

**BAKTERİYEL SELÜLOZ ELDESİ VE BAKTERİYEL  
SELÜLOZ KAPLANMIŞ KUMAŞLARIN TEKSTİL  
ENDÜSTRİSİNDE KULLANIM ALANLARININ  
ARAŞTIRILMASI**

**Mehmet KILINÇ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAKTERİYEL SELÜLOZ ELDESİ VE BAKTERİYEL SELÜLOZ  
KAPLANMIŞ KUMAŞLARIN TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANIM  
ALANLARININ ARAŞTIRILMASI**

Mehmet KILINÇ  
0000-0001-9129-5251

Prof. Dr. Yaşar Dilek KUT  
0000-0002-9059-0838  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021  
**Her Hakkı Saklıdır**

## ÖZET

Doktora Tezi

BAKTERİYEL SELÜLOZ ELDESİ VE BAKTERİYEL SELÜLOZ KAPLANMIŞ  
KUMAŞLARIN TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANIM ALANLARININ  
ARAŞTIRILMASI  
**Mehmet KILINÇ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Yaşar Dilek KUT

Bakteriyel selüloz, özellikleri nedeniyle tekstil gibi birçok endüstriyel alanda kullanılan ve kullanımı her geçen gün artan bitkisel selüloza alternatif olan bir hammaddedir. Bu çalışmada statik kültür ortamında bakteriyel selüloz üretimi gerçekleştirilmiştir. Bakteriyel selüloz yüzeyleri belirli saflaştırma işlemlerinden geçirilmiş ve daha sonrasında iplik üretimi ve kaplama malzemesi olarak kullanılmak amacı ile DMAc ve LiCl'den oluşan çözücüde çözündürülmüştür. Çözündürme işlemi sonrasında hem rejenere BS ipliği hem de kaplama işlemi sonrası rejenere BS kaplanmış kumaş (pamuk ve viskon) ve iplik (pamuk ve polyester) yüzeyleri elde edilmiştir. Bu işlemler sonrasında elde edilen yüzeylere FTIR, SEM-EDX, TGA, kopma mukavemeti, su buharı geçirgenliği(permetest), termal konfor(alambeta), hava geçirgenliği, yıkama ve sürtme işlemi sonrasında kaplama kalıcılığı analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre BS'den rejenere lif iplik üretilebileceği, kaplanmış olan kumaşların termal konfor ve su buharı geçirgenliği açısından ham kumaşlara göre daha iyi olduğu ve kaplanmış olan iplik ve tekstil yüzeylerinin güç tutuşur özelliğe sahip oldukları gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bakteriyel Selüloz, Rejenere Bakteriyel Selüloz, Pamuk, Viskon, Polyester, Kumaş, İplik, Kaplama

**2021, xi + 102 sayfa.**

## ABSTRACT

PhD Thesis

### BACTERIAL CELLULOSE PRODUCTION AND THE INVESTIGATION OF USAGE AREAS OF BACTERIAL CELLULOSE COATED FABRICS IN TEXTILE INDUSTRY

**Mehmet KILINÇ**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Textile Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Yaşar Dilek KUT

Bacterial cellulose is a raw material that is used in many industrial areas such as textile due to its properties and an alternative to plant cellulose whose usage is increasing day by day. In this study, bacterial cellulose production was carried out in static culture medium. Bacterial cellulose surfaces were subjected to certain purification processes and then dissolved in a solvent consisting of DMAc and LiCl in order to be used as yarn production and coating material. After dissolving process, both regenerated BS yarn and after coating process, regenerated BS coated fabric (cotton and viscose) and yarn (cotton and polyester) surfaces were obtained. FTIR, SEM-EDX, TGA, breaking strength, water vapor permeability (permetest), thermal comfort (alambeta), air permeability, coating permeability analyzes after washing and rubbing were performed on the surfaces obtained after these processes. According to the results obtained, it has been observed that regenerated fiber yarn can be produced from BS, the coated fabrics are better than raw fabrics in terms of thermal comfort and water vapor permeability, and the coated yarn and textile surfaces have flame retardant properties.

**Key words:** Bacterial Cellulose, Regenerated Bacterial Cellulose, Cotton, Viscose, Polyester, Fabric, Yarn, Coating

**2021, xi + 102 pages.**

## ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında yol gösteren, değerli vaktini, bilgi ve birikimlerini esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Dilek KUT ' a, yüksek lisans ve doktora öğrenimim boyunca bana ve hayatıma kattıkları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda doktora tezimin deney sürecinde yardımını aldığım sayın Dr. Öğretim Üyesi Emriye AY'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının oluşmasında, düzenlenmesinde ve değerlendirilmesinde katkıda bulunan sayın hocam Prof.Dr. ELİF DEMİRKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitimimden bugüne kadar üzerimde emeği bulunan sayın hocam Prof.Dr.Cem GÜNEŞOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın en güzel yıllarında yanımda olan ve yanımda olmaya devam eden eşim Nur KILINÇ'a, sevgileriyle her zaman yanımda olduğunu hissettiren ve bana her zaman güç veren kızlarım Zeynep Ela KILINÇ'a ve Elif Nisa KILINÇ'a, bugünlere gelmemde emeği geçen ve eğitim aşkının ne olduğunu bana aşıl原因an babam Vahip KILINÇ'a, hayatım boyunca minnettar kalacağım annem Emiş Kılınç'a sonsuz teşekkür ederim.

Saygılarımla...

Mehmet KILINÇ  
.../.../.....

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1.Selüloz.....	4
2.2.Selülozun Kullanım Alanları.....	5
2.3. Selüloz Kaynakları.....	7
2.4. Bakteriyel Selüloz (BS).....	8
2.4.1 BS Üretimin Etkileyen Parametreler.....	10
2.4.1.1. Sıcaklık ve pH.....	10
2.4.1.2. Besin Kaynakları (karbon, azot ve mikro elementler).....	11
2.4.1.3. Kültür Tekniği (statik, çalkalamalı).....	12
2.4.1.4. Bakteri Çeşidi.....	14
2.4.1.5. İnkübasyon Süresi.....	15
2.4.1.6. BS Üretim Ortamları.....	16
2.4.2. BS Saflaştırılması.....	19
2.4.2.1. Temizleme.....	19
2.4.2.2. Ağartma.....	19
2.4.2.3. Kurutma.....	20
2.4.3.BS'un İşlenmesinde Kullanılan Çözücüler.....	20
2.4.4. Bakteriyel Selülozlar ve Bitkisel Selülozlar Arasındaki Farklar.....	21
2.4.5.BS Kullanım Alanları.....	22
2.4.6.İlgili Çalışmalar.....	24
2.4.6.1. Genel çalışmalar.....	24
2.4.6.2. Selüloz ve BS Kaplanmış Tekstil Yüzeyleri Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	33
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	36
3.1.Materyal.....	36
3.2.Yöntem.....	36
3.2.1. BS Üretimi.....	37
3.2.2. BS'un Saflaştırılması.....	38
3.2.3. BS'un Çözülmesi.....	38
3.2.4. Çözülmüş BS'u Tekstil Ürünlerine Kaplama.....	39
3.2.4.1.Kumaş Kaplama.....	39
3.2.4.2. İplik Kaplama.....	40
3.2.4.2.1.Plazma Uygulaması.....	40
3.2.4.2.2. Kaplama Uygulaması.....	41
3.2.5. BS İplik Üretimi.....	42
3.2.6. SEM-EDX Analizi.....	43
3.2.7. FTIR Analizi.....	43
3.2.8. Kopma Mukavemeti Analizi.....	43
3.2.8.1. Kaplanan İplik.....	43
3.2.8.2. Üretilen Rejenere İplik.....	43

3.2.8.3. Kumaş .....	44
3.2.9. TGA Analizi.....	44
3.2.10. Termofizyolojik Konfor Özellikleri Analizi .....	44
3.2.11. Su Buharı Geçirgenliği Analizi.....	44
3.2.12. Hava Geçirgenliği Analizi.....	45
3.2.13. Yıkama ve Sürtme İşlemi Sonrası Kalıcılık.....	45
4. BULGULAR.....	46
4.1.BS Üretimi .....	46
4.1.1. pH ve Kalınlık.....	46
4.1.2. Saflaştırma İşlemi Sonrası BS Yapısı .....	47
4.1.3. Çözündürülmüş BS Yapısı.....	47
4.2. SEM-EDX Analizi .....	48
4.3. FTIR Analizi .....	58
4.4. Kopma Mukavemeti Analizi .....	67
4.5. TGA Analizi.....	73
4.6. Termofizyolojik Konfor Özellikleri Analizi .....	80
4.7. Su Buharı Geçirgenliği Analizi.....	82
4.8. Hava Geçirgenliği Analizi.....	85
4.9. Yıkama ve Sürtme İşlemi Sonrası Kalıcılık.....	87
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	88
KAYNAKLAR .....	91

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
%	Yüzde
°C	Santigrat Derece
µm	Mikro metre
Al	Aliminyum
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
CaCl <sub>2</sub>	Kalsiyum Klorür
Cl	Klor
Cm	Santimetre
cm <sup>2</sup>	Santimetre kare
cm <sup>3</sup>	Santimetre küp
cN	Santinewton
Co	Kobalt
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
Cu	Bakır
Dak	Dakika
DMAc	Dimetilasetamid
dtex	Desitex
Fe	Demir
g	Gram
GPa	Gigapaskal
H	Hidrojen
H <sub>2</sub> O	Su
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen Peroksit
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sülfürik asit
K	Potasyum
KBr	Potasyum Bromür
KHz	Kilohertz
L	Litre
Li	Lityum
LiCl	Lityum Klorür
m <sup>2</sup>	Metrekare
Mbar	Mili bar
Mg	Magnezyum
mL	Mililitre
mm	Milimetre
Mo	Molibden
N	Azot
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
NaOH	Sodyum Hidroksit
Ne	Numara İngiliz
Ni	Nikel
nm	Nano metre
NMMO	-N-Metilmorfolin N-oksit



O	Oksijen
P	Fosfor
Pa	Pascal
Rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
S	Kükürt
s	Saniye
TiO <sub>2</sub>	Titanyum dioksit
Zn	Çinko

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AAB	Asetik Asit Bakterileri
BS	Bakteriyel Selüloz
EDX	Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy
ES	Etil Selüloz
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
HES	Hidroksietil Selüloz
HPS	Hidroksipropil Selüloz
HS	Hestrin-Schramm
KMS	Karboksimetil Selüloz
MES	Metil Selüloz
MKS	Mikrokristalin Selüloz
MS	Mikrobiyal Selüloz
PANİ	Polianilin
RBS	Rejenere Bakteriyel Selüloz
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
WVP	Su Buharı Geçirgenliği
XRD	X-Işını Difraktometresi
v/v	Hacimce yüzde

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Kaynağına göre selülozun sınıflandırılması (Seddiqi ve diğerleri, 2021) .....	5
Şekil 2.2. Selüloz oluşumuna giden temel yollar (Klemm ve diğerleri, 2005).....	8
Şekil 2.3. Bakterilerin zamana bağlı olarak üreme eğrisi (Wang ve diğerleri, 2019).....	15
Şekil 2.4. Kombucha fermentasyonu sırasında meydana gelen temel metabolik aktiviteler (Arıkan, 2018; Villarreal-Soto ve diğerleri 2018).....	17
Şekil 2.5. Doğal ve yapay lifler ile bakteriyel selüloz liflerinin çaplarının karşılaştırılması ve 1000x büyütme pamuk kumaş ve BS tabakası (Yoshinaga ve diğerlerinde 1997'den değiştirilerek alınmıştır).....	22
Şekil 3.1. Çalışmanın iş akış şeması .....	36
Şekil 3.2. İplik kaplama iş akış şeması .....	37
Şekil 3.5. Diener vakum plazma cihazı.....	41
Şekil 4.1. BS'ye ait görüntüler, (A) kombucha kültür ortamı ve (B) üstte kombucha ortamından alınan BS tabakası, altta kurutulmuş ham BS tabakası.....	46
Şekil 4.2. Ham, NaOH sonrası ve NaOH+ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> sonrası BS'lerin görüntüleri.....	47
Şekil 4.3. Çözündürülmüş BS (A) çözündürülmüş saf BS'nin yandan görünüşü, (B) çözündürülmüş ham BS'nin yandan görünüşü, (C) çözündürülmüş saf BS'nin alttan görünüşü, (D) çözündürülmüş ham BS'nin alttan görünüşü.....	48
Şekil 4.4. BS'nin farklı bölgelerinden alınan 50000x büyütme SEM görüntüleri ve lif çapları.....	49
Şekil 4.5. Ham, NaOH sonrası ve NaOH+ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> sonrası BS'lerin 10000 x büyütme SEM görüntüleri .....	50
Şekil 4.6. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait 500x büyütme SEM görüntüleri (P0, P1, P2, P3, P4).....	51
Şekil 4.7. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait 500x büyütme SEM görüntüleri (V0, V1, V2, V3, V4) .....	52
Şekil 4.8. Rejenere BS lifi enine kesit SEM görüntüleri.....	53
Şekil 4.9. Rejenere BS lifi boyuna yönde SEM görüntüleri .....	54
Şekil 4.10. Ham, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve kaplanmış pamuk ipliklerine ait 500x (her ikili görüntüde soldaki numune) ve 5000x (her ikili görüntüde sağdaki numune) büyütme SEM görüntüleri.....	55
Şekil 4.11. Ham, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve kaplanmış polyester ipliklerine ait 500x (her ikili görüntüde soldaki numune) ve 5000x (her ikili görüntüde sağdaki numune) büyütme SEM görüntüleri .....	57
Şekil 4.12. Ham, NaOH sonrası ve NaOH+ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> sonrası BS'lerin FTIR analizi verileri .....	59
Şekil 4.13. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait FTIR analizi sonuçları (P0, P1, P2, P3, P4).....	60
Şekil 4.14. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait FTIR analizi sonuçları (V0, V1, V2, V3, V4) .....	62
Şekil 4.15. Üretimi sağlanan rejenere BS lifi ile pamuk liflerine ait karşılaştırmalı FTIR analizi verileri.....	63
Şekil 4.16. Pamuk, rejenere BS kaplanmış pamuk ve farklı sürelerde oksijen plazma uygulanmış olan pamuk ipliklerine ait FTIR analizi verileri.....	64
Şekil 4.17. Pamuk, rejenere BS kaplanmış pamuk ve farklı sürelerde oksijen plazma uygulaması sonrası rejenere BS uygulanmış pamuk ipliklerine ait FTIR analizi verileri .....	65

