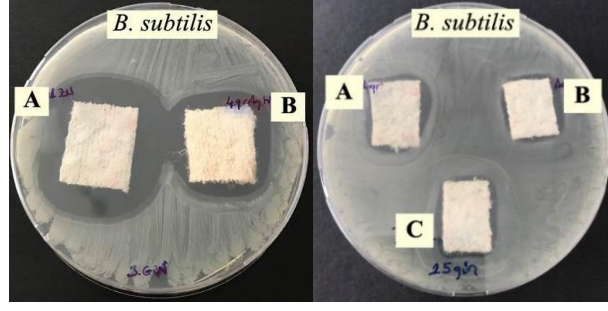
ZnPT (0,01g/L aplikasyon) kompleksinin ise yıkama testlerine çok daha dayanıklı olduğu hatta 10 yıkama sonrasında bile herhangi bir aktivite kaybı olmadığı gözlenmiştir. Zamana bağlı değişim ise komplekslerin açık havada inkübasyonu neticesinde 25. günde antimikrobiyal aktivitenin devam ettiği belirlenmiştir (Şekil 3.15). Açık havada gerçekleştirilen stabilite deneylerinde iki kompleks için de zamana bağlı olarak ciddi aktivite kaybının olduğu (<50%) görülmektedir.



Şekil 3.13. Ag-TiO₂ maddesinin yıkama testi sonuçları [A]; 4g/L AgTiO₂, [B]; Pozitif Kontrol, [C]; 1.yıkama, [D]; 2.yıkama, [E]; 3.yıkama, [F]; 4.yıkama, [G]; 5.yıkama, [H]; 6.yıkama, [I]; 7.yıkama, [J]; 8.yıkama, [K]; 9.yıkama, [L]; Negatif Kontrol.



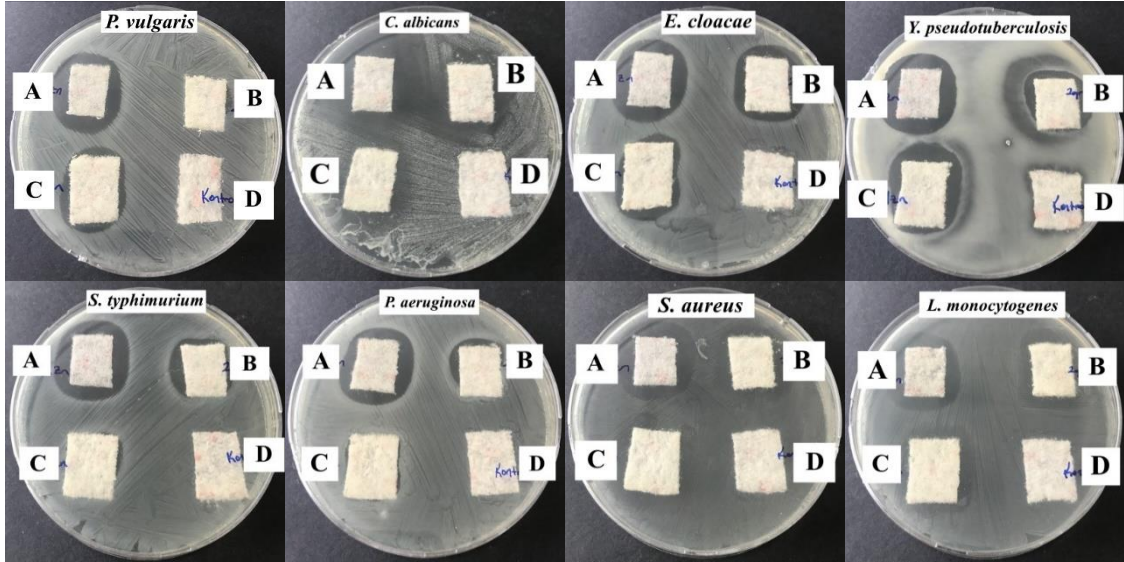
Şekil 3.14. ZnPT maddesinin yıkama testi sonuçları [A]; 0.01g/L ZnPT, [B]; Pozitif Kontrol, [C]; 1.yıkama, [D]; 2.yıkama, [E]; 3.yıkama, [F]; 4.yıkama, [G]; 5.yıkama, [H]; 6.yıkama, [I]; 7.yıkama, [J]; 8.yıkama, [K]; 9.yıkama, [L]; Negatif Kontrol.



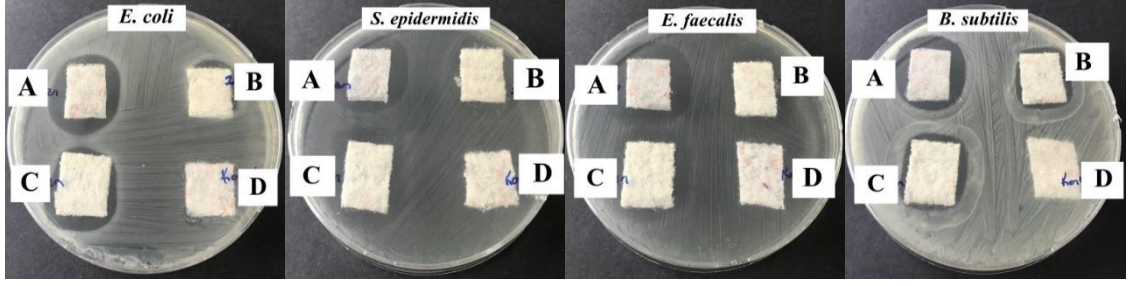
Şekil 3.15. Aplikasyon sonrası tekstil numunelerinin süreye bağlı stabilite sonuçları [1]; 3. gün antibakteriyal aktivite sonuçları [A]; 0.01g/L ZnPT, [B]; 4g/L Ag-TiO₂, [2]; 25. gün antibakteriyal aktivite sonuçları [A]; 0.1g/L ZnPT, [B]; 4g/L Ag-TiO₂, [C]; Ag-TiO₂/ZnPT.

3.5. Ag-TiO₂ ve ZnPT KOMBİNASYONUNUN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTE DÜZEYİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Yapılan çalışma sonucunda 4g/L Ag-TiO₂ ve 0.01g/L ZnPT komplekslerinin karışımları ile yapılan aplikasyon sonucunda elde edilen tekstil örneklerinin test mikroorganizmalarına karşı antimikrobiyal aktivitelerinde de bir azalma tespit edilmiştir (Şekil 3.16). İki kompleks arasında antogonistik bir etkileşimin gerçekleştiği görülmüştür.



Şekil 3.16. Optimum şartlarda aplikasyon sonrası maddelerin MİK tayini [A]; 0.01g/L ZnPT, [B]; 4g/L Ag-TiO₂, [C]; Ag-TiO₂/ZnPT, [D]; Negatif Kontrol.



Şekil 3.16. (devamı) Optimum şartlarda aplikasyon sonrası maddelerin MİK tayini [A]; 0.01g/L ZnPT, [B]; 4g/L Ag-TiO₂, [C]; Ag-TiO₂/ZnPT, [D]; Negatif Kontrol.

3.6. SİTOTOKSİSİTE SONUÇLAR

Komplekslerin *Allium cepa* L.'deki sitogenetik etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma sonucunda 0,1g/L Ag-TiO₂ ve ZnPT konsantrasyonlarının kök uzamasına olumsuz etkide bulunduğu ≤ 0.1 g/L konsantrasyonlarının ise toksik bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir (Şekil 3.18-3.19). *A. cepa* ile yapılan sitogenetik çalışmalardan elde edilen verilere dayanarak daha geniş ve kapsamlı bir araştırma yapılması gerekli sitogenetik etkiyi belirlemede yardımcı olacaktır.



Şekil 3.17. Sitotoksosite deneyi.



Şekil 3.18. Ag-TiO₂ kompleksinin sitotoksisite sonucu.



Şekil 3.19. ZnPT kompleksinin sitotoksisite sonucu.

4. TARTIŞMA

Tekstil ürünleri yapıları ve kullanıldıkları yerler açısından mikroorganizmaların yaşaması ve çoğalması için uygun sıcaklık, nem ve besin maddesi sağlayan ortamlardır [2]. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde tekstil yüzeylerinde uygun şartlar altında mikroorganizmalar çok hızlı bir şekilde üreyerek tehlike yaratmaktadır. Bu mikroorganizmalar tekstil açısından renk ve performans kaybına diğer yandan kullanıcının konfor kaybına kötü koku oluşumuna sebep olmakla birlikte aynı zamanda çevre ve insan sağlığına zarar vermektedir [89].

Yapılan bir araştırmada, parainfluenza virüsünün (HPIV-1, HPIV-2, HPIV-3, HPIV-4) tekstil materyalleri üzerinde dört saat hayatta kalabileceği ve bu sebeple tekstillerin bu virüsü bulaştırma olasılığında bir kaynak olabileceği bildirilmiştir [37]. Yine bir başka çalışmada hemşire üniformalarının mikrobiyolojik örnekleme yapılmış üniformalar üzerinde *Staphylococcus aureus*, *Clostridium difficile* ve vankomisine dirençli enterokoklar saptanmış ve hemşire üniformalarının sık sık değiştirilmesi konusunda tavsiyelerde bulunmuştur [38]. Hochmuth ve ark. Tarafından yapılan başka bir çalışmada, vankomisine dirençli enterokok suşlarının doğal keten lifinden imal edilmiş çarşaf üzerinde 11 hafta hayatta kalabileceği görülmüş, vankomisine dirençli enterokokların cansız yüzeylerde uzun süre yaşamda kalabileceği ve bu yüzeylere uygun antimikrobiyal işlem uygulamak vankomisine dirençli enterokokların nozokomiyal bulaşmasının önlenmesinde önem taşıdığı görülmüştür [39].

Bir başka çalışmada 200' den fazla hastanede kullanılan çeşitli tekstil ürünlerinden örnekler alınmış, alınan örneklerde insandan kaynaklı (koagülaz negatif stafilokok) ve çevresel kaynaklı (*Bacillus* spp., Küfler) ve *Acinetobacter baumannii*, MRSA ürettiği gözlenmiştir. Temiz çamaşırlar üzerinde saptanan bu patojenlerin temas ve hava yolu ile taşınabileceği belirtilmiştir [40]. MRSA ve vankomisine dirençli enterokok gibi patojenler hastane mahremiyet perdelerinin %92' sini kontamine ettiği yapılan çalışmalarda bildirilmiştir [41]. Postoperatif *Bacillus cereus* üzerinde yapılan çalışmada, çamaşır makinesiyle yıkanan hastane çamaşırlarının yüksek miktarda *Bacillus cereus* sporları barındırdığı ve yıkama işleminden sonrada mevcut olduğu belirlenmiştir [42].

Kadın doğum servisinde yapılan bir araştırmada, yenidoğan bebeklerin göbek bağlarından alınan örneklerin %44'ünde *Bacillus cereus* patojeni görülmüştür. Bulaşıya kaynak olarak havadan hastane personelinden ve temiz çamaşırlardan bebek bezlerine bulaşması düşünülmektedir. [42]. Yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere hastane ve cerrahi alan enfeksiyonlarında kullanılan tekstil materyalleri ön planda bulunmaktadır. Bu tekstil materyalleri patojenlerin yayılması ve çoğalması için elverişli ortamlar sağlamaktadır.

Bu gibi sebepler ve özellikle son yıllarda görülen salgın hastalıklar, artan nozokomiyal enfeksiyonlar ve hijyen bilincinin artması antimikrobiyal tekstil ürünlerine olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Günümüzde artan ihtiyacı karşılamak üzere, tekstil sektöründe kullanılabilecek birçok antimikrobiyal madde geliştirilmiştir. Günümüzde tekstil ürünlerine antimikrobiyal etki kazandırmak amacıyla triklosan, kitosan, kuaterner amonyum tuzları, gümüş, bakır, çinko, gibi metaller kullanılmaktadır [1]–[10]. Bunlar içerisinde gümüş antimikrobiyal özelliği çok eski dönemlerden buyana bilinen doğal antimikrobiyal maddeler içerisinde değerlendirilmektedir. Gümüş türevlerinin *E. coli*, *S. aureus*, *Klebsiella* sp. ve *Pseudomonas* sp. gibi yaklaşık olarak 650 bakteri türüne karşı inhibisyon aktiviteye sahip olduğu bildirilmekle birlikte, antiviral ve antifungal özellikleri sebebiyle dokumacılık sektöründen kozmetik sektörüne, farmakoloji sektöründen halı sanayisine kadar birçok alanda önemli bir yere sahiptir [11]. Gümüşün antimikrobiyal mekanizmasının detayları henüz çok net açıklanamamakla birlikte, gümüş iyonlarının, mikroorganizmalardaki enzimlerin ve DNA'ların yapılarında bulunan tiyoller, karboksilatlar, amidler ve imidazoller gibi elektron taşıyan bileşiklere bağlanarak etkisiz hale getirdikleri bildirilmektedir [4]. Tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde gümüş içerikli moleküllerin kullanımı oldukça önemli bir yere sahiptir. Günümüzde farklı miktarlarda gümüş içeren yara örtüleri kullanılarak, antibiyotiğe dirençli bakterilere karşı etkinlik sağlandığı bildirilmektedir [12], [13]. Gümüşün cilt dostu olduğu ve cilt tahrişine neden olmaması, tekstil ürünlerinin geliştirilmesinde gümüşün kullanımını desteklemektedir. Ayrıca, gümüşün antimikrobiyal madde olarak çok geniş spektrumlu olması, gümüşe bakteri direncinin neredeyse hiç bulunmaması, düşük konsantrasyonlarda toksik olmaması, çoğu malzemeye göre son ürün haline getirilmesinin daha ucuz olması ve üretim işleminin kolay olması gibi birçok avantajı bulunmaktadır [12]. Günümüzde, gümüş tekstil ürünlerinin eldesinde kullanılan çok sayıda ticari antimikrobiyal sentetik lif ve iplik üretiminde kullanılmaktadır. Ultra-Fresh®, Silpure®, AlphaSan®, Bioactive®,

SmartSilver® bunlara örnek olarak verilebilir [14]. Her ne kadar gümüş türevlerinin tekstil sektörüne oranla farklı sektörlerde daha büyük pazar payına sahip olsada, gümüş türevlerinin tekstil endüstrisindeki uygulamaları hızla artmaktadır [14].