Şekil 4.18. Polyester, rejenere BS kaplanmış polyester ve farklı sürelerde oksijen plazma uygulanmış olan polyester ipliklerine ait FTIR analizi verileri .....	66
Şekil 4.19. Polyester, rejenere BS kaplanmış polyester ve farklı sürelerde oksijen plazma uygulaması sonrası rejenere BS uygulanmış polyester ipliklerine ait FTIR analizi verileri .....	67
Şekil 4.20. 66,6 Tex, 84,21 Tex ve 100 Tex iplik numaralı rejenere BS liflerine ait Kuvvet-Uzama grafiği.....	68
Şekil 4.21. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait Kuvvet- Uzama grafiği (P0, P1, P2, P3, P4).....	69
Şekil 4.22. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait Kuvvet- Uzama grafiği (V0, V1, V2, V3, V4).....	70
Şekil 4.23. Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış pamuk ipliklerine ait Kuvvet-Uzama grafikleri.....	71
Şekil 4.24. Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış polyester ipliklerine ait Kuvvet-Uzama grafikleri.....	73
Şekil 4.25. Ham, NaOH uygulanmış, NaOH sonrası hidrojen peroksit uygulanmış BS'lere ait Sıcaklık – (%) Kütle Kaybı eğrisi .....	74
Şekil 4.26. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait TGA eğrileri (P0, P1, P2, P3, P4) .....	76
Şekil 4.27. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait TGA eğrileri (V0, V1, V2, V3, V4) .....	77
Şekil 4.28. Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış pamuk ipliklerine ait TGA eğrileri .....	78
Şekil 4.29. Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış polyester ipliklerine ait TGA eğrileri .....	79
Şekil 4.30. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait su buharı geçirgenliği verileri (P0, P1, P2, P3, P4) .....	83
Şekil 4.31. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait su buharı direnci verileri (P0, P1, P2, P3, P4) .....	84
Şekil 4.32. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait su buharı geçirgenliği verileri (V0, V1, V2, V3, V4).....	84
Şekil 4.33. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait su buharı direnci verileri (V0, V1, V2, V3, V4).....	85
Şekil 4.34. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait hava geçirgenliği verileri (P0, P1, P2, P3, P4) .....	86
Şekil 4.35. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait hava geçirgenliği verileri (V0, V1, V2, V3, V4).....	86

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Selüloz türevleri ve kullanım alanları (Lavanya ve diğerleri, 2011) .....	7
Çizelge 2.2. Farklı araştırmacılar tarafından kullanılan farklı kültürel koşulların sonuçlarının karşılaştırılması (Çoban ve Bıyık, 2011; Pourramezan ve diğerleri, 2009)11	11
Çizelge 2.3. BS üretiminde kullanılan kültür tekniklerinin özeti (Andriani ve diğerleri, 2020) .....	13
Çizelge 2.4. Selüloz üretimi yapan bazı mikroorganizmalar ve selülozun biyolojik görevleri (Jonas ve Farah, 1998; Erçalışkan , 2017).....	14
Çizelge 2.5. Şekerli siyah çay infüzyonunda fermantasyonun sonunda kombucha çayındaki baskın bileşenler (Jayabalan ve diğerleri, 2014) .....	18
Çizelge 2.6. Bakteriyel selüloz ile bitkisel selülozun özellikler açısından kıyaslaması (Wang ve diğerleri, 2019) .....	22
Çizelge 2.7. BS'nin avantajları ve kullanım alanları (Andriani ve diğerleri, 2020) .....	23
Çizelge 3.1. Uygulamada kullanılan kumaşların özellikleri .....	36
Çizelge 3.2. Kaplama işlemi öncesi ve sonrası numunelere ait kodlar ve kaplanmış numunelerin kurutmadan sonra ağırlık artışları .....	40
Çizelge 3.3. Plazma uygulaması teknik detayları .....	41
Çizelge 3.4. Kaplama ve plazma işlemi öncesi ve sonrası numunelere ait kodlar.....	42
Çizelge 4.1. 8 gün boyunca gözlenen pH ve kalınlık değişimi.....	47
Çizelge 4.2. BS ortalama lif çapları .....	49
Çizelge 4.3. Hidrofil pamuk, ham BS ve saf BS 'ye ait EDX sonucu .....	50
Çizelge 4.4. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait EDX analizi sonuçları (P0, P1, P2, P3, P4).....	52
Çizelge 4.5. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait EDX analizi sonuçları (V0, V1, V2, V3, V4) .....	53
Çizelge 4.6. Rejenere BS lifi EDX analizi sonucu.....	54
Çizelge 4.7. Ham, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve kaplanmış pamuk ipliklerine ait EDX sonuçları.....	56
Çizelge 4.8. Ham, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve kaplanmış polyester ipliklerine ait EDX sonuçları.....	58
Çizelge 4.9. Hidrofil pamuk, ham, NaOH sonrası ve NaOH ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> sonrası BS'lerin FTIR analizinde görülen zirveler ve bu zirvelere karşılık gelen fonksiyonel gruplar ....	59
Çizelge 4.10. FTIR spektrumunda görülen pamuk numuneler ile ilgili diğer pikler .....	61
Çizelge 4.11. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait FTIR analizinde görülen pikler ve bu piklere karşılık gelen fonksiyonel gruplar (V0, V1, V2, V3, V4).....	63
Çizelge 4.13. Çalışmada üretilen rejenere BS lifi ile literatürdeki çalışmaların kıyaslaması .....	68
Çizelge 4.14. Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış pamuk ipliklerine ait kopma mukavemeti değerleri.....	71
Çizelge 4.15. Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış polyester ipliklerine ait kopma mukavemeti değerleri.....	72
Çizelge 4.16. Ham, NaOH uygulanmış, NaOH sonrası hidrojen peroksit uygulanmış BS'lere ait TGA verileri.....	75

Çizelge 4.17. Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış pamuk ipliklerine ait Tmax ve kalan madde miktarı verileri .....	78
Çizelge 4.18. Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış polyester ipliklerine ait Tmax ve kalan madde miktarı verileri .....	79
Çizelge 4.19. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait termofizyolojik konfor değerleri (P0, P1, P2, P3, P4) .....	81
Çizelge 4.20. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait termofizyolojik konfor değerleri (V0, V1, V2, V3, V4).....	82
Çizelge 4.21. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk yıkama işlemi sonrası %ağırlık kaybı verileri (P0, P1, P2, P3, P4) .....	87
Çizelge 4.22. Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk sürtme işlemi sonrası % ağırlık kaybı verileri (P0, P1, P2, P3, P4) .....	87

## 1. GİRİŞ

Selüloz kâğıt, kozmetik, tekstil, gıda, ilaç gibi pek çok endüstride hammadde olarak kullanılmaktadır. Selüloz tüketiminin gün geçtikçe artması bilim adamlarını farklı selüloz kaynakları bulmak için araştırma yapmaya yöneltmiştir.

AJ Brown (1886), *Acetobacter xylinum* bakterilerinin oksijen ve glikoz varlığında mikrobiyal selüloz ürettiğini ilk kez bildirdikten sonra, farklı bakterilerden selüloz üretimine yönelik çalışmalar da artmıştır. Bakterilerden üretilen selülozlara bakteriyel selüloz (BS) veya mikrobiyal selüloz (MS) denilmektedir. Araştırmalar, Gram negatif bakteriler *Gluconacetobacter*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas Salmonella*, *Alcaligenes* ve gram pozitif *Sarcina ventriculi* bakterisinden bakteriyel selüloz üretilbildiğini göstermektedir. Bu bakteriler arasında en çok kullanılan bakteri *A. xylinum*'dur. Bu suş, aerobik gram-negatif asetik asit bakterisidir.

Kültür şartları (Sıcaklık, pH, çalkalama hızı (rpm), statik üretim), besin maddesi (karbon ve azot kaynakları, mikro element), bakteri tipi bakteriyel selüloz üretimini etkileyen en önemli parametrelerdir. HS (Hestrin-Schramm), Yamanaka, Zhou, CSL (mısır dik likörü)-fruktoz ortamları, bakteriyel selüloz üretimi için yaygın olarak kullanılan kültür ortamlarıdır. Bu kültür ortamlarının dışında, kombucha olarak bilinen bakteri ve mayaların simbiyotik konsorsiyumu (SCOBY) de bakteriyel selüloz üretmek için kullanılmaktadır. Kombucha, yaklaşık 2240 yıl önce antik Mançurya'da çayı fermente ederek alkolsüz içecekler üretmek için ilk kez kullanılmıştır. Kombucha çözültisi su, şeker, çay ve kombucha kültüründen (çay mantarı) oluşur. Bakteriyel selüloz tabakası, ilgili solüsyonun oda sıcaklığında 1-3 hafta, tercihen tercihen karanlık bir ortamda beklenmesiyle elde edilir.

Bakteriyel selüloz, moleküler formülü açısından bitki selülozu ile aynı olmasına rağmen, birçok yönden oldukça farklılık göstermektedir. Bakteriyel selüloz bitkisel selüloza göre daha yüksek young modül değerine (Tabaka: 20.000, Tek lif: 130.000 MPa), su tutma kapasitesine (%95'in üzerinde), kristaliniteye (%74-96) ve polimerizasyon derecesine (14000-16000) sahiptir. Bu üstün özelliklerinden dolayı bakteriyel selüloz gıda, tekstil,

kâğıt, kozmetik ve biyomedikal alanlarındaki çalışmalarda hammadde olarak kullanılmaktadır. Bakteriyel selülozun farklı uygulama alanlarında hammadde olarak kullanılması için bir takım ön işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bu işlemler temizleme, ağartma ve kurutmadır.

Üstün özellikleri nedeniyle farklı endüstrilerde incelenen bakteriyel selüloz, tekstil endüstrisi içinde önemli bir hammaddedir. Tekstil endüstrisinde bakteriyel selüloz üzerine hem endüstriyel hem de laboratuvar ölçeğinde çalışmalar yapılmaktadır. Bakteriyel selüloz tabakası ayrıca bakteriyel selüloz dokusuz yüzey veya biyo-dokusuz yüzey olarak tanımlanmaktadır. BS ilk kez 2004 yılında İngiliz moda tasarımcısı Suzanne Lee ve biyomalzeme uzmanı Dr. David Hepworth (2004) tarafından tekstil yüzeyi olarak kullanılmıştır. Projelerinde statik bir Kombucha kültürü ortamında BS tabakasının üretimini gerçekleştirmişlerdir. BS'nin tekstil yüzeyi olarak kullanıldığı bu öncü projede geleneksel kesim ve dikim işlemleriyle gömlek, ceket ve kimono üretmişlerdir. Bu çalışmanın dışında ilgili literatür incelendiğinde bakteriyel selüloz yapısından kompozit, 3 boyutlu giysi, aksesuar, elyaf ve iplik üretimine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bunlara ek olarak, farklı apre işlemlerinden sonra bakteriyel selülozun tekstil ürünü olarak kullanıldığında estetik açıdan çekici ve giyilebilir olma özelliklerini araştıran çalışmalar da bulunmaktadır.