Antimikrobiyal özellikleri sebebiyle gümüşün yanısıra Çinko gibi diğer metallerde tekstil endüstrisi de dahil olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Özellikle Çinko piriton birçok sektörde sahip olduğu antimikrobiyal aktivitesi sebebiyle kullanılmaktadır. Çinko piriton (ZnPT) bakteriosidal ve fungisidal aktiviteye sahip organometalik bir bileşiktir. Kepek kontrolü amacıyla şampuanlarda en çok kullanılan antifungal ajandır. ZnPT 1950' lerde geliştirilmiş ve ilk olarak 1961' de kepek önleyici ajan olarak kullanılmıştır [15], [16]. Hücre kültürlerinde düşük konsantrasyonlarda uygulanan çinko ve piriton kombinasyonunun SARS koronavirüsünün replikasyonunu inhibe ettiği tespit edilmiştir. ZnPT ciltle uyumlu ve eko güvenlidir [14]. ZnPT tüketim hacminin ana oranını esas olarak kepek, seboreik dermatit ve sedef hastalığının tedavisi gibi tekstil dışı kullanımlar oluşturmaktadır [18], [19]. Diğer uygulamalar arasında tekstiller, yapıştırıcılar, boyalar, tel/kablo izolasyonu ve zemin kaplamaları yer almaktadır [19]. Çinko piritonun kremler, spreylere ve şampuanlar için kullanımı ciddi seviyelerde iken tekstil alanında kullanımı Si-QAC and TCS gibi tekstil antimikrobiyallerinden oldukça düşüktür [14]. Artan talep karşısında tekstil endüstrisindeki uygulamaları hızla artmaktadır.

Bu bağlamda, bu çalışmada tekstil ürünlerinde oluşabilecek mikrobiyal üremenin önlenmesi ve sağlık açısından zararlı organizmaların kontrolsüz çoğalmasını engellemek amacıyla pamuklu tekstil ürünlerine antimikrobiyal özellik kazandırılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, sentez Ag-TiO₂ ve ticari olarak elde edilen ZnPT komplekslerinin tekstil uygulamasını optimize edilmiş, komplekslerin uygulaması öncesinde ve sonrasında; 12 bakteri [7' i Gram (-) ve 5' i Gram (+)] ve 1 maya olmak üzere 13 farklı mikroorganizmaya karşı antimikrobiyal aktivitesi tespit edilmiş, minimal inhibasyon konsantrasyonları (MİK) ve minimum bakterisidal konsantrasyonları (MBK) belirlenmiştir.

Daha önceki bir çalışmada, TiO₂ nanotanicikleri kullanarak tasarlanan kompozit materyallerin yüksek antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu ve ayrıca TiO₂ nanotaniciklerinin kendi kendilerini steril etme özelliklerinin olduğu belirtilmiştir [43]. Yine yapılan farklı bir çalışmada, homojen olarak polipropilen ve gümüş içerikli nanokompozitler üretilerek elektron mikroskobu ile karakterize edilmiş ve bu nanokompozitlerin çok düşük konsantrasyonlarda dahi antibakteriyel aktiviteye sahip

olduğunu gözlemlenmiştir [90]. Bu çalışmada, antimikrobiyal özellikleri bu şekilde kanıtlanmış moleküller dikkate alınarak antimikrobiyal tekstil üretiminde kullanılmak üzere, Ag-TiO₂ kompleksi sentezlenmiş ve elektron mikroskopisiyle karakterize edilmiştir. Ticari ZnPT kompleksinin ise yüksek antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu yapılan birçok çalışma ile bilinmekte olup [52], [90], [91]. Literatürde antimikrobiyal tekstil ürünü geliştirme maksadıyla yapılan çok az çalışma mevcuttur.

Katı formda kalsinasyonlu ve kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ komplekslerinin tüm mikroorganizmalara karşı antibakteriyal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Çözünmüş formda ise; kalsinasyonlu ve kalsinasyonsuz Ag-TiO₂ komplekslerinin biri hariç (*Y. pseudotuberclulis*) Gram (-) diğer bakterilere (*E. cloaceae*, *S. typhimurium*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* ve *E. coli*) ve *C. albicans*' a karşı antimikrobiyal aktivitesini kaybettiği görülmüştür. *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *Y. pseudotuberculosis*, *S. aureus*, *B. subtilis*, ve *L. monocytogenes* bakterilerine karşı inhibisyon aktiviteye sahip olduğu görülmüştür. Bu durum Ag-TiO₂: C₂₀H₃₇NaO₇S (1:1) oranında karıştırılarak 100 mL saf su içinde tam olarak çözünmemiş ve buna bağlı olarak Ag-TiO₂ miktarı yetersiz antimikrobiyal aktivite için yetersiz kalmıştır. Bununla birlikte ZnPT Kompleksinin tüm test mikroorganizmalarına karşı yüksek inhibisyon aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. Farklı koşullarda tam banyo aplikasyonu ile Ag-TiO₂ ve ZnPT kompleksleri ile applike edilen kumaş örneklerinin 50°C' de 60 dakika aplikasyon sonrasında 70°C' de 60 dakika kurutma işlemi ile elde edilen kumaş örneklerinin 13 test mikroorganizmasına (*Y. pseudotuberclulis*, *E. cloaceae*, *S. typhimurium*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. coli*, *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *L. monocytogenes* ve *C. albicans*) karşı yüksek aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiş ve bu şartlar optimum aplikasyon şartları olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmada, çözündürme işlemi sonrasında yapılan doğrudan aktivite testleri ile bazı mikroorganizmalara karşı aktivitesini kaybettiği gözlenen Ag-TiO₂ kompleksinin, yüksek oranda ve çapraz bağlayıcı (sitrik asit) ile muamelesi ile kumaş aplikasyonu sonrasında tekrar 7 mikroorganizmaya (*E. cloaceae*, *S. typhimurium*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. coli* ve *C. albicans*) karşı aktivite kazandığı görülmüştür. Daha önceki yapılan çalışmalarda, kimyasal maddelerin antimikrobiyal özelliklerini arttırmak için belirli konsantrasyona ulaşılması gerektiği tesbit edilmiştir [20]. Bu çalışmada da Ag-TiO₂ kompleksinin konsantrasyon artışına bağlı olarak antimikrobiyal aktivitesinin arttığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmalarda gümüş içerikli metal iyonlarının antimikrobiyal lif

üretiminde en çok kullanılan materyallerden olduğu bilinmekte olup [20], bu çalışmada da Ag-TiO₂' un pamuklu kumaşa uygulaması sayesinde yüksek antimikrobiyal aktiviteye sahip geniş spektrumlu tekstil ürünü elde edilmiştir.

Önceki yıllarda yapılan başka bir çalışmada gümüş nanopartikülleri mantar biyokütlesinden filtre edilerek hazırlanmıştır. Çapraz bağlayıcı kullanarak ve kullanmadan gümüş nanopartikülleri tekstil materyallerine apliedilmiştir. Antimikrobiyal aktivite testleri yapılan numuneler *S. aureus* bakterisini %97, *E. coli* bakterisini ise %91 oranında azaltabildiği tespit edilmiştir [21]. Yapılan başka bir çalışmada gümüş nanopartikül çözeltisi PVOH (polivinil alkol) çapraz bağlayıcı ile uygulamada kullanılmıştır. Emdirme ve kurutma işlemleri ile pamuklu dokuma kumaşlara bitim işlemi uygulanmıştır. Fikse işlemi 140,150 ve 160°C sıcaklıklarda 1, 2 ve 3 dakika sürelerde uygulanmıştır. Uygulama sonrası tekstil numunelerine antimikrobiyal aktivite testi uygulanmıştır. Antimikrobiyal aktivite saptanması için *S. aureus* ve *E. coli* bakterileri kullanılmıştır. Sonuç olarak test bakterilerine karşı iyi bir antimikrobiyal aktivite gözlemlenmiştir [22]. Literatür taramalarında yapılan başka bir çalışmada ise çinko oksit nanopartikülleri kullanılarak antimikrobiyal özellikli pamuklu tekstil yüzeyleri geliştirmek hedeflenmiştir. Yaş kimyasal yöntemi ile sentezlenen çinko oksit nanopartikülleri emdirme ve kurutma yöntemleri kullanılarak pamuklu tekstil materyallerine apliedilmiştir. Elde edilen materyallerin *S. aureus* bakterisine karşı çok iyi antibakteriyel aktivitesi olduğu gözlemlenmiştir [23]. Diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bu çalışmada gümüş ve çinko içerikli komplekslerin daha düşük sıcaklıklarda daha uzun süre pamuklu kumaşa apliedilebildiği ve uygulama sonucunda elde edilen kumaş örneklerinin sadece *S. aureus* ve *E. coli* bakterilerine değil mantar da dahil olmak üzere diğer 13 farklı mikroorganizmaya karşı yüksek antimikrobiyal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, uygulama parametreleri belirlenirken, Ag-TiO₂ için sitrik asit, ZnPT için Binder Pac, WLA, Asetik Asit ve Magnezyum Klorür olmak üzere çapraz bağlayıcı kimyasallar kullanılarak pamuklu kumaşın antimikrobiyal aktivite kazanım özellikleri artırılmıştır. Antimikrobiyal tekstil ürün eldeğinde bu tür çapraz bağlayıcı kimyasal kullanımı oldukça yaygındır. Yapılan bir çalışmada kitosanın tekstil materyaline çapraz bağlanmasını sağlamak amacı ile bu çalışmada olduğu gibi sitrik asit kullanıldığı görülmektedir [24]. Literatürdeki bir başka çalışmada ise pamuklu tekstil kumaşlarına antibakteriyel özellik kazandırmak amacı ile serisin ve TiO₂ maddelerinden nano boyutta

bir madde geliştirilmiş ve geliştirilen bu madde tek başına ve çapraz bağlayıcı olarak polisakkarit asit kullanılarak kumaşa applike edilmiştir. Applike edilen pamuklu tekstil numunelerinin *S. aureus* ve *E. coli* bakterilerine karşı antibakteriyal aktivitesi tespit edilmiştir. Çapraz bağlayıcı kimyasal kullanımının antimikrobiyal aktiviteye önemli katkısı ortaya çıkarılmıştır [25].

AgTiO₂ ve ZnPT maddelerinin MİK testleri sonucunda; *E. cloaceae*, *S. typhimurium* ve *C. albicans* için Ag-TiO₂ kompleksinin MİK değeri 1g/L ve *Y. pseudotuberclisis*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. coli*, *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *S. aureus*, *B. subtilis* ve *L. monocytogenes* için Ag-TiO₂ kompleksinin MİK değeri 0,5g/L, ve tüm test bakterileri için ZnPT kompleksinin MİK değeri ise 0.005 g/L olarak belirlenmiştir. Ancak stabilite deneylerinde Ag-TiO₂ kompleksinin 4g/L konsantrasyonu daha uygun bulunduğu için Ag-TiO₂ kompleksinin optimum konsantrasyonu 4g/L olarak belirlenmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, bu çalışma ile uyumlu olarak gümüş nanopartikül çözeltisi 5, 10, 15 ve 20g/L konsantrasyonlarda hazırlanmış ve PVOH (polivinil alkol) çapraz bağlayıcı olarak kullanılarak yapılan aplikasyon işlemi sonrasında kumaş örnekleri, bu konsantrasyonlarda aralarında ciddi farklılıklar olmaksızın *S. aureus* ve *E. coli* bakterilerine karşı iyi antimikrobiyal aktivite göstermiştir [22]. ZnPT kompleksinin optimum konsantrasyonu ise 0,01g/L (=MİK) olarak belirlenmiştir.

2017 yılında ZnPT' nin pamuklu kumaşa antimikrobiyal özellik kazandırmak amacıyla yapılan bir çalışmada ZnPT kompleksinin 12g/L aplikasyonu ile *e. coli* ve *s. aureus* bakterilerine karşı bakteriyostatik etki elde edildiği tespit edilmiştir [14]. Jain ve Tesema tarafından elde edilen sonuçlar ile kıyaslandığında; bu çalışmada bulunan optimum ZnPT değerinden yaklaşık 12 kat daha yüksek konsantrasyon kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışma ile benzer bağlayıcılar kullanılmış olup, aplikasyon şartlarının farklı olması bu sonuca neden olduğunu düşündürmektedir.

Ag-TiO₂ (4g/L) ve ZnPT (0.01g/L) komplekslerinin optimum aplikasyon konsantrasyonları kullanılarak MBK Ag-TiO₂ (4g/L aplikasyon) kompleksinin 1 saat içerisinde *B. subtilis* bakteri sayısını %78.46 oranında azalttığı 24 saat içerisinde ise bakteri büyümesini tamamen ortadan kaldırıldığı görülmüş olup, bu değer (aplikasyon için 4g/L) bakteriyosidal aktiviteye sahip olduğu görülmektedir. ZnPT (0.01g/L) kompleksinin ise 1 saat içerisinde dahi etkisini hızla gösterdiği ve güçlü bakteriyosidal aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak 2017 yılında yapılan bir çalışmada ZnPT (12g/L) kompleksinin *E. coli* ve *S. aureus* bakterilerine karşı bakteriyostatik etki gösterdiği

tespit edilmiş olup, daha önce de belirtildiği gibi kumaşa aplikasyon koşullarının farklılığı sebebi ile sonuçlar birbirinden oldukça farklıdır [14].

Yıkama dayanımı kullanılan etken maddenin infinite özelliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Yıkama testleri sonucunda komplekslerin antibakteriyel etkinliğinin 10. Yıkamaya kadar devam ettiği görülmüştür. Zamana bağlı değişim ise 25. Günde halen etkin olduğu gözle görülür olarak belirlenmiştir. Ancak Ag-TiO₂ (4g/L aplikasyon) kompleksinin etkinliğini yıkamalar sonucunda ciddi bir şekilde kaybettiği (<70%) görülmekte ve yine açık havada gerçekleştirilen stabilite deneylerinde aktivite kaybı (<50%) görülmektedir. ZnPT (0,01g/L aplikasyon) kompleksinin ise yıkama testlerine çok daha dayanıklı olduğu hatta 10 yıkama sonrasında bile herhangi bir aktivite kaybı olmadığı gözlenmiştir. Ancak açık havada gerçekleştirilen stabilite deneylerinde ciddi aktivite kaybının olduğu (<50%) görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, çapraz bağlayıcı kullanarak ve kullanmadan gümüş nanopartikülleri tekstil materyallerine applike edilmiş ardından 20 yıkama yapılmış ve antibakteriyel aktivitenin ciddi oranda kalıcı olduğu belirlenmiştir. Bitim işlemine çapraz bağlayıcı kimyasal ilavesinin kalıcılığı olumlu yönde etkilediği kanıtlamıştır [21].

Yine farklı bir çalışmada çinko oksit nanopartikülleri kullanılarak antimikrobiyal özellikli pamuklu teksil elde edilmiş ardından elde edilen materyallerin *S. aureus* bakterisine karşı çok iyi antibakteriyel aktivitesi olduğu ve 25 yıkamaya kadar dayanım gösterdiği tespit edilmiştir [23]. Bu çalışmada da iki kompleksin 10 yıkamaya kadar dayanım gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle aplikasyon parametreleri belirlenirken çapraz bağlayıcı kimyasallar (Ag-TiO₂ için sitrik asit, ZnPT için Binder Pac, WLA, Asetik Asit ve Magnezyum Klorür) kullanılarak pamuklu kumaşın antimikrobiyal aktivite kazanım özellikleri, stabilite ve yıkama dayanımları arttırılmıştır. Ancak yapılan çalışmalarda belirtildiği üzere, çapraz bağlayıcı kimyasal kullanımının 20-40 yıkamadan sonra önemli bir etkisi olmamaktadır [25].