Tekstil alanında bakteriyel selüloz üzerine yapılan çalışmalarda bakteriyel selüloz tabakaları doğal, modifiye veya rejenere formlarında değerlendirilmeye çalışılmıştır. Rejenere bakteriyel selüloz üretimi için çözünme ve katılma süreçleri gereklidir. Bazı çözücülerin bakteriyel selülozu çözebildiği farklı çalışmalarda belirtilmiştir. Bu çözücüler, lityum klorür/N, N dimetilasetamid (LiCl/DMAc) (etanol, metanol, su ve su/DMAc içinde katılma), NaOH/üre sulu çözeltisi (CaCl<sub>2</sub> sulu çözeltisinde pıhtılaşma), iyonik sıvılardır (suda, etanol veya asetonda katılma), N-metil morfolin-N-oksit (NMMO) (su ve su/NMMO'da katılma) ve çinko klorür sulu çözeltisi (ZnCl<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O) (mutlak alkol, aseton ve sulu alkol içinde katılma).

Selüloz kaplı tekstil ürünü özelliklerini açıklayan yayınlanmış çalışma sayısı sınırlıdır. Bu çalışmalarda kaplama malzemesi olarak selüloz, nanofibril selüloz, mikrokristal

selüloz, nano-selüloz kullanılmıştır. İlgili çalışmalar incelendiğinde selülozun ya kaplama malzemesinde partikül olarak kullanıldığı ya da çözüldükten sonra kaplama malzemesi olarak yüzeye aktarıldığı görülmüştür. Literatürde bu iki yöntemle bakteriyel selülozun tekstil yüzeyine transferini ve elde edilen yüzeyde meydana gelen değişiklikleri inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda rejenere bakteriyel selüloz ile kaplanmış pamuk ve viskon kumaşlar ile pamuk ve polyester ipliklere ait özellikleri inceleyen bir araştırmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışmada, Kombucha kültür ortamında elde edilmiş olan BS tabakası saflaştırma işlemleri sonrasında lityum klorür/N, N dimetilasetamid (LiCl/DMAc) çözeltisi içerisinde çözüldürülmüş, daha sonra kumaş (pamuk ve viskon) ve ipliklere (pamuk ve polyester) kaplanmıştır. Kaplama işlemlerine ek olarak elde edilen çözeltiden rejenere lifte üretilmiştir. Üretimi sağlanan ürünlerin yüzey morfolojileri, termal konfor özellikleri, kimyasal özellikleri, mukavemet özellikleri ve ısıya karşı direnç özellikleri araştırılmıştır.

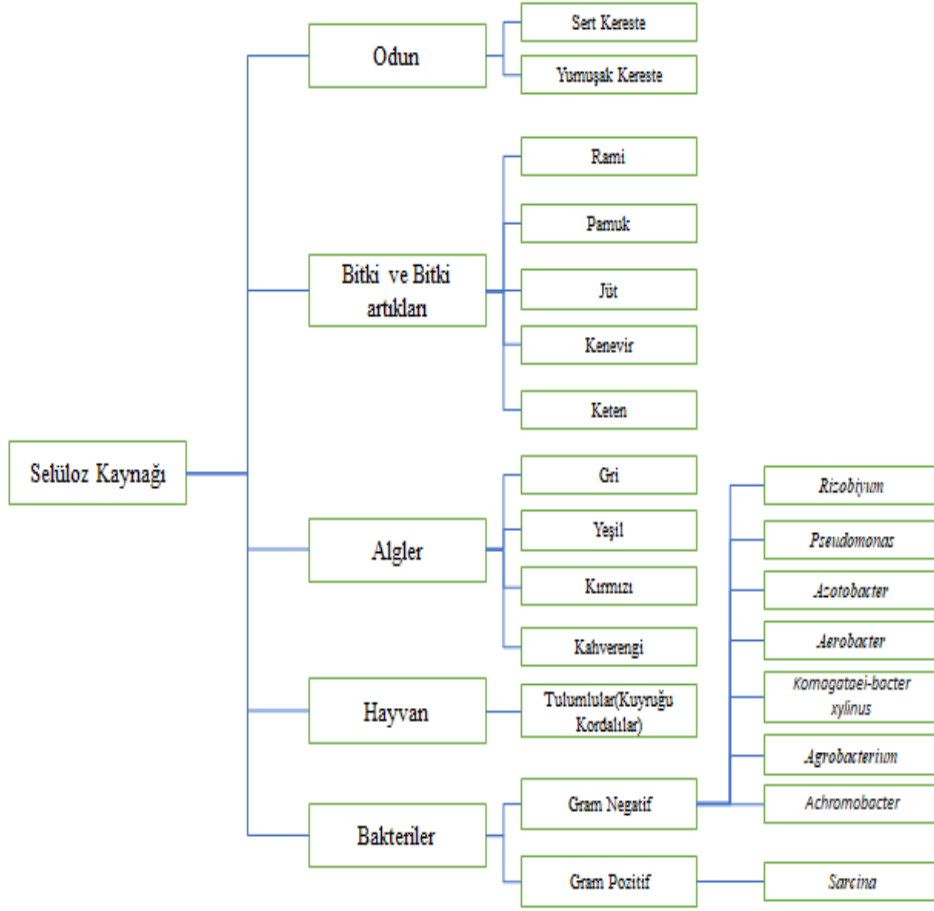


## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1.Selüloz

1838 yılında Fransız kimyacı Anselme PAYEN, çeşitli bitki dokularına asit ve amonyak ile işlem yapmış ve daha sonrasında bu dokulara sırası ile su, alkol ve eter ile ekstraksiyon işlemi uygulamıştır. Ekstraksiyon işlemi sonrasında geriye dayanıklı lifli bir katı yapının kaldığını belirtmiştir. Belirtilen bu katı lifli yapıya yapmış olduğu elemental analizler sonucunda yapının moleküler formülünün “C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>” olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, Payen tarafından lifli yapının nişasta ile aynı yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Bu bitki bileşeni için “selüloz” tanımı ise ilk olarak 1839 yılında Fransız akademisinin bir raporunda kullanılmıştır (Klemm ve diğerleri, 2005). Mısır papirüslerinden bu yana selüloz malzemeler ahşap, pamuk ve diğer lif formlarında günlük hayatımız içerisinde enerji kaynağı, yapı malzemesi ve giyim eşyası olarak kullanılmaktadır. Kimyasal hammadde olarak ise yaklaşık 170 yıldır selüloz ile uygulamalar yapılmaktadır (Klemm ve diğerleri, 2005).

Selüloz, β-D-glukoz birimlerinden oluşan uzun zincirli polimerik bir yapıdır. Selüloz, lignin ve hemiselüloz gibi diğer malzemelerle birlikte pamukta, ağaçta, bitki yaprağında ve gövdesinde bulunmaktadır. Selüloz çoğunlukla bitkilerden elde edilen bir malzeme olmasına rağmen bakteri, alg ve mantarlar tarafından da üretildiği bilinmektedir (Danafar, 2020). Şekil 2.1’de selüloz kaynakları sınıflandırılmıştır.



**Şekil 2.1.** Kaynağına göre selülozun sınıflandırılması (Seddiqi ve diğerleri, 2021)

Selüloz çok sayıdaki  $\beta$ -D glikoz yapıtaşının yapıda bulunan 1. ve 4. karbon atomları yardımı ile kurulan oksijen köprüleri ile birbirine bağlanması sonucu oluşur. Selülozda bulunan glikoz yapıtaşlarında yapının özelliklerini belirleyen 3'er adet -OH (hidroksil) grubu bulunmaktadır (Visanko ve diğerleri, 2016). Hidroksil gruplarından bir tanesi intermolekuler bağ ve diğer iki ise intramoleküler bağ oluşturmaktadır ve bu gruplar kristal yapının oluşumunun yanısıra selülozun kimyasal ve fiziksel özelliklerini de etkilemektedir (Gupta ve diğerleri, 2019).

## 2.2.Selülozun Kullanım Alanları

Selüloz endüstrinin farklı alanlarında kullanılan bir hammaddedir. İnsan nüfusunun artması ile birlikte selüloz ve selüloz türevlerinin tüketimi de artmaktadır. Farklı kurumların yapmış oldukları araştırmalara göre Dünya'da 2015 yılı selüloz elyaf pazarı

17,5 milyar dolar iken bu değer 2019 yılında 21,5 milyar dolara çıkmıştır. Bu kurumların 2027 yılı projeksiyonlarına göre küresel selüloz elyaf pazarının değerinin 41,5 milyar dolara çıkabileceği belirtilmiştir. Bu artışın sebebi olarak endüstrinin evre dostu, çok yönlü, biyolojik olarak parçalanabilen ve uygun maliyetli liflere olan ilgi artışı gösterilmiştir (“Celulose fiber market”, 2021; “Cellulose Fiber Market size worth”, 2021; “Cellulose Fiber Market Size, Share”, 2021). Atık ve Ok (2017), çalışmalarında selüloz tüketiminin 2020’li yıllarda 2010’lu yıllara göre neredeyse 3 kat arttığını “Türkiye’de selüloz-kâğıt üretimi ve tüketimi” adlı tablolarında göstermişlerdir.

Selüloz hem saf hali ile hem de kimyasal reaksiyonlar ile modifiye edildikten sonra endüstrisinin farklı alanlarında kullanılmaktadır (Ratajczak ve Stobiecka, 2020). Kâğıt, tekstil, hijyen, medikal, gıda sanayileri farklı uygulama alanlarına örnek olarak verilebilir. Selülozun oksitleme, eterleştirme, esterleştirme ve mikro kristalleştirme işlemleri sonrasında elde edilen ürünlere genel olarak selüloz türevleri denilmektedir (Lavanya ve diğerleri, 2011). Bu işlemler esnasında kullanılan yöntem, kimyasal maddeler, elde edilen ürünler ve bu ürünlerin kullanım alanları izelge 2.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.1. Selüloz türevleri ve kullanım alanları (Lavanya ve diğerleri, 2011)**

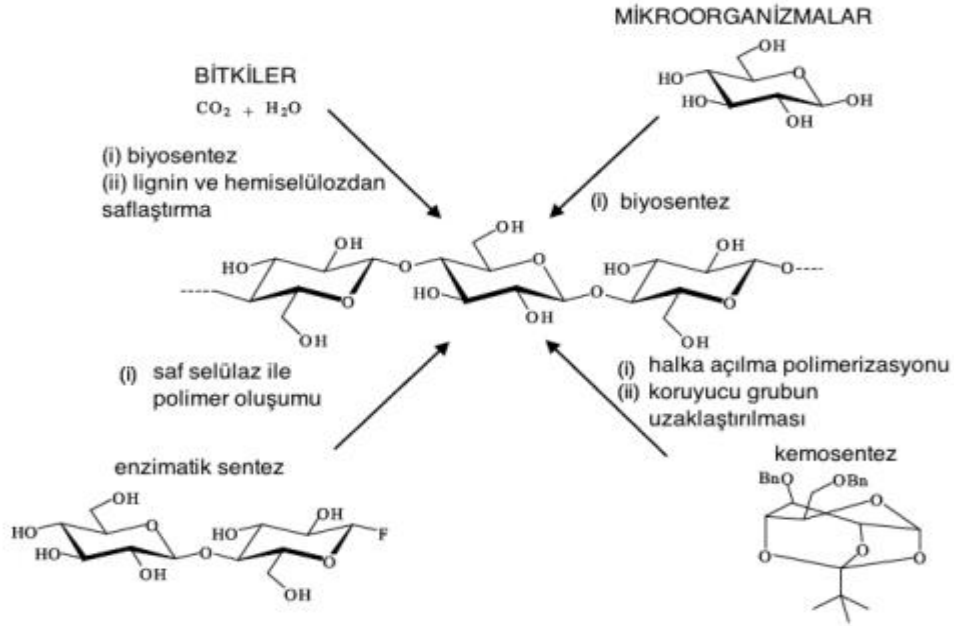
Kimyasal Metot	Kimyasal Tepkimeye Katılan Madde	Ürün	Kullanım Alanı
<b>Oksidasyon</b>	Yükseltgen maddeler 1.Klor gazı 2.Hidrojen peroksit 3.Per asetik asit 4.Klor dioksit, 5.Azot dioksit, 6.Dikromat- sülfürik asit 7.Hipokloröz asit 8.Hipohalitler 9.Periyodatlar	Oksiselüloz	1.Cerrahi işlemlerde 2.Çeşitli kozmetik, ilaç, tarım ve tüketici ürünlerinin geliştirilmesinde kullanılır. 3.Oksitlenmiş selüloz dispersiyonu, akne önleyici krem, akne önleyici losyon, güneş koruyucu spreylere, mantar önleyici kremlerde de kullanılır.
<b>Mikro kristalizasyon</b>	1.Nitrik asit 2.Nitroksit	1.Mikrokristal Selüloz (MKS) 2.Silisleşmiş MKS	1.Emülgatör ve stabilizatör olarak kullanılır. 2.Topaklanmayı önleyici ve dispersiyon ajanı olarak kullanılır.
<b>Eterleşme</b>	Eterleştirici maddeler	Selüloz eterleri,	
	1.Metilklorür	1. Metil selüloz (MES)	1.Kıvam arttırıcı ve emülgatör 2.Değişken viskoziteli kişisel yağlayıcı 3.Gözyaşı veya tükürüğün yerine 4.Besin takviyelerinde kapsül üretiminde 5.Suyla yıkanabilen yumuşak bir yapıştırıcı olarak 6.Kâğıt ve tekstil üretiminde haşıl olarak 7. Kabızlık, divertiküloz, hemoroit ve irritabl bağırsak sendromu tedavisinde kullanılır.
	2.Etilklorür	2. Etil selüloz (ES)	1.Kaplama maddesi 2.Kıvam arttırıcı ve bağlayıcı 3.İlaç salınımı
	3.Etilenoksit	3.Hidroksietilselüloz (HES)	1.Jelleştirici ve koyulaştırıcı 2.Kozmetikte kullanılır (temizleme solüsyonları, şampuanlar) 3.Tekstil ve kâğıt endüstrisinde 4. Film yapımında 5.Pestisit olarak kullanılır.
	4.Propilen oksit	4.Hidroksipropilselüloz (HPS)	1.Yapay gözyaşı 2.Yapay gözler için kayganlaştırıcı 3.Gıda katkı maddesi
	5.Kloroasetik asit	5.Karboksimetilselüloz (KMS)	1.Kıvamlaştırıcı 2.Çamaşır deterjanları 3.Yapay gözyaşı 4.Petrol endüstrisi 5.Katyon değişim reçinesi 6.Buz paketlerinde
<b>Esterleşme</b>	1.Asetik asit 2.Nitrik asit 3.Sülfürik asit 4.Fosforik asit	Selüloz ester	1.Film 2. Giyim Eşyası, Mobilya Teçhizatı 3. Sigara Filtresi 4. Film, Levha, Preslenmiş (Kalıplanmış) Eşya 5. Levha ve Preslenmiş Eşyalar 6. Vernik, Cila, Film ve patlayıcılar