Yapılan çalışma sonucunda 4g/L Ag-TiO₂ ve 0.01g/L ZnPT komplekslerinin karışımları sonucunda *S. typhimurium*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *P. vulgaris*, *E. cloacae*, *Y. pseudotuberculosis*, *L. monocytogenes*, *E. coli*, *S. epidermidis*, *E. faecalis*, *B. subtilis* ve *C. albicans* mikroorganizmalarına karşı antimikrobiyal aktivitede de bir azalma tespit edilmiştir.

Bu bağlamda, antimikrobiyal tekstil ürün eldesinde kullanılabilecek yeni bir molekül

kazandırabilmek (Ag-TiO₂) ve daha çok kepek, seboreik dermatit ve sedef hastalığının tedavisi gibi tekstil dışında kullanılan ZnPT kompleksinin tekstil endüstrisinde kullanılabilirliğini desteklemek amacıyla tasarlanan bu çalışmada, geniş spektrumlu antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu tespit edilen iki kompleksin %70 pamuk %30 sentetik lif içeren tekstil materyaline yüzey uygulaması ile uygulanması gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonrası yapılan antimikrobiyal aktivite testleri sonucu; Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin %70 pamuk %30 sentetik lif içeren tekstil materyaline uygulaması için en uygun sıcaklık 50°C, en uygun süre ise 60 dakika olarak bulunmuştur. Kurutma işlemi 70°C’ de 60 dakika olarak uygulanmıştır. ZnPT (≥0.005g/L) kompleksinin antimikrobiyal aktivitesinin ve dayanıklılık (10 yıkama ve 25 gün açık havada bekletme) denemelerinde Ag-TiO₂ (≥0.5g/L) kompleksinden çok daha aktif olduğu görülmekle birlikte iki kompleksinde *P. vulgaris*, *E. cloacae*, *Y. pseudotuberculosis*, *L. monocytogenes*, *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. epidermidis*, *E. faecalis*, *B. subtilis*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* ve *C.albicans* olmak üzere tüm test mikroorganizmalarına karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiği bulunmuştur.

Komplekslerin sitogenetik etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma sonucunda ≤ 0.1g/L oranlarının toksik bir etkisi görülmemiştir. ≥ 0.1g/L konsantrasyonlarının ise kök uzamasına olumsuz etkide bulunduğu saptanmıştır ancak literatürde yapılan çalışmalarda gümüş bileşikleri ve gümüş iyonları bakteri, mantar ve virüslere karşı antimikrobiyal etkiye sahip olmaları yapılan araştırmalarla herhangi bir toksik etkisinin olmaması nedeni ile tıbbi uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir [50], yine çinko moleküllerinin canlı sağlığına zararsız toksin olmayan biyolojik olarak uyumlu güvenli bir malzeme olduğu bilinmekte ve bu özelliklerinden dolayı günlük yaşamda kozmetik, medikal ve birçok alanda kullanılmaktadır [53]. Bu bağlamda bu çalışmada kullanılan komplekslerin çözelti formunda hazırlanmasında kullanılan kimyasalların bu etkiyi gösterdiği düşünülmektedir. Bu kimyasalların tekstile tutunduğundaki etkisi konusunda bilgi bulunmayıp, daha detaylı çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

2015 yılında antimikrobiyal tekstil Pazar büyüklüğünün 497,4 milyon ABD Doları değerinde olduğu tahmin edilmekte ve 2016’ dan 2026’ ya kadar yüzde 7,4’ lük bir artış ile 1.076,1 milyon ABD Dolarına ulaşması bekleniyor. Özellikle cerrahi malzemeler, perdeler, yatak takımları, döşemelikler gibi birçok üründe bu talebin artması beklenmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada kullanılan sentez Ag-TiO₂ ve daha ziyade farklı sektörlerde kullanım imkanına sahip ZnPT kompleksinin antimikrobiyal tekstil

geliştirilmesinde kullanımı ortaya çıkarılmıştır. Böylesi gelişen bir sektörün ihtiyacını karşılayabilecek nitelikteki bu ürünler daha büyük ölçekte üretilerek endüstriye kazandırılabilir ve büyük ihracat kazançları sağlayabilir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. AgTiO₂ ve ZnPT komplekslerinin en uygun olan aplikasyon için uygun sıcaklık 50°C, uygun süre ise 60 dakika olarak bulunmuştur. Kurutma işleminde ise optimum şartlar 70°C' de 60 dakika olarak belirlenmiştir.
2. Ag-TiO₂ kompleksinin MİK değeri *E. cloaceae*, *S. typhimurium* ve *C. albicans* için 1g/L ve *Y. pseudotubercluisis*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. coli*, *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *S. aureus* ve *L. monocytogenes* için 0,5g/L, *B. subtilis* için 0,1g/L olarak belirlenmiştir. Ancak stabilite deneylerinde Ag-TiO₂ kompleksinin 4g/L konsantrasyonu daha uygun bulunduğu için Ag-TiO₂ kompleksinin optimum konsantrasyonu 4g/L olarak belirlenmiştir.
3. ZnPT kompleksinin MİK değeri ise tüm test mikroorganizmaları (*Y. pseudotubercluisis*, *E. cloaceae*, *S. typhimurium*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. coli*, *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *L. monocytogenes* ve *C. albicans*) için 0.005g/L olarak belirlenmiştir. Ancak stabilite deneylerinde ZnPT kompleksinin 0.01g/L konsantrasyonu daha uygun bulunduğu için ZnPT kompleksinin optimum konsantrasyonu 0.01g/L olarak belirlenmiştir.
4. Ag-TiO₂ (4g/L aplikasyon) kompleksinin 24 saat içerisinde bakteri (*B. subtilis*) büyümesini tamamen ortadan kaldırdığı görülmüş olup, bu değer bakteriyosidal aktiviteye sahip olduğu görülmektedir.
5. ZnPT (0.01g/L) kompleksinin ise 1 saat içerisinde dahi bakteri (*B. subtilis*) büyümesini tamamen ortadan kaldırdığı görülmüş olup, etkisini Ag-TiO₂ kıyasla daha hızla gösterdiği ve güçlü bakteriyosidal aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir.
6. Yıkama dayanımı testi sonuçlarına göre 4g/L Ag-TiO₂ kompleksinin 3. Yıkamadan sonra azaldığı ve az da olsa 10. Yıkamaya kadar dayanıklı olduğu görülmüştür.
7. Yıkama dayanımı testi sonuçlarına göre 0,01g/L ZnPT kompleksinin etkisinin hiç azalmadığı ve 10. Yıkamaya kadar stabil bir şekilde dayanıklı olduğu görülmüştür.
8. Yapılan çalışmalarda 25 gün sonunda Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin antimikrobiyal aktivitelerinin azalarak ta olsa devam ettiği görülmüştür.
9. Komplekslerin *A. cepa* bitkisindeki sitogenetik etkilerinin belirlenmesi amacıyla

yapılan çalışma sonucunda $\leq 0.1\text{g/L}$ oranlarının toksik bir etkisi görülmemiştir. $\geq 0.1\text{g/L}$ konsantrasyonlarının ise kök uzamasına olumsuz etkide bulunduğu saptanmıştır ancak bu etkinin komplekslerden mi kaynaklı ya da kompleks çözeltileri hazırlanırken kullanılan kimyasallardan mı kaynaklı olduğu saptanamamıştır. Bu konuda daha detaylı çalışmaya gereksinim duyulmaktadır.

Sonuç olarak, yapılan bu çalışmada sentez Ag-TiO₂ ve ZnPT komplekslerinin antimikrobiyal aktivitesi incelenmiştir. Bu kimyasalların tekstil materyallerine uygulanabilirliği ve uygulandıktan sonraki ömrü ve dayanımı ele alınmıştır.

Bu bağlamda, bu çalışmada kullanılan sentez Ag-TiO₂ ve daha ziyade farklı sektörlerde kullanım imkanına sahip ZnPT kompleksinin antimikrobiyal tekstil geliştirilmesinde kullanımı ortaya çıkarılmıştır. Böylesi gelişen bir sektörün ihtiyacını karşılayabilecek nitelikteki bu ürünler daha büyük ölçekte üretilerek endüstriye kazandırılabilir ve büyük ihracat kazançları sağlayabilir.

6. KAYNAKÇA

- [1] S. Palamutcu, R. Kesin, N. Devrent, M. Şengül, ve B. Hasçelik, “Fonksiyonel tekstiller II: antimikrobiyal tekstiller,” *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 3, sayı 3, ss. 95–108, 2009.
- [2] A. Ezgi ve M. Bulut, “Bazı tekstil boya bitkilerinin antibakteriyal özellikleri ve aktivitesi için kullanılan test yöntemleri,” *Teknik Bilimler Dergisi*, c. 3, sayı 2, ss. 1–6, 2013.
- [3] W. D. Schindler ve P. J. Hauser, *Chemical finishing of textiles*, 1. baskı, Cambridge, England: Woodhead Publishing, 2004, ss. 1-207.
- [4] P. Arslan ve A. E. Tayyar, “Tekstil alanında kullanılan antimikrobiyal maddeler, çalışma mekanizmaları, uygulamaları ve antimikrobiyal etkinlik değerlendirme yöntemleri,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, sayı 3, ss. 935–966, 2016.
- [5] S. J. Dancer, “How do we assess hospital cleaning? A proposal for microbiological standards for surface hygiene in hospitals,” *Journal of Hospital Infection*, c. 56, sayı 1, ss. 10–15, 2004.
- [6] P. Gastmeier, *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 4. baskı, Cambridge, England: Slack Incorporated, 2005, ss. 357-361.
- [7] M. Akaydın ve M. Kalkancı, “Hastane giysisi olarak kullanılan kumaşların antibakteriyel özellikleri üzerine bir araştırma,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, c. 9, sayı 1, ss. 20–34, 2014.
- [8] M. Bilgiç ve Ş. S. Uğur, “Antimikrobiyal medikal tekstil ürünleri için oleuropein uygulaması,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 19, sayı 2, ss. 104–110, 2015.
- [9] B. Simoncic ve B. Tomsic, “Structures of novel antimicrobial agents for textiles-a review,” *Textile Research Journal*, c. 80, sayı 16, ss. 1721–1737, 2010.
- [10] A. Çakar, A. S. Aksoy, ve N. Korkmaz, “Korona plazma ile aktive edilmiş pamuklu kumaşa gümüş ve çinko oksit nano partikül aplikasyonu,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 19, sayı 2, ss. 78–85, 2015.
- [11] M. E. Üreyen, A. Çavdar, A. S. Koparall, ve A. Doğan, “Yeni geliştirilen gümüş katkılı antimikrobiyal tekstil kimyasalı ve bu kimyasal ile işlem görmüş kumaşların antibakteriyel performansları,” *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, c. 15, sayı 69, ss. 25–31, 2008.
- [12] T. Ramachandran, K. Rajendrakumar, ve R. Rajendran, *Antimicrobial Textiles*, 1. baskı, California, USA: Woodhead Publishing, 2016, ss. 1-372.
- [13] R. Purwar ve M. Joshi, “Effect of microwave curing on easy care finishing of cotton using Glyoxal/Glycol,” *AATCC Review*, c. 9, sayı 7, ss. 38–42, 2009.
- [14] Y. Gao ve R. Cranston, “Recent advances in antimicrobial treatments of textiles,” *Textile Research Journal*, c. 78, sayı 60, ss. 60–72, 2008.
- [15] C. Can ve A. Körlü, “Antibakteriyel tekstil üretiminde sıkça kullanılan gümüşün etki mekanizması ve toksisitesi,” *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 5, sayı 3, ss. 54–59, 2011.
- [16] V. A. Dorugade ve K. Bhagyashri, *Man Made Textiles in India*, 3. baskı, Mumbai, India: Sasmira, 2019, ss. 1-356.
- [17] A. D. Erem ve G. Özcan, “Polymeric nanocomposites and their textile applications,” *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, c. 20, ss. 36–47, 2013.

- [18] E. E. Altuner, "Nano kremlerin üretimi," *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 4, sayı 1, ss. 52–57, 2014.
- [19] Anonim, (2022, 13 Temmuz) [Online]. Erişim: https://tr.wikipedia.org/wiki/Tekstil#cite_note-1,
- [20] B. Lindemann, "Durable antimicrobial effects on textiles," *Melliand International Worldwide Textile Journal*, c. 10, ss. 205–206, 2000.
- [21] H. L. Chen, "Microwave radiation decontamination of mildew infected cotton," *Textile Research Journal*, c. 71, sayı 3, ss. 247–254, 2001.
- [22] J. W. Mao, "Durable freshness for textiles," *AATCC Review Journal*, c. 1, ss. 28–31, 2001.
- [23] M. C. Thiry, "Antimicrobials take the field," *AATCC Review Journal*, c. 11, ss. 11–175, 2001.
- [24] E. Menezes, "Antimicrobial finishing for speciality textiles," *International Dyer Journal*, sayı 187, ss. 6–13, 2002.
- [25] B. S. W. Dawson, A. P. Singh, H. W. Kroese, M. A. Schwitzer, S. Gallagher, S. J. Riddiough, S. Wu, "Enhancing exterior performance of clear coatings through photostabilization of wooden surfaces. Part 1: Treatment and characterization," *Journal of Coatings Technology and Research*, c. 5, sayı 2, ss. 193–206, 2008.
- [26] S. Palamutçu, M. Şengül, N. Devrent, ve R. Keskin, "Tekstil ürünlerinde antimikrobiyal etkinlik belirleme testleri," *VII. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi*, İzmir, Türkiye, 2008, ss. 25–32.
- [27] N. Seventekin, T. Öktem, ve Ş. Tekeoğlu, "Tekstilde antimikrobiyal madde kullanımı," *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, sayı 4, ss. 217–224, 2001.
- [28] H. S. Seong, J. P. Kim, ve S. W. Ko, "Preparing chito-oligosaccharides as antimicrobial agents for cotton," *Textile Research Journal*, c. 69, sayı 7, ss. 483–488, 1999.
- [29] K. K. Leonas ve R. S. Jinkins, "The relationship of selected fabric characteristics and the barrier effectiveness of surgical gown fabrics," *American Journal of Infection Control*, c. 25, sayı 1, ss. 16–23, 1997.
- [30] İ. Özkan and İ. İlhan, "Metal kompozit şönil ipliklerden üretilmiş örme kumaşların elektriksel, antibakteriyel ve performans özelliklerinin araştırılması," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 24, sayı 2, ss. 115–126, 2019.
- [31] G. Başal ve S. Karagönlü, "Medikal tekstiller için antimikrobiyal ajan içeren mikrokapsüllerin hazırlanması," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 19, sayı 4, ss. 174–178, 2013.
- [32] İ. Üçgül, A. Sultan, ve Ö. D. Küçükçapraz, "Farklı hammadde kaynaklarından kitinin saflaştırılması ve tekstil uygulamaları," *Erzincan University Journal of Science and Technology*, c. 9, sayı 1, ss. 46–56, 2016.
- [33] H. Naharcı, "Adana ilindeki çeşitli hastanelerin yoğun bakım ünitelerinde çalışan hemşirelerin hastane enfeksiyonlarının önlenmesinde etkili olan önlemlere ilişkin bilgi düzeylerinin belirlenmesi," Yüksek lisans tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2006.
- [34] A. Mitchell, M. Spencer, ve J. C. Edmiston, "Role of healthcare apparel and other healthcare textiles in the transmission of pathogens," *Journal of Hospital Infection*, c. 90, sayı 4, ss. 285–292, 2015.
- [35] M. A. Hamzah, A. İslam, Z. Rahman, H. İkbâl, E. Talukder, ve K. Hasan, "A comprehensive analysis on the efficacy of antimicrobial textiles," *International Journal of Textile Science*, c. 4, sayı 6, ss. 137–145, 2015.
- [36] S. Eyi, "Cerrahi alan enfeksiyonlarını azaltmada antimikrobiyal medikal tekstil ürünlerinin etkisi," *Koç Üniversitesi Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, c.