### 2.3. Selüloz Kaynakları

Selüloz hammadde ihtiyacının çoğunluğunun bitkilerden elde edilen selülozlardan karşılanmasının yanı sıra, bakteriler, mantarlar ve alglerden de selüloz üretimi sağlanmaktadır. Bitkilerden elde edilen selülozun ise neredeyse tamamı pamuk ve

odundan elde edilmektedir. Bitkiler ve alglerden selüloz eldesi fotosentez yolu ile sağlanmaktadır. Bakteri ve mantarların selüloz üretebilmeleri içinse glikoz ve bazı organik substratlara ihtiyaç vardır (Keshk, 2014).

İlgili literatürde daha önce yapılmış olan çalışmalarda biyopolimerik selüloz üretmek için dört farklı yol belirtilmiştir (Kamal, 2008). Selüloz üretiminde kullanılan birinci yol bitkilerden lignin ve hemiselüloz uzaklaştırılarak elde edilen yöntemdir. Bu yöntem endüstriyel açıdan selüloz üretiminin en popüler yoludur. İkinci yol ise farklı organizmalardan selüloz sentezidir. Bu farklı organizmalar yukarıda da belirtildiği üzere mantarlar (*Saprolegnia*, *Dictyostelium discoideum*), alglar (*Vallonia*) ve bakterilerdir (*Acetobakter*, *Akromobakter*, *Aerobakter*, *Agrobakterium*, *Pseudomonas*, *Rizobium*, *Sarcina*, *Alkaligenes*, *Zoogloea*). Bu iki yöntem haricinde enzimatik sentez ve kemosentez yolu ile de selüloz üretilmektedir (Erçalışkan, 2017). Selüloz oluşumuna giden temel yollar Şekil 2.2 'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Selüloz oluşumuna giden temel yollar (Klemm ve diğerleri, 2005)

#### 2.4. Bakteriye Selüloz (BS)

Her yıl meydana gelen yangınlar ve diğer nedenler de göz önünde bulundurulduğunda sahip olduğumuz orman alanları her geçen gün azalmaktadır. Orman alanlarındaki azalma

ve son yıllarda biyoteknolojinin hızla gelişmesi sebebi ile araştırmacılar bitkiler olmadan da selüloz üretebilmenin yollarını aramışlardır. Son 30 yılda yapılan çalışmalar, selüloz ürettiği bilinen bakteriler üzerinde yoğunlaşmıştır. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde bakterilerden üretilen selüloz yapıları ile ilgili çalışmaların gün geçtikçe arttığı görülmektedir. İlgili kaynaklardan bir tanesinde, Adriana ve diğerleri (2020), 2000 ile 2019 yılı arasında BS ile ilgili yapılan özet ve araştırma makalelerinin sayıları belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmada ise, Sperotto ve diğerleri (2021), BS, kültür ortamı, karbon kaynağı anahtar kelimeleri yazılarak 1954 ile 2020 yılı arasında yapılan araştırmaları incelemişler ve sonucunda elde edilen makale sayılarına çalışmalarında yer vermişlerdir. Her iki çalışmada da bakterilerden üretilen selüloz ile ilgili bilim insanlarının yapmış oldukları çalışmaların gün geçtikçe arttığı belirtilmiştir.

BS, mikrobiyel selüloz (MS) olarak ta adlandırılan belirli bakteri türleri tarafından üretimi gerçekleştirilen  $(C_6H_{10}O_5)_n$  formülüne sahip ekzopolisakkarit organik bir bileşiktir (Gallegos ve diğerleri, 2016). BS ilk olarak AJ Brown tarafından 1886 yılında *Acetobacter xylinum* bakterilerinin oksijen ve glikoz varlığında ürettiği organik bileşiğin BS olarak raporlanması sonucu literatüre eklenmiştir (Jacek ve diğerleri, 2019). Literatürde, *Gluconacetobacter*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas Salmonella*, *Alcaligenes* gram negatif bakterilerinin ve *Sarcina ventriculi* gram pozitif bakterisinin BS ürettiği belirtilmiştir (Aswani ve diğerleri, 2020).

*Acetobacter xylinum* tarafından glikoz kullanılarak üretimi sağlanan BS sentezi aşağıdaki işlem basamaklarına uygun olarak gerçekleşmektedir. BS biyosentezinin akış diyagramı aşağıda gösterilmiştir.

1. Glukoz + Glukokinaz enzimi  $\longrightarrow$  Glukoz-6-P
2. Glukoz-6-P + Fosfoglukomutaz enzimi  $\longrightarrow$  Glukoz- $\alpha$ -1-P
3. Glukoz- $\alpha$ -1-P + UDPGlc pirofosforolaz enzimi  $\longrightarrow$  UDPGlc (üridin difosfoglukoz)
4. UDPGlc + Seluloz sentaz  $\longrightarrow$  Seluloz

UDPGlc pirofosforolaz eksikliğinde selüloz sentezlenemediği için, selüloz sentezinde en önemli olan enzimlerden biridir (Erçalışkan, 2017).

## 2.4.1 BS Üretimin Etkileyen Parametreler

BS üretimine azot ve karbon kaynaklarının (kültür ortamının kompozisyonu), sıcaklık, pH, oksijen dağıtımı, kültür tekniği, bakteri çeşidi, kuluçka süresinin etkisi olmaktadır (Sperotto ve diğerleri, 2021). Bu parametreler alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

### 2.4.1.1. Sıcaklık ve pH

BS üretiminin sağlanması ve optimum verimin elde edilmesi açısından kültür ortamının sıcaklığı ve pH'ı önemlidir. Literatürdeki uygulamalarda kültür ortamının sıcaklığı genellikle 28-30 °C ve pH'ı 5 ile 7,5 arasında değişmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda maksimum verimin elde edilmesi amacı ile uygulanması gereken optimum sıcaklığın 30°C ve optimum pH'ın 5.5 olması gerekliliği belirtilmiştir ve bunun yanı sıra 24 °C sıcaklıklarda uygulama yapan çalışmalarda bulunmaktadır (Çoban ve Bıyık, 2011; Pourramezan ve diğerleri, 2009). Literatürdeki veriler pH açısından incelendiğinde ise selüloz üretimi esnasında pH'ın 3.5'in altına düştüğü rapor edilmiştir. Ancak bu pH değeri ve altında selüloz üretim veriminin azaldığı kaynaklarda belirtilmiştir (Lin ve diğerleri, 2013).

Kombucha ortamında BS üretiminde ise pH değerleri 10. günün sonunda 2.7'lere kadar düştüğü daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir. Bunun yanı sıra kombucha üretiminde 10 günlük süre ve 25°C'nin en uygun şartlar olduğu belirtilmiştir (Neffe-Skocińska ve diğerleri, 2017).

Uygulama esnasında kullanılan şeker çeşidi ve konsantrasyonu da pH aralıklarını değiştirmektedir. Çizelge 2.2'de farklı araştırmacılar tarafından kullanılan farklı kültürel koşulların sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir (Kutluer, 2009; Zeng ve diğerleri, 2011; Jonas ve Farah, 1998).

**Çizelge 2.2.** Farklı araştırmacılar tarafından kullanılan farklı kültürel koşulların sonuçlarının karşılaştırılması (Çoban ve Bıyık, 2011; Pourramezan ve diğerleri, 2009)

Hacim(L)	Verim(g/L)	Sistem	Sıcaklık(°C)	pH	Zaman(saat)
-	9,7	Çalkalamalı Kültür	-	-	7
30	20	Çalkalamalı Kültür	30	5	42
2	15	Çalkalamalı Kültür	30	5,5	50
Tüpler	3	Statik Kültür	30	5,6-7,5	4(hafta)
0,075	16,4	Çalkalamalı Kültür	30	5,6	192
0,61	21	Çalkalamalı Kültür	30	5	50
0,1	12,8	Çalkalamalı Kültür	30	5	72
0,03	-	Statik Kültür	28	6	168
0,03	11,98	Statik Kültür	30	7	192

#### 2.4.1.2. Besin Kaynakları (karbon, azot ve mikro elementler)

Kültür ortamı, mikroorganizmaların üremesi için gerekli olan karbon, azot ve diğer mikro ve makro besinleri içerir ve bu bileşenlerin oranı ürün oluşumunu doğrudan veya dolaylı olarak etkiler. C, H, O, N, S, P gibi makro besinler karbondhidratların, lipitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezinde kullanılırken, K, Ca, Mg, Fe hücrede katyonlar halinde bulunur ve birçok etkileri bulunmaktadır. Ek olarak, tüm mikroorganizmalar Mn, Zn, Co, Mo, Ni ve Cu gibi çeşitli mikro elementlere ihtiyaç duyar. Bunlar genellikle enzimler ve kofaktörlerin bir kısmı için önemlidir (Sperotto ve diğerleri, 2021).

Bakteriler, farklı karbon kaynaklarına sahip ortamlarda BS üretir. BS üretiminin verimliliği ve elde edilen BS yapısının özellikleri kullanılan karbon kaynağına göre değişiklik göstermektedir. Gliserol, mannitol, früktoz, sakaroz, galaktoz ve glikoz karbon kaynakları kullanılarak HS ortamında yapılan bir çalışmada, karbon kaynaklarının BS yapısında bulunan lif çaplarında değişikliklere sebep olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yine aynı çalışmada, gliserol kullanılarak elde edilen BS liflerinin daha kalın ve galaktoz kullanılarak elde edilen liflerin ise diğer karbon kaynaklarından elde edilen liflere göre daha ince yapıda oldukları belirtilmiştir (Mikkelsen ve diğerleri, 2009). İlgili literatürde yapılan çalışmalarda farklı karbon kaynakları kullanılmasının amacının sadece BS verimi



ve BS yapısındaki istenilen özellikleri arttırmak değil, aynı zamanda üretim maliyetlerini düşürmek olduğu belirtilmiştir (Sperotto ve diğerleri, 2021).

Organik azot hücre metabolizmasında ve hücre üremesinde ana bileşen olduğundan, bakteri selüloz sentezi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. BS üretiminde maya özütü, amonyum sülfat, pepton, polipepton, amonyum dihidrojen fosfat, kazein hidrolizat, sodyum glutamat, glisin, soya küspesi kullanılan azot kaynaklarından birkaçıdır (Ramana ve diğerleri, 2000; Çoban ve Bıyık, 2011; Santos ve diğerleri, 2013).