- 16, sayı 4, ss. 330–337, 2019.
- [37] M. T. Brady, J. Evans, ve J. Cuartas, “Survival and disinfection of parainfluenza viruses on environmental surfaces,” *American Journal of Infection Control*, c. 18, sayı 1, ss. 18–23, 1990.
- [38] C. Perry, R. Marshall, ve E. Jones, “Bacterial contamination of uniforms,” *Journal of Hospital Infection*, c. 48, sayı 3, ss. 238–241, 2001.
- [39] P. Hochmuth, J. Magnuson, ve K. Owens, “Survival of vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* on acrylic nails, bed linen, and plastic keyboard covers,” *American Journal of Infection Control*, c. 33, sayı 5, ss. 32–39, 2005.
- [40] F. Bureau-Chalot, E. Piednoir, J. Camus, ve O. Bajolet, “Microbiologic quality of linen and linen rooms in short-term care units,” *Journal of Hospital Infection*, c. 56, sayı 4, ss. 329–331, 2004.
- [41] R. A. Weinstein ve B. Hota, “Contamination, disinfection, and cross-colonization: are hospital surfaces reservoirs for nosocomial infection?,” *Clinical infectious diseases*, c. 39, sayı 8, ss. 1182–1189, 2004.
- [42] I. Das, P. Lambert, D. Hill, M. Noy, J. Bion, ve T. Elliott, “Carbapenem-resistant *Acinetobacter* and role of curtains in an outbreak in intensive care units.2,” *Journal of Hospital Infection*, c. 50, sayı 2, ss. 110–114, 2002.
- [43] E. Kniehl, A. Becker, ve D. H. Forster, “Bed, bath and beyond: pitfalls in prompt eradication of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* carrier status in healthcare workers,” *Journal of Hospital Infection*, c. 59, sayı 3, ss. 180–187, 2005.
- [44] S. Fijan ve S. Šostar Turk, “Hospital textiles, are they a possible vehicle for healthcare-associated infections?,” *International journal of environmental research and public health*, c. 9, sayı 9, ss. 3330–3343, 2012.
- [45] S. Fijan, A. Steyer, M. Poljšak-Prijatelj, A. Cencič, S. Šostar Turk, ve S. Koren, “Rotaviral RNA found on various surfaces in a hospital laundry,” *Journal of virological methods*, c. 148, sayı 1–2, ss. 66–73, 2008.
- [46] S. Fijan, S. Šostar Turk, ve A. Cencic, “Potentially pathogenic microorganisms and procedures for hygiene assurance in laundries,” *Tekstil Dergisi*, c. 54, sayı 2, ss. 53–60, 2005.
- [47] R. Dastjerdi, M. R. M. Mojtahedi, A. M. Shoshtari, A. Khosroshahi, ve A. J. Moayed, “Fiber to fabric processability of silver/zinc-loaded nanocomposite yarns,” *Textile Research Journal*, c. 79, sayı 12, ss. 1099–1107, 2009.
- [48] A. Bohringer, J. Rupp, ve A. Yonenaga, “Antimicrobial textiles,” *International Textile Bulletin*, c. 5, ss. 12–26, 2000.
- [49] G. Süpüren, A. Çay, Z. E. Kanat, ve I. Tarakçıoğlu, “Antimicrobial fibers,” *Textile and Apparel*, c. 16, sayı 2, ss. 81–86, 2006.
- [50] E. S. Akpınar, “Antibakteriyel bitim işleminin pamuklu çarşaflık kumaşların bazı mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Tekstil Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2019.
- [51] İ. Başer, İ. Usta, ve V. Özyazgan, “Tıpta kullanılan tekstil materyalleri,” *Tekstil ve Teknik Dergisi*, ss. 97–100, 1995.
- [52] M. Orhan, “Pamuk, poliamid ve poliester esaslı tekstil materyallerinde antimikrobiyel bitim uygulamaları üzerine bir araştırma,” Yüksek lisans tezi Tekstil Mühendisliği, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2007.
- [53] D. Çukul, “Teknik ipliklerde son yıllardaki gelişmelere örnekler,” *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, c. 20, sayı 91, ss. 50–60, 2013.
- [54] E. S. Bang, E. S. Lee, S. I. Kim, Y. H. Yu, ve S. E. Bae, “Durable antimicrobial finish of cotton fabrics,” *Journal of Applied Polymer Science*, c. 106, sayı 2, ss.

- 938–943, 2007.
- [55] H. J. Lee ve S. H. Jeong, “Bacteriostasis and skin innocuousness of nanosize silver colloids on textile fabrics,” *Textile Research Journal*, c. 75, sayı 7, ss. 551–556, 2005.
- [56] E. Matyjas-Zgondek, A. Bacciarelli, E. Rybicki, M. I. Szyrkowska, ve M. Kolodziejczyk, “Antibacterial properties of silver-finished textiles,” *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, c. 5, sayı 70, ss. 101–107, 2008.
- [57] M. Christopher, (2006, 26 Sep.) *Fabrics Made From Antimicrobial Microfibres Assist in Controlling Odour*. [Online]. Available: <http://ezinearticles.com/?Fabrics-Made-From-Antimicrobial-Microfibres-Assist-in-ControllingOdour&id=591957>
- [58] A. D. Russell ve W. B. Hugo, “7 antimicrobial activity and action of silver,” *Progress in Medicinal Chemistry*, c. 31, ss. 351–370, 1994.
- [59] L. Kvítek, A. Panáček, J. Soukupova, M. Kolář, R. Večeřová, R. Pucek, R. Zbořil, “Effect of surfactants and polymers on stability and antibacterial activity of silver nanoparticles (NPs),” *The Journal of Physical Chemistry*, c. 112, sayı 15, ss. 5825–5834, 2008.
- [60] D. A. Erem, “Nanokompozit yapılı tekstillerin geliştirilmesi ve antimikrobiyal özellik kazandırılması,” Doktora tezi, Tekstil Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [61] D. Yan, G. Yin, Z. Huang, M. Yang, X. Liao, Y. Kang, Y. Yao, B. Hao, D. Han, “Characterization and bacterial response of zinc oxide particles prepared by a biomineralization process,” *The Journal of Physical Chemistry*, c. 113, sayı 17, ss. 6047–6053, 2009.
- [62] A. Becheri, M. Dürr, P. lo Nostro, ve P. Baglioni, “Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles: application to textiles as UV-absorbers,” *Journal of Nanoparticle Research*, c. 10, sayı 4, ss. 679–689, 2008.
- [63] Anonim, (2013,20 Feb.). Available: “<http://centrum.tul.cz/centrum/itsapt/prezentace/wp2/multifunctional%20textiles.pdf>”
- [64] Y. Yang, L. Corcoran, K. Vorlicek, ve S. Li, “Durability of some antibacterial treatments to repeated home launderings,” *Textile Chemist & Colorist & American Dyestuff Reporter*, c. 32, sayı 4, ss. 44–49, 2000.
- [65] C. Q. Yang, W. Wei, ve G. C. Lickfield, “Mechanical strength of durable press finished cotton fabric: part 2: comparison of crosslinking agents with different molecular structures and reactivity,” *Textile Research Journal*, c. 70, sayı 2, ss. 143–147, 2000.
- [66] C. Q. Yang ve D. Wang, “Evaluating ester crosslinking of cotton fabric by a polycarboxylic acid using acid-base titration,” *Textile Research Journal*, c. 70, sayı 7, ss. 615–620, 2000.
- [67] A. Çifçi, Ş. Kırcan, K. Osman, ve S. Savaşan, “Balık kökenli *Enterococcus faecalis* suşlarının antibiyotik dirençlilikleri,” *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 55, sayı 2, ss. 107–110, 2008.
- [68] B. Sancak, “*Staphylococcus aureus* ve antibiyotik direnci,” *Mikrobiyoloji Bülteni Dergisi*, c. 45, sayı 3, ss. 565–576, 2011.
- [69] M. Eryılmaz ve S. S. Gürpınar, “Hastanelerde sık kullanılan bazı antiseptiklerin biyofilm oluşturan ve oluşturmeyen *Staphylococcus epidermidis* suşlarına karşı antibakteriyel etkinliğinin araştırılması,” *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, c. 41, sayı 1, ss. 1–8, 2017.
- [70] A. Y. Rad, “*Staphylococcus epidermidis* ve *Escherichia coli*” nin çeşitli cerrahi