#### **2.4.1.3. Kültür Tekniği (statik, çalkalamalı)**

BS üç farklı kültür tekniği ile üretilmektedir. Bunlar statik, çalkalamalı ve biyoreaktör kültür (oksijenle zenginleştirilmiş hava tekniği, dönen bir disk yöntemi veya biyofilm desteği tekniği) teknikleridir (Andriani ve diğerleri, 2020). Bu kültür teknikleri ile elde edilen BS yapılarının morfolojileri, mikro yapıları ve özellikleri farklılıklar göstermektedir (Watanabe ve diğerleri, 1998; Ul-Islam ve diğerleri, 2015; Zywicka ve diğerleri, 2015; Singhsa ve diğerleri, 2018; Andriani ve diğerleri, 2020). Statik tekniğinde BS tabakası bakterilerin büyüdüğü sıvının en üst yüzeyinde jelatin benzeri tabaka halinde oluşurken, çalkalamalı kültür tekniğinde ise yıldız, küre, topak şekiller ve düzensiz formlarda BS yapıları elde edilmektedir (Andriani ve diğerleri, 2020). Hangi yöntemin tercih edileceği kullanım alanında istenilen fiziksel, morfolojik ve mekanik özellikler ile ilgilidir. Çizelge 2.3'te farklı kültür tekniklerinde üretilmiş olan BS yapılarının formları, kültür tekniklerinin avantaj ve dezavantajları ile kullanım alanları verilmiştir.

BS üretimi yapan bakteriler oksijen ortamında üretim sağlamaktadır. Üretimi sağlanacak kültür ortamında oksijen miktarının istenilen seviyede olması üretim verimliliği açısından önemlidir. Hatta çalkalamalı kültürün tasarımının arkasındaki temel fikir, kültür sırasında bakterilere oksijen verilmesini artırmak ve optimize etmektir (Wang ve diğerleri 2019).

**Çizelge 2.3.** BS üretiminde kullanılan kültür tekniklerinin özeti (Andriani ve diğerleri, 2020)

<b>Kültür Tekniği</b>	<b>BS Formu</b>	<b>Avantajlar</b>	<b>Dezavantajlar</b>	<b>Uygulamalar</b>
<b>Statik</b>	Hava-sıvı ara yüzeyinde oluşan jelatinimsi zarın şekli, kültür kabının şekline bağlıdır.	1.Nispeten basit teknik 2.Laboratuvar ölçeğinde BS oluşumu için en sık kullanılan teknik	1.Yüksek üretim maliyeti 2.Düşük üretim oranı 3.Oksijen dağıtımı doğrudan BS üretimi ile ilişkilidir.	1.Kan damarı; vasküler greftler (yoğun, ince tabakalar; iyi mekanik özellikler) 2.Mikrocerrahide sentetik kan damarları (Yüksek mekanik mukavemet ve kalıplanabilirlik, pürüzsüz iç yüzey)
<b>Çalkalamalı</b>	Lifli süspansiyonlar, topraklar veya düzensiz kütleler	1.Mikroorganizmalar için optimum oksijen iletimini sağlar 2. Farklı parçacık boyutları ve çeşitli şekillerde BS üretimi 3. Ekonomik ölçekli üretime uygun	1. Bazı hücrelerin selüloz üretmeyen mutantlara dönüşebilmesi 2.Bakterilerin genetik kararsızlığı 3. Düşük BS üretkenliği	1. Çeşitli madde türlerini adsorbe etmek veya çapraz bağlamak için bir taşıyıcı 2. Kanalizasyon arıtma için bir adsorban
<b>Modifiye edilmiş hava ikmalı Biyoreaktör</b> Zenginleştirilmiş oksijenli dahili döngülü hava ikmalı, Kontrollü pH ve karbon kaynağı ile dahili döngü hava ikmalı	Eliptik pelet	1.Yüksek oksijen aktarım hızı, 2.Düşük güç gereksinimi, 3. Daha yüksek üretkenlik	1. Mekanik mukavemet eksikliği 2.Viskoz sıvı besiyeri ile kullanım için uygun değildir.	Endüstriyel uygulama alanları, olarak: 1.Biyomedikal doku mühendisliği 2.Yara pansuman veya doku mühendisliği iskeleleri 3.Kağıt restorasyonu 4.Ambalaj endüstrisi 5.Kemik dokusu mühendisliği 6.Biyosensörler
<b>Döner disk sistemi</b>	Jelatin zar, pelet	1.Daha yüksek verimlilik 2.Daha yüksek çekme mukavemeti, 3.Ticari üretimi karşılamak için büyütülmesi kolay	1. Statik kültüre kıyasla önemli bir verim artışı olmaması.	1.Doku mühendisliği 2.Manyetik kâğıt, hoparlör 3.Yakıt hücreleri 4.Ambalaj endüstrisi
<b>Biyofilm desteği</b>	Selülozdan bükümlü şerit	1.Daha düşük üretim maliyeti ile daha yüksek biyokütle yoğunluğu 2.Batık fermantasyonun yüksek hacimsel verimliliği, 3.Daha iyi termal performans	1.Daha düşük kristallik 2.Daha düşük su tutma yeteneği	1.Yapay kaslar, yapay kan damarları gibi insan biyolojik sistemi için biyomalzemeler 2.Sensörler, esnek elektrotlar ve esnek ekranlar

#### 2.4.1.4. Bakteri Çeşidi

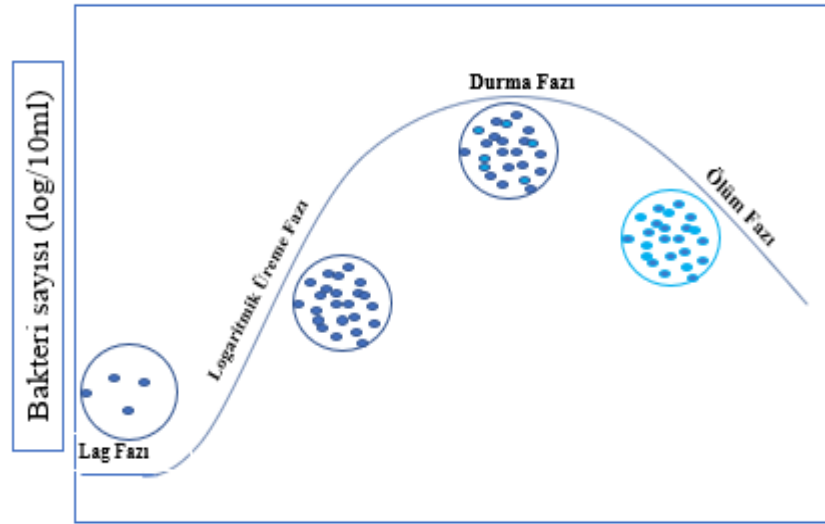
Farklı bakterilerden BS üretimi yapılmaktadır. Ancak bunların arasında en yaygın olarak bilinen ve kullanılan asetik asit bakterileri (AAB) grubuna ait *Komagataeibacter xylinus* türüdür. AAB,  $\alpha$ -Proteobacteria olarak sınıflandırılan aerobik Gram-negatif bakterilerdir. Türler uzun yıllardır *Acetobacter xylinum* olarak biliniyordu, ancak daha sonra *Gluconacetobacter xylinus* olarak sınıflandırılmış ve daha ileri taksonomik değişiklikler nedeniyle son olarak *Komagataeibacter xylinus* olarak yeniden sınıflandırılmıştır (Gorgieva ve Trček, 2019). *K. xylinus*, AAB arasında BS üretimi için muazzam bir potansiyele sahip tek tür değildir, çünkü *Komagataeibacter hansenii*, *Komagataeibacter medellinensis*, *Komagataeibacter nataicola*, *Komagataeibacter oboediens*, *Komagataeibacter rhaeticus*, *Komagataeibacter*, *sacagataeibacter* gibi diğer türler de güçlü selüloz üreticileri olarak belirtilmiştir. AAB'yi selüloz üretimi için kullanmasının sebebi güvenilir olarak kabul edilmesidir. Farklı bakteriler tarafından üretilen BS'lar farklı morfolojiye, yapıya, özelliklere ve uygulamalara sahiptir. Çizelge 2.4'te selüloz üretimi yapan bazı mikroorganizmalar ve selülozun biyolojik görevleri verilmiştir.

**Çizelge 2.4.** Selüloz üretimi yapan bazı mikroorganizmalar ve selülozun biyolojik görevleri (Jonas ve Farah, 1998; Erçalışkan, 2017)

Organizma (genus)	Selüloz yapısı	Biyolojik görev
<i>Acetobacter</i>	Ekstrasellular pelik	Aerobik ortamda tutmak
<i>Achromobacter</i>	Selüloz lifçikleri	Atık suda flokülasyon
<i>Aerobacter</i>	Selüloz lifçikleri	Atık suda flokülasyon
<i>Agrobacterium</i>	Kısa lifçikler	Bitki dokularına tutunmak
<i>Alcaligenes</i>	Selüloz lifçikleri	Atık suda flokülasyon
<i>Pseudomonas</i>	Belirgin lifçik yok	Atık suda flokülasyon
<i>Rhizobium</i>	Kısa lifçikler	Çoğu bitkiye bağlı
<i>Sarcina</i>	Amorf selüloz	Bilinmiyor
<i>Zoogloea</i>	Tanımlanmamış	Atık suda flokülasyon

#### 2.4.1.5. İnkübasyon Süresi

BS tabakası zaman bağılı olarak üremektedir. Genel olarak yapılan çalışmalarda en fazla 14 ve 15 günlük BS üretimleri gerçekleşmiştir ve selüloz üretiminin 14-15 günlük inkübasyon süresi sonrasında meydana geldiği belirtilmiştir (Speretto ve diğerleri, 2021; Wang ve diğerleri, 2019; Yanti ve diğerleri, 2018). Bunun yanı sıra inkübasyon süresi artışı ile birlikte BS tabakası kalınlığı da artmaktadır. Bakterilerin zamana bağılı olarak üreme eğrisi 4 farklı aşamadan oluşmaktadır. BS'nin zamana bağılı olarak büyüme eğrisi 4 farklı aşamadan oluşmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Bakterilerin zamana bağılı olarak üreme eğrisi (Wang ve diğerleri, 2019)

- Başlangıç Fazı (Süre, koşullara ve bakteri türlerine bağlıdır.)
- Üreme Fazı (Bakteri çeşidi, bakteri yoğunluğu ve koşullara bağlıdır.)
- Durağan Faz (Hücre üremesi=hücre ölümü, sabit bakteri popülasyonu)
- Ölüm veya Düşüş Fazı (Hücre sayısı azalır.)

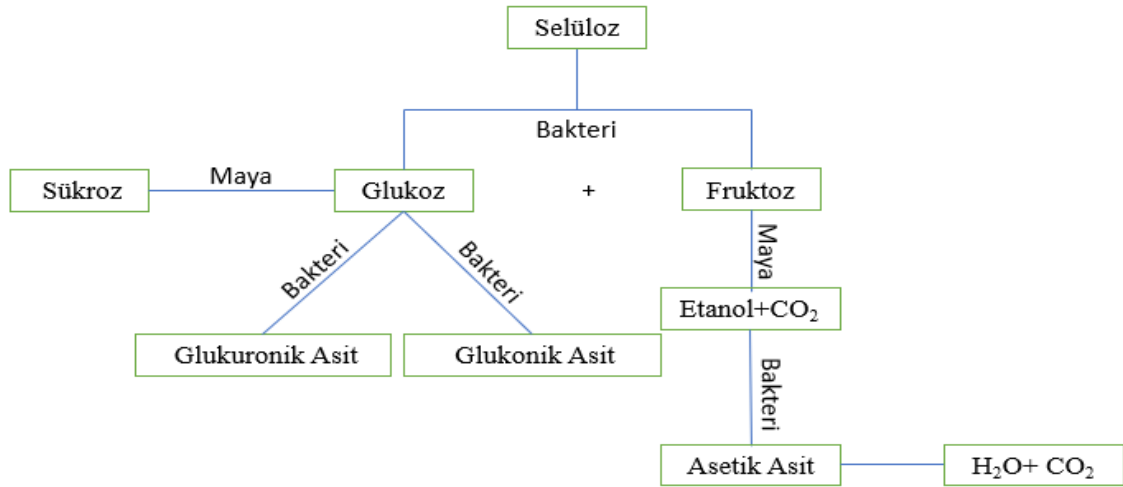
#### 2.4.1.6. BS Üretim Ortamları

Sıcaklık, pH, besin kaynağı (karbon ve azot kaynakları, mikro element), kültür durumu (statik, çalkalanmış, biyoreaktörler), oksijen iletimi, bakteri tipinin BS üretimini etkileyen en önemli parametreler oldukları yukarıdaki bölümlerde belirtilmiştir. Bu parametrelerin yanı sıra uygulamanın yapıldığı kültür ortamı da BS tabakası oluşumunda önemli bir etkidir.

HS (Hestrin-Schramm), Yamanaka, Zhou, maya ekstraktı, CSL (mısır likörü)-früktoz kültür ortamları, BS üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Kilinc ve diğerleri, 2021). Bu kültür ortamlarının yanı sıra BS üretiminde Luria–Bertani (LB), Heng Zhang (HZ), King's N (KB) kültür ortamlarının da tercih edildiği bilinmektedir. Bu kültür ortamlarının dışında, kombucha olarak bilinen bakteri ve mayaların simbiyotik konsorsiyumu (SCOBY) de BS üretmek için kullanılmaktadır. Kombucha, yaklaşık 2240 yıl önce antik Mançurya'da çayı fermente ederek alkolsüz içecekler üretmek için ilk kez kullanılmıştır (Jayabalan ve diğerleri 2014). Kombucha çözeltisi su, şeker, çay ve kombucha kültüründen (çay mantarı) oluşur (Kapp ve Sumner, 2019). BS tabakası, ilgili solüsyonun oda sıcaklığında, tercihen karanlık bir ortamda 1-3 hafta beklenmesiyle elde edilir. Bir SCOBY'deki mikrobiyal popülasyonlar değişebilir, ancak genellikle *Acetobacter* bakteri türlerini, çeşitli *Saccharomyces*'leri ve bir dizi maya türünü içerir (Kim ve Adhikari, 2020).

Arıkan (2018), Kombucha'nın mikrobiyal kompozisyonunu araştırdığı doktora tez çalışmasında, Kombucha fermantasyonu sırasında meydana gelen metabolik aktiviteleri açıklamıştır. Kombucha ortamında *Zygosaccharomyces* cinsinin tip türü olan *Z. bailii* fungusunun ve *Komagataeibacter* türüne ait bakterilerin bulunduğunu ve kombucha üretiminde bu iki yapının üretimi sağladığını belirtmiştir. Bu çalışma, *Z. bailii* ve *Komagataeibacter* türüne ait bakterilerin üretimdeki işlevleri sırası ile aşağıda gibi açıklamış ve kombucha fermentasyonu sırasında meydana gelen temel metabolik aktiviteler Şekil 2.4'te verilmiştir.

1. *Z. bailii*, fermentasyon başlangıcında eklenen sükrözü metabolize ederek glukoz ve früktoza çevirir. *Z. bailii*'nin karbon kaynağı olarak früktozu tercih ettiği belirtilmiştir. Bunun yanısıra *Z. bailii* früktozu etanole çevirir.
2. *Komagataeibacter* türüne ait bakteriler ise glukozu kullanarak glukonik asit, etanolü kullanarak da asetik asit üretir. Böylece Kombucha'nın asiditesi artar ve ortamdaki diğer mikroorganizmaların üremesi engellenmiş olur. Bunun yanısıra, *Z. bailii*'nin düşük asetik asit ya da laktik asit içeren ortamlarda daha hızlı büyüdüğü belirtilmiştir.
3. *Komagataeibacter* türüne ait bakteriler, ortamdaki glukoz ve früktozu kullanarak selülozik yapıdaki pelikül tabakasını üretmeye başlar. Yeni oluşmaya başlayan bu tabaka, sıvı yüzeyine doğru hareket eder ve bakterilerin oksijene erişimini artırarak, selüloz üretimini daha da fazla teşvik eder.
4. Ortamdaki asidite toksik hale geldiğinde ve besin miktarı azaldığında ise hem *Komagataeibacter* hem de *Z. bailii* popülasyonunda düşüş başlar.



**Şekil 2.4.** Kombucha fermentasyonu sırasında meydana gelen temel metabolik aktiviteler (Arıkan, 2018; Villarreal-Soto ve diğerleri 2018)

İlgili literatürde kombucha'nın kimyasal analizi sonuçları bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre ortamda asetik, glukonik, glukuronik, sitrik, L-laktik, malik, tartarik, malonik, oksalik, süksinik, pirüvik, usnik gibi organik asitler; ayrıca şekerler, sakaroz, glikoz ve fruktoz gibi; B1, B2, B6, B12 ve C vitaminleri; 14 amino asit, biyojenik aminler, pürinler, pigmentler, lipidler, proteinler, bazı hidrolitik enzimler, etanol, antibiyotik olarak aktif

madde, karbon dioksit, fenol ve ayrıca bazı çay polifenolleri, mineraller, anyonlar, sakkarik asit-1,4-lakton (DSL) ve ayrıca yeterince bilinmeyen maya ve bakteri ürünleri metabolitler bulunmaktadır (Jayabalan ve diğerleri, 2014). Çizelge 2.5'te de şekerli siyah çay infüzyonunda fermantasyonun sonunda kombucha çayındaki baskın bileşenler gösterilmiştir.

**Çizelge 2.5.** Şekerli siyah çay infüzyonunda fermantasyonun sonunda kombucha çayındaki baskın bileşenler (Jayabalan ve diğerleri, 2014)

Bileşen	Bileşen İçeriği(g/L)	İlk Sakkaroz (%)	Siyah Çay	Fermantasyon Sıcaklığı(°C)	Fermantasyon Süresi (Gün)
<b>Asetik Asit</b>	8	10	2 poşet	24±3	60
	4,69	10	çay	24±3	18
<b>Glukuronik asit</b>	0,0031	5	1,5g/L	28	21
	0,0026	7	1,5g/L	28	21
	0,0034	10	1,5g/L	28	21
	1,71	10	12 g/L	24±3	18
<b>Glukonik asit</b>	39	10	2 poşet	24±3	60
<b>Glukoz</b>	179,5	7	1,5g/L	28	21
	24,59	7	1,5g/L	28	21
	12	10	2 poşet	24±3	60
<b>Fruktoz</b>	76,9	7	1,5g/L	28	21
	5,40	7	1,5g/L	28	21
	55	10	2 poşet	24±3	60
<b>Kalan</b>	192,8	7	1,5g/L	28	21
<b>Sakkaroz</b>	11	10	2 poşet	24±3	60
	2,09	7	çay	28	21
			1,5g/L		

## **2.4.2. BS Saflaştırılması**

BS'un 3 boyutlu gözenekli bir nano yapısı bulunmaktadır. Bu yapının uygulamalar öncesi saflaştırılması gerekmektedir. Saflaştırmaya ihtiyaç duyulmasının sebebi nükleik asitler, şekerler ve girdi malzemeleri gibi fermantasyon yan ürünlerini uzaklaştırmanın yanı sıra yüzeyin bakterilerden temizlenmesi ve ağartılmasıdır (Zeng, 2014; Laavanya ve diğerleri 2021).

Literatürde BS saflaştırma işlemi temizleme, ağartma ve kurutma olmak üzere 3 aşamada yapılmaktadır. (Amarasekara ve diğerleri, 2021).

### **2.4.2.1. Temizleme**

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde temizleme aşamasında üç farklı işlem uygulanmaktadır (Zeng, 2014). Bunlar sırası ile:

1. Etanol içerisine daldırılması
2. Saf su ile kaynatılması
3. NaOH ile işlem görmesi

Kültür ortamından çıkartılan BS tabakaları ilk olarak yüzeysel bir temizleme işlemi yapılması açısından etanol içerisine daldırılır daha sonrasında saf su ile kaynama sıcaklığında 40 dakika işleme tabi tutulur ve son olarak NaOH ile işleme tabi tutularak temizleme işlemi tamamlanmış olur (Zeng, 2014). İlgili literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı konsantrasyonlarda (%0,1-%5) ve farklı sıcaklıklarda (25°C -90°C) NaOH ile işlem yapıldığı görülmektedir. Han ve diğerleri (2019), çalışmalarında 25°C de %3 NaOH ile yapılan çalışmanın BS'nin nano özellikteki yapısını bozmadan temizlemenin tam manası ile yapıldığını belirtmişlerdir.

### **2.4.2.2. Ağartma**

Temizleme işlemi sonrasında açık kahverengi renkte bulunan BS tabakasının renginin beyaza dönebilmesi amacı ağartma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ağartma işlemi için



ilgili literatürde hem H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> hem de NaOCl ile uygulama yapıldığı görülmektedir (Song ve diğerleri, 2018; Amarasekara ve diğerleri, 2021). Han ve diğerleri (2018), çalışmalarında 90°C de %5'lik H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile yapılan çalışmanın daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

#### **2.4.2.3. Kurutma**

Uygulanacak olan kurutma sistemi elde edilen BS tabakasının fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Bu yüzden kurutma sisteminin uygulama yapılacak alana göre belirlenmesi önerilmektedir. Literatürde etüvde, mikrodalga fırında, oda sıcaklığında, liyofilizasyon ve süperkritik kurutma işlemleri ile yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Oda sıcaklığında yapılan kurutma ucuz, kolay olmasının yanı sıra zaman alıcı ve hava şartlarına bağlıdır (Zeng, 2014). Etüvde kurutma oda sıcaklığında kurutma işlemine göre daha hızlı uygulama imkânı sunmaktadır. Ancak etüvde ve oda sıcaklığında yapılan kurutma işlemlerinin kıyaslandığı bir çalışmada oda sıcaklığında yapılan kurutma işleminin malzemenin özellikleri açısından daha iyi olduğu belirtilmiştir (Rosyida ve diğerleri, 2020). BS kurutmada kullanılan bir diğer kurutma ise mikrodalga sistemidir. Mikrodalga kurutma sistemi ile kurutulmuş olan BS tabakasının etüvde kurutulan BS tabakası ile arasındaki farklılıkların araştırıldığı bir çalışmada, mikrodalga kurutma sistemi ile etüvde kurutulan BS tabakası arasında bir farklılık olmadığı buna ek olarak mikrodalga kurutmanın etüvde kurutmaya göre daha hızlı olduğu aktarılmıştır (Indriyati ve diğerleri, 2019).

Liyofilizasyon sistemi de yapılan çalışmalarda kullanılan kurutma sistemlerinden biridir. Etüv ve liyofilizasyon kurutma sistemlerinin kullanıldığı bir çalışmada ise liyofilizasyon uygulaması görmüş mamülün etüvde kurutmaya kıyasla kristalinitesinin, emiciliğinin ve mukavemetinin daha iyi olduğu belirtilmiştir (Pa'e ve diğerleri, 2014).

#### **2.4.3.BS'un İşlenmesinde Kullanılan Çözücüler**

Tekstil alanında BS üzerine yapılan çalışmalarda BS tabakaları doğal, modifiye veya rejenere formlarında değerlendirilmeye çalışılmıştır ( Kilinc ve diğerleri, 2021). Rejenere BS üretimi için çözünme ve katılaşma süreçleri gereklidir. Bazı çözücülerin BS'u

çözebildiği farklı çalışmalarda belirtilmiştir. Bu çözücüler, lityum klorür/N, N dimetilasetamid (LiCl/DMAc) (etanol, metanol, su ve su/DMAc içinde katılma), NaOH/üre sulu çözeltisi (CaCl<sub>2</sub> sulu çözeltisinde katılma), iyonik sıvılar (suda, etanol veya aseton içerisinde katılma), N-metil morfolin-N-oksit (NMMO) (su ve su/NMMO karışımı içerisinde katılma) ve çinko klorür sulu çözeltisidir (ZnCl<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O) (mutlak alkol, aseton ve sulu alkol içerisinde katılma) (Łaskiewicz, 1998; Lima ve diğerleri 2009; Shen ve diğerleri, 2010; Pandey ve diğerleri, 2014; Sayyed ve diğerleri, 2019; Makarov et al. 2020).

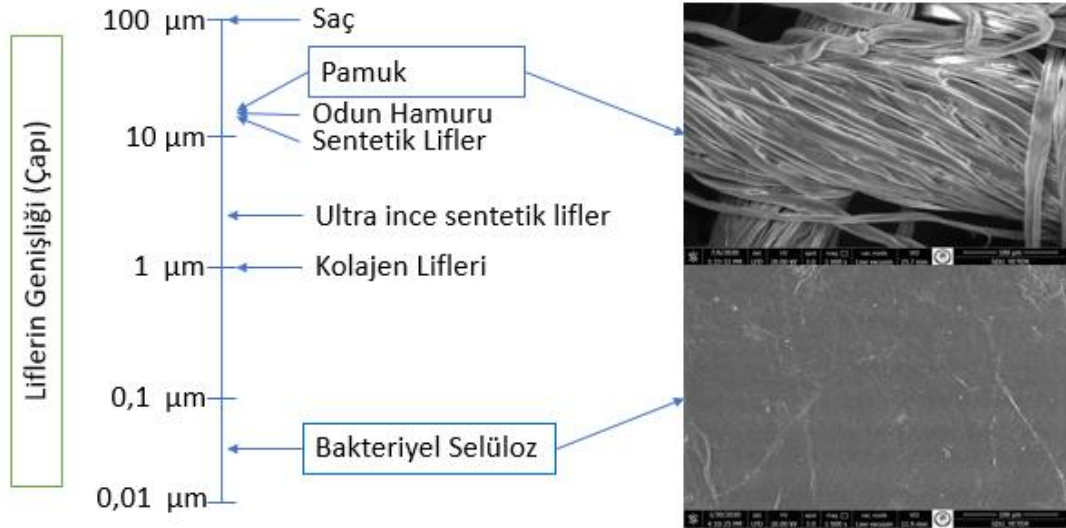
Selüloz, DMAc/LiCl birlikte çözücü sisteminde çözündüğünde, selülozun hidroksil protonlarının Cl<sup>-</sup> ile güçlü hidrojen bağları oluşturduğu ve bu sırada selülozun moleküller arası hidrojen bağ ağlarının Li<sup>+</sup>-Cl<sup>-</sup> iyon çiftlerinin eş zamanlı bölünmesiyle kırıldığı bulunmuştur. Aynı zamanda, Li<sup>+</sup> katyonları, elektrik dengesini sağlamak için hidrojen bağlı Cl<sup>-</sup>'ye eşlik eden serbest DMAc molekülleri tarafından ayrıca çözülür. Daha sonra selüloz zincirleri, homojen bir çözelti oluşturmak için solvent sisteminde moleküler düzeyde dağılır ve böylece çözülmüş olur (Zhang ve diğerleri, 2014).

#### **2.4.4. Bakteriyel Selülozlar ve Bitkisel Selülozlar Arasındaki Farklar**

Hem bitki bazlı selüloz hem de BS kimyasal yapılarının aynı olmasına rağmen, aralarında saflık, makro moleküler ve karakteristik özellikler açısından önemli farklılıklar bulunmaktadır (Chen, 2015). Bitkisel selüloz lignin ve hemiselüloz gibi polisakkaritleri bünyesinde bulundurmaktadır. Saf selülozun bitkisel selülozdan elde edilebilmesi ancak fiziksel ve kimyasal ayrıştırma ve bazı saflaştırma işlemleri ile meydana gelmektedir (Naomi ve diğerleri, 2020). Bu işlemlerde hem ekonomik olarak pahalı hem de kimyasal ve su tüketiminden dolayı çevresel açıdan çok uygun sistemler değildir. Bitkisel selülozun aksine BS ise yüksek saflıkta ve kristalinetede bir biyopolimerik yapıdır (Reis ve diğerleri, 2019). Saf olmasının yanı sıra, yüksek polimerizasyon derecesine, yüksek su tutma kapasitesine, yüksek mukavemete, yüksek kristalineteye, essiz bir nanoyapıya sahiptir (de Amorim ve diğerleri, 2020). Bakteriyel selüloz ile bitkisel selülozun özellikler açısından kıyaslaması Çizelge 2.6'da ve Şekil 2.5'te verilmiştir.

**Çizelge 2.6.** Bakteriyel selüloz ile bitkisel selülozun özellikler açısından kıyaslaması (Wang ve diğerleri, 2019)

Özellikler	Bakteriyel Selüloz	Bitkisel Selüloz
Çekme Mukavemeti (MPa)	20-300	25-200
Young Modülü (MPa)	Tabaka: 20000 Tek Lif :130000	2,5-0,170
Su Tutma Kapasitesi (%)	>95	25-35
Liflerin Çapı(nm)	20-100	Mikrometre ölçeğinde
Kristalinite (%)	74-96	40-85
Bağul Hidrofilite (%)	40-50	20-30
Safılık (%)	>99	<80
Polimerizasyon derecesi	14000-16000	300-10000
Gözeneklilik (%)	>85	<75
Total Yüzey Gerilimi(m <sup>2</sup> /g)	>150	<10



**Şekil 2.5.** Doğal ve yapay lifler ile bakteriyel selüloz liflerinin çaplarının karşılaştırılması ve 1000x büyütme pamuk kumaş ve BS tabakası (Yoshinaga ve diğerlerinde 1997'den değiştirilerek alınmıştır)

#### 2.4.5.BS Kullanım Alanları

BS üstün özelliklerinden dolayı endüstrinin farklı alanlarında hali hazırda kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, farklı kullanım alanlarının da araştırılması ile birlikte gün geçtikçe kullanımının artacağı öngörülmektedir (Laavanya ve diğerleri, 2021).

BS'nin hangi alanlarda hangi özelliğinden dolayı tercih edildiği Çizelge 2.7'de verilmiştir.

**Çizelge 2.7.** BS'nin avantajları ve kullanım alanları (Andriani ve diğerleri, 2020)

BS'nin avantajları	Uygulama Alanı	BS Uygulamaları	Ortak Kullanılan Kimyasallar
İyi biyolojik afinite	Biyo medikal	Yara iyileşme süreci, antimikrobiyal yara örtüsü, diş implantı bileşeni, ilaç taşıyıcı sistem, ilaç yardımcı maddesi, doku mühendislik, kan damarı değiştirme, biyosensör	Koniferil alkol, çinko oksit nanoparçacık, kitosan, aljinat, polidimetilsiloksan, tizanidin
Biyouyumluluk			
Biyoparçalanabilirlik			
Yüksek gözeneklilik	Kozmetik	Emülsiyon stabilizatörü	
Mükemmel esneklik	Tekstil endüstrisi	Spor kıyafetleri, gelişmiş yara pansuman malzemeleri	
Kalıplanabilirlik	Madencilik	Sızan yağı toplamak için sünger, toksin emici malzemeler	
Yüksek su tutuma kapasitesi			
Yüksek saflık			
Parçalanmaya karşı yüksek direnç	Atık arıtma	Minerallerin ve yağların geri dönüşümü	TiO <sub>2</sub> nano parçacıkları
Mükemmel kristalinite	İletişim	Ses hoparlörü için diyaframlar	Demir (III) Oksit Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Çeşitli şekillerde bulunabilme	Gıda Endüstrisi	Kıvam arttırıcı ajan, stabilize edici ajan, süspanse edici ajan, düşük kalorili gıda içerik ürünü, düşük kolesterol ürünü, gıda ambalaj malzemesi	Sığır laktoferrin (bLF), polivinilpirolidon (PVP), narenciye uçucu yağlar
Yüksek polimerizasyon derecesi			
Küçük boyut olması	Kâğıt Endüstrisi	Ahşabın, bükülmeye dayanıklı kağıtların ve yüksek dolgu içerikli kağıtların yapay olarak değiştirilmesi	Glikoz-6-fosfat
	Elektronik	Optoelektronik malzemeler (sıvı kristal ekranlar), tıbbi implantlar için güç kaynağı	Aramid nanofiberler (ANF), dietilen glikol bis(allil karbonat) polimer (DEAC), dimetilasetamid (DMAc), Grafit nanoplatelet
	Enerji	Membran yakıt hücresi	Poli(4-stiren sülfonik asit) (PSSA), N-bütülguanidinyum tetrafloroborat, polianilin

## 2.4.6.İlgili Çalışmalar

### 2.4.6.1. Genel çalışmalar

BS, tıp, ilaç, gıda, kozmetik, kâğıt, elektronik ve tekstil endüstrilerinde kullanım alanları halen araştırılan ve gelecekte bu alanlarda birçok uygulamada karşımıza çıkacağı ön görülen bir biyopolimerdir.

Üstün özellikleri nedeniyle farklı endüstrilerde incelenen BS, tekstil endüstrisi içinde önemlidir. Tekstil endüstrisinde BS üzerine hem endüstriyel hem de laboratuvar ölçeğinde çalışmalar yapılmaktadır. BS tabakası ayrıca BS dokunmamış yüzey veya biyo dokunmamış yüzey olarak tanımlanır. BS ilk kez 2004 yılında İngiliz moda tasarımcısı Suzanne Lee ve biyomalzeme uzmanı Dr. David Hepworth tarafından tekstil yüzeyi olarak kullanıldı. Projelerinde statik bir Kombucha kültürü ortamında BC tabakasının üretimini gerçekleştirmişlerdir. BC'nin tekstil yüzeyi olarak kullanıldığı öncü projede geleneksel kesim ve dikim işlemleriyle gömlek, ceket ve kimono üretilmiştir.

Bu çalışmanın dışında ilgili literatür incelendiğinde BS yapısından kompozit, 3 boyutlu giysi, aksesuar, elyaf ve iplik üretimi ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bunlara ek olarak, farklı apre işlemlerinden sonra BS'un tekstil ürünü olarak kullanıldığında estetik açıdan çekici ve giyilebilir olma özelliklerini araştıran çalışmalar da bulunmaktadır.

Chen ve diğerleri (2009), çalışmalarında BS üretimi yapmışlar ve üretimini sağladıkları BS yapılarını dimetilasetamid/lityum klorür içerisinde çözmüşler ve daha sonrasında bu çözelti içerisine çok duvarlı karbon nanotüp(ÇDKN) eklemişlerdir. Çözündürme işlemi sonrasında RBS/ÇDKN lifi üretebilmek amacı ile kuru jet ıslak eğirme metoduna göre lif çekim işlemi yapmışlardır. Üretim sağladıkları lifin elektriksel iletkenliğini, mukavemetini, yüzey özelliğini analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda, ÇDKN'lerin lif içerisinde homojen dağılmış olduğunu, lifin modülünü ve elektriksel iletkenliğini arttırdığını ve bu özelliklerinden dolayı tıp, mekanik ve elektrik uygulamalarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Chen ve diğerleri, 2009).

Gao ve diğeri (2011), çalışmalarında bakteriyel selüloz (BS), N-metilmorfolin-N-oksit monohidrat (NMMO·H<sub>2</sub>O) içinde çözmüş ve daha sonrasında yaş çekim metoduna uygun olarak su içerisinde katılaşma sağladıktan sonra rejenere BS liflerini elde etmişlerdir. Rejenere BS liflerinin yapısı ve özelliklerini, taramalı elektron mikroskobu (SEM), fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR), x-ışını kırınımı (XRD), termogravimetrik analiz (TGA) ve tek filament elektrik mukavemet test cihazı gibi farklı tekniklerle karakterize etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda RBS liflerinin dairesel bir yapıya sahip olduğunu, yapısal olarak BS ve RBS yapılarının benzer olduğunu, RBS liflerinin, doğal BS'ye göre selüloz II kristal yapıya, daha düşük kristallik derecesine, daha küçük kristalit boyutlarına ve daha iyi termal stabiliteye sahip olduğunu ve RBS liflerinin çekme mukavemetinin 0,5–1,5 cN/dtex ve kopma anındaki uzamasının %3–8 olduğunu belirtmişlerdir (Gao ve diğeri, 2011).

Lu ve Shen (2011), çalışmalarında bs tabakasını ZnCl<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O (Çinko klorür su çözeltisi) çözeltisi içerisinde çözmüşlerdir. Çözme işlemi sonrasında yaş eğirme metodu ile bs yapısının lif haline gelebilmesi amacı ile 3 farklı koagülasyon banyosundan (saf alkol, aseton ve alkol su karışımı) geçirmişlerdir. Elde ettikleri lifleri 24 saat boyunca saf su ile yıkadıktan sonra 60 °C 'de 12 saat vakumlu kurutucuda kurutmuşlar ve daha sonrasında termal, mekanik ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda rejenere BS lifi üretimi esnasında selüloz I yapılarının selüloz II ye dönüştüğünü, elde edilen liflerin kopma mukavemeti ve kopma uzamalarının düşük olduğunu, üretilen liflerin yüzeyinde çatlaklar olduğu ve yuvarlak bir yanal kesite sahip olduklarını ve termal stabilite açısından RBS yapılarının BS yapılarına göre daha düşük termal stabiliteye sahip olduklarını belirtmişlerdir. Bunlara ek olarak çözünme süreci ve eğirme parametrelerini optimize edilerek elde edilen liflerin özelliklerinin geliştirilebileceğini aktarmışlardır (Lu ve Shen, 2011).

Ashjari ve diğeri (2012), çalışmalarında BS tabakasını biyo-nano kumaş olarak adlandırmışlardır. Çalışma içerisinde BS üretim yöntemlerini, BS'nin yapısal özelliklerini, saflaştırma işlem basamaklarını ve uygulama alanlarını açıklamışlardır. Acetobacter suşlarından üretilen BS yapısının, yüksek kristal, yüksek saflık, yüksek su tutma kapasitesi, geniş yüzey alanı, mekanik mukavemet ve biyouyumluluk dahil olmak

üzere benzersiz fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin var olduğunu belirtmişlerdir. Biyo-dokunmamış kumaş olarak BS, yüksek kaliteli kâğıt, özel ayırma membranları, dokunmamış kumaş, yara, tıbbi pedler, suni cilt, filmler, malzeme kaplama, hoparlör şemaları ve birçok yüksek performans ve ürünlerin üretiminde kullanıldığını ancak üretimde kullanılan hammaddelerin fiyatlarının pahalı olduğu belirtmişlerdir. Üretimin yaygınlaşması için bu sorun üzerine odaklanılması gerektiğini aktarmışlardır (Ashjarian ve diğerleri, 2012).

Araújo ve diğerleri (2015), çalışmalarında tekstil endüstrisinde potansiyel uygulama alanı olan bir malzeme elde etmeye amacı ile su itici veya hidrofobik (DyStar- EVO Wet Fest) BS üretmeyi hedeflemişlerdir. Bunun yanı sıra, BS esnekliğini geliştirmek için yumuşatıcı maddeleri (EVO Soft Pen) ile uygulamalar yapmışlardır. Malzemeyi öncelikli olarak yumuşatıcı içerisine daha sonrasında ise hidrofob kimyasal içerisine daldırmışlar ve uygulama sonucunda daha homojen ve hidrofob bir yüzey elde etmişlerdir. Bu sonuçlara göre, hidrofobik BS'nin giyim, döşeme ve diğer iç tasarım malzemelerinde uygulanabileceğini belirtmişlerdir (Araújo ve diğerleri, 2015).

Wood ve diğerleri (2015), çalışmalarında BS kumaş üretimi için fermantasyon koşullarının etkilerini (iki farklı şeker konsantrasyonu (%10, %20), 3 farklı tip çay (siyah, kırmızı ve yeşil), 4 farklı kuluçka süresi (1 hafta, 2 hafta, 3 hafta ve 4 hafta)), BS kumaşların fiziksel ve mekanik özelliklerini ve doğal olarak renkli olabilecek BS kumaş üretme olasılığını araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda üç farklı çay tipinde de BS kumaş üretimi sağlanabildiği, fermantasyon süresi arttıkça kalınlık artarken şeffaflığın azaldığı, siyah çayın ürettiği kumaş renginin açık kahverengi, yeşil çayın renginin olmadığı ve kırmızı çayın renginin soluk pembe olduğu, %10'luk şeker konsantrasyonunun daha fazla üretim sağladığı, doğal boyalar ile BS kumaş üretilirken fermantasyon sürecinde renk verilebildiği belirtilmiştir. Bunların yanı sıra, %20 şeker konsantrasyonunda siyah çay ile elde edilen BS tabakasının mukavemet ve uzama değerlerinin tüketici tarafından kullanılan dokunmamış yüzeylere göre daha iyi olduğu ve yırtılma mukavemeti ve sertliğinin ise piyasadaki dokunmamış yüzeyler ile yakın değerlere sahip olduğu belirtilmiştir (Wood ve diğerleri, 2015).

Frankie ve Wang (2015), çalışmalarında farklı azot kaynakları (siyah çay, yeşil çay, bira, kırmızı şarap, hindistan cevizi suyu ve süt), farklı kuluçka sürelerinde (4, 6 ve 8 gün) ve farklı konsantrasyonlarda (5g/l, 10g/l ve 15g/l) statik kültür ortamında BS üretimi yapmışlardır. Üretim sonucunda elde edilen ürünlerin konfor özelliklerinin belirlenebilmesi amacı ile 150 kişiden her bir ürünün tutum, esneklik, nefes alabilirlik, renk ve doku görünümü hakkında değerlendirme alınmış ve bu değerlendirme sayısal verilere dökülerek en iyi ve kullanışlı BS yüzeyini elde etmeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda 15 g/l'lik yeşil çay konsantrasyonuna sahip çözeltiden 6 gün sonra elde edilen BS tabakasının konfor ve görünüm açısından en iyi ürün olduğunu belirtmişlerdir (Frankie ve Wang, 2015).

Frankie ve Wang (2016), çalışmalarında farklı konsantrasyonlarda ve farklı azot kaynakları kullanılarak elde edilen çözeltilerin hangilerinde elde edilen BS tabakasının moda endüstrisi için daha uygun olduğunu ve BS'dan 2 ve 3 boyutlu tasarımların nasıl yapılacağını araştırmışlardır. Bu çalışma neticesinde çalışmada araştırdıkları fiziksel özelliklere (pürüzsüzlük, sertlik, esneklik gerilme direnci, büyüme zamanı, yapışkanlık) göre moda endüstrisinde kullanıma en uygun BS tabakalarının yeşil çayın azot kaynağı olarak kullanıldığı ortamlardan elde edildiğini belirtmişlerdir. Farklı konsantrasyonlarda üretilen yeşil çay çözeltilerinden ise moda endüstrisi açısından en uygununun 15 g/L'lik çay çözeltisinin olduğunu da açıklamışlardır. Bunların yanı sıra, üretmiş oldukları 3 boyutlu tasarımlar neticesinde ise bu sistemin dokunmuş ve örülmüş kumaşlardan kıyafet üretimine göre daha ucuz olduğunu da belirtmişlerdir (Frankie ve Wang, 2016).

Yim ve diğerleri (2016), çalışmalarında çevre dostu ve sürdürülebilir bir kumaş elde etmek için BS üretmeyi amaçlamışlardır. Dört farklı çay ve karbon kaynağının, BS üretimi üzerindeki (üretim verimi, kumaş kalınlığı, görünüm ve selüloz yapıları gibi BS kumaşların üretimi ve karakterizasyonu) etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, en yüksek üretim verimini yeşil çay ve sakaroz ile elde ettiklerini, elde edilen en yüksek kristallik %74,26 ± 5.24 olduğunu, FTIR analizi sonucunda elde edilen spektrumların selüloz ile benzer olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlara göre BS dokunmamış yüzeyinin sadece görünümünün deriye benzer olduğu ve dayanıklılığının artırılması gerekliliği açıklanmıştır (Yim ve diğerleri, 2016).



Costa ve diğeri (2017), BS adlı çalışmalarında bakteriyel selüloz tabakasını BS dokunmamış yüzeyi olarak tanımlamışlardır. Bunun yanı sıra, BS yapısının nano bir yapıya, yüksek bir polimerizasyon derecesine sahip olduğu ve mekanik özelliklerinin iyi olduğunu belirtmişlerdir. Ancak BS yapısının tekstil endüstrisinde henüz büyük ölçekli bir üretiminin yapılmadığını aktarmışlardır. Tarımsal endüstriyel atıklar ve düşük maliyetli hammaddelerin BS üretiminde kullanımının artırılmasının büyük ölçekli üretime olanak sağlayacağını açıklamışlardır (Costa ve diğeri, 2017).

Harmon ve diğeri (2017), çalışmalarında BS tabakası üretmişlerdir. Bu işlem sonrasında numunelerin hepsini temizleme işlemine tabi tutmuş ve daha sonrasında numuneleri bir kısmını gliserol içinde bekletmişlerdir. Bu uygulama sonrasında numunelere iki farklı kurutma sistemi (Liyofilizasyon ve hava kurutma) uygulamışlar ve bu malzemelerin konfor ve estetik açıdan tekstil uygulamalarında kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda herhangi bir ön işlem yapılmadan hava ile kurutma sağlanan numunelerin tekstil malzemesi olarak uygun bir malzeme olmadığını belirtmişlerdir (Harmon ve diğeri, 2017).

Quijano (2017), çalışmasında BS üretimi, üretimi etkileyen parametreleri, BS'nin özellikleri ve tekstil endüstrisinde kullanımı açısından yapılmış olan çalışmaları incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda BS'nin potansiyeli yüksek bir malzeme olduğu ancak ticari bir ürüne dönüşebilmesi için bazı özelliklerinin geliştirilmesi, uygun maliyetli büyüme ortamlarının kullanılması, büyüme döngüsünün kısaltılması ve iyileştirilmesi, seri üretim için endüstriyel bir mekanizmanın ve malzemenin kullanılması için alternatif bir tasarım oluşturulması gerekliliklerinden bahsetmiştir (Quijano, 2017).

Wang ve diğeri (2017), çalışmalarında BS tabakaları üretmişler ve daha sonrasında bu tabakalardan 7 mm × 70 mm boyutlarında dikdörtgen şeritler kesmişlerdir. Yaş olarak kesmiş oldukları şeritleri %0, %10, %20 ve %30 gerginlikte gerdirmiş ve daha sonrasında gerdirilen bu şeritleri iplik formuna getirebilmek amacı ile ıslak büküm işlemine tabi tutmuşlardır. Yaş halde işlem görmüş olan numuneler daha sonra kurutma işlemi

uygulamışlardır. Elde etmiş oldukları bu BS iplikleri mukavemet açısından selüloz tabanlı ipliklerle, ipekle ve düşük ağırlıklı çelik ile kıyaslamışlardır. BS makroliflerinin, diğer liflere göre rekor bir gerilme mukavemetine (826 MPa'ya kadar) ve düşük yoğunluklu metalden daha üstün olan olağanüstü spesifik Young modülüne (36.4 GPa g<sup>-1</sup> cm<sup>3</sup>) sahip olduğunu belirtmişlerdir (Wang ve diğerleri, 2017).

Song ve diğerleri (2018), çalışmalarında üretmiş oldukları BS tabakalarına *Myceliophthora thermophila*'dan elde ettikleri lakkaz enzimini uygulamışlardır. Bu işlem sonrasında BS yüzeylerine katekol ve kateşin fenolik grupları ile farklı konsatrayonlarda boyama işlemi uygulanmışlardır. Enzimatik işlem uygulanıp boyanan ve işlem uygulanmadan boyanan BS numunelerinin yıkamaya karşı renk haslığı ve renk mukavemeti değerlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda enzim işlemi görmüş ve sonra boyanmış olan numunelerin yüksek renk derinliği ve yıkama direncine sahip olduğu, oldukça gözenekli BS materyalinin, pamuk veya yün gibi literatürde belirtilen diğer materyallerin aksine, biyo-renklendirme desteği olarak büyük performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra, geliştirilen bu sürecin, BS biyo-renklendirmesi için çevre dostu bir alternatif olacağı ve bu malzemenin yeni moda ürünlerinin geliştirilmesine derinden katkıda bulunacağı belirtilmiştir (Song ve diğerleri, 2018).

Chan ve diğerleri (2018), çalışmalarında gelecekte BS ile tekstilde yapılacak olan çalışmalara ışık tutmak amacı ile BS yüzeylerini iki farklı yetiştirme tekniği (panel şeklinde ve temas yüzeyi engelleme) ile büyütmüşler ve bu yüzeylerden gömlek üretimi sağlamışlardır. Bu iki farklı yetiştirme tekniğinde kullanılan her bir kalıptan elde ettikleri ürünü ürettikleri gömleğin bir parçası olarak kullanmışlardır. Çalışma sonucunda bu tarz yetiştirme teknikleri ile BS yetiştirilerek elde edilen parçalar için direk olarak kesime ihtiyaç duyulmadığı ve bundan dolayı kesim sonrası atık malzeme ortaya çıkmayacağından bu uygulamaların israfı azalttığı ve bu tarz uygulamaların araştırılmalar arttıkça daha da önem kazanacağını belirtmişlerdir (Chan ve diğerleri, 2018).

Costa ve diğerleri (2019), çalışmalarında mekanik özellikleri iyi, doğal boyanmış ve estetik açıdan değerli BS üretebilmek amacı ile bitki bazlı doğal boyalar (*Clitoria*

*ternatea L.* ve *Hibiscus rosa-sinensis*) ile BS tabakasını boyamaya çalışmışlardır. Boyanış olan olan numunelere SEM, TGA, mukavemet ve XRD analizleri yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda yapmış oldukları boyama işleminin, BS'nin kristalliğini, termal stabilitesini ve mekanik gücünü koruduğunu, SEM analizi ile boyaların yüzey ile uyumlu olduğunu ve mekanik özelliklerinden dolayı farklı alanlarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Costa ve diğerleri, 2019).

Shim ve Kim (2019), çalışmalarında BS yapısını iki farklı metotla direk, reaktif ve asit boyarmaddeler ile boyamışlardır. Birinci metotta yetiştirme ortamına boya ilavesi yapmışlar ve ikinci ise yetiştirme işlemi bittikten sonra ön işlemden geçirerek BS tabakasını boyamışlardır. Boyama işlemi sonucunda numunelerin yüzey özelliklerini (SEM, TEM), yıkama sonrası renk haslıklarını, renk mukavemetlerini ve değerlerini ölçmüşlerdir. SEM ve TEM analizleri sonucunda boyarmaddenin yüzeye homojen bir şekilde nüfus ettiği ve yetiştirme işlemi yapılan boyama işlemi sonucunda elde edilen BS tabakasının daha az pürüzlü olduğunu açıklamışlardır. Bunun yanı sıra, ton ve doyumluk olarak renk değerlerini karşılatırmışlar ve yetiştirme işlemi yapılan boyama işlemi sonucunda elde edilen BS tabakasının daha net renler verdiğini belirtmişlerdir (Shim ve Kim, 2019).

Domskiene ve diğerleri (2019), çalışmalarında statik yetiştirme koşulları altında BS filmi üretmek için kombucha mantarı kullanmışlardır. Araştırmacılar, BS malzemesi için en uygun kurutma sıcaklığını belirlemek amacı ile farklı kurutma sıcaklıklarında kurutulan BS'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Çalışma sonucunda düşük sıcaklıklarda (yaklaşık