- ipliklere yapışma davranışları,” *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, c. 62, sayı 1, ss. 11–16, 2005.
- [71] M. Uluğ, M. K. Çelen, ve C. Ayaz, “Çoklu ilaç direnci gösteren *Salmonella typhimurium*’ un neden olduğu salmonelloz olgusu,” *Klimik Dergi*, c. 22, sayı 2, ss. 69–71, 2009.
- [72] İ. Keleşoğlu, “*Proteus vulgaris* OX19 suşunun tavşan dalak hücrelerine etkileri,” Yüksek lisans tezi, Biyoloji, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [73] M. Berktaş, M. G. Kurtoğlu, H. Bozkurt, H. Güdücüoğlu, Y. Bayram, ve N. Kutluay, “*Yersinia enterocolitica* ve *Yersinia pseudotuberculosis*’ in çeşitli infeksiyonlardaki rolü ve antimikrobiyal ilaçlara duyarlılıkları,” *İnfeksiyon Dergisi*, c. 17, sayı 3, ss. 261–263, 2003.
- [74] S. Tuncer ve M. Akova, “*Pseudomonas aeruginosa* infeksiyonları,” *Flora Dergisi*, c. 1, ss. 61–65, 1997.
- [75] Ö. Erdal, “*Enterobacter cloacae* kompleks sp. V1 suşu tarafından üretilen L-asparaginaz enziminin aktivitesi üzerine ortam bileşiminin etkisi,” *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, c. 77, sayı 1, ss. 59–68, 2020.
- [76] Ş. B. Aykan ve İ. H. Çiftçi, “Türkiye’ de idrar kültürlerinden izole edilen *Escherichia coli* suşlarının antibiyotiklere direnç durumu: Bir meta-analiz,” *Mikrobiyoloji Bülteni Dergisi*, c. 47, sayı 4, ss. 603–618, 2013.
- [77] Ç. Kuzucu, F. Yetkin, S. Görgeç, ve Y. Ersoy, “Genişlemiş spektrumlu beta-laktamaz üreten *E. coli* izolatlarının çeşitli antibiyotiklere duyarlılıklarının belirlenmesi,” *Mikrobiyoloji Bülteni Dergisi*, c. 45, sayı 1, ss. 28–35, 2011.
- [78] U. Koca, B. Özçelik, ve S. Özgen, “Comparative in vitro activity of medicinal plants *Arnebia densiflora* and *Ecballium elaterium* against isolated strains of *Klebsiella pneumonia*,” *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, c. 7, sayı 3, ss. 197–204, 2010.
- [79] M. Berktaş, E. N. Bozkurt, H. Bozkurt, M. Alişarlı, ve H. Güdücüoğlu, “Et ve et ürünlerinden *Listeria monocytogenes*’ in izolasyonu,” *Van Tıp Dergisi*, c. 13, sayı 2, ss. 36–41, 2006.
- [80] K. Ekici, Ö. İşleyici, ve E. Sağun, “Süt ve süt ürünlerinde *Listeria monocytogenes* varlığı,” *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 15, sayı 1, ss. 97–101, 2004.
- [81] H. Ülgen, “Türkiye’ de yetiştirilen ketencik bitkisinin [*Camelina sativa* (L.) crantz] antioksidan, antimikrobiyal, antifungal, antibiyofilm özelliklerinin ve tohum morfolojisinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Biyoloji, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye, 2019.
- [82] Ö. Abacı and A. Haliki, “*Candida albicans*’ in virulans faktörleri,” *Orlab On-Line Mikrobiyoloji*, c. 2, sayı 9, ss. 1–8, 2004.
- [83] S. Arıkan, B. Sancak, G. Haşçelik, ve A. Günalp, “*Candida albicans* izolatlarında fosfolipaz aktivitesinin saptanması,” *Flora Dergisi*, c. 3, sayı 4, ss. 240–243, 1998.
- [84] B. B. Sökmen, S. Uğraş, H. Y. Sarıkaya, H. İ. Uğraş, ve R. Yanardağ, “Antibacterial, antiurease, and antioxidant activities of some arylidene barbiturates,” *Applied Biochemistry and Biotechnology*, c. 171, sayı 8, ss. 2030–2039, 2013.
- [85] A. S. Aly, A. Hashem, ve S. S. Hussein, “Utilization of chitosan citrate as crease-resistant and antimicrobial finishing agent for cotton fabric,” *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, c. 29, ss. 218–222, 2004.
- [86] W. Huang ve K. K. Leonas, “Evaluating a one-bath process for imparting antimicrobial activity and repellency to nonwoven surgical gown fabrics,” *Textile*

- Research Journal*, c. 70, sayı 9, ss. 774–782, 2000.
- [87] T. H. Ma, G. L. Cabrera, ve E. Owens, “Genotoxic agents detected by plant bioassays,” *Reviews on Environmental Health*, c. 20, sayı 1, ss. 14, 2005.
- [88] M. G. Palmerini, M. Belli, S. A. Nottola, S. Miglietta, S. Bianchi, S. Bernardi, G. Macchiarelli, “Mancozeb impairs the ultrastructure of mouse granulosa cells in a dose-dependent manner,” *Journal of Reproduction and Development*, c. 64, sayı 1, ss. 75–82, 2017.
- [89] D. Toprakkaya, M. Orhan, ve C. Güneşoğlu, “Tekstillerde hijyen uygulamaları,” *Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon Kongresi*, c. 12, ss. 304–313, 2003.
- [90] D. Service, “Antimicrobials fibers,” *Chemical Fibers International*, c. 48, sayı 6, ss. 486–489, 1998.
- [91] H. Studer, “Poliolefin liflerinin antimikrobik korunması,” *Melliand Türkiye Dergisi*, c. 1, ss. 18–19, 1999.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Utku SARI

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Biyoloji	Bülent Ecevit Üniversitesi	2015
Lise	Matematik – Fen	Bolu Atatürk Lisesi	2010

YAYINLAR

U. Sarı, ve S. Uğraş, “Use of Ag-TiO₂ and ZnPT complexes in the development of antimicrobial textiles,” *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 2022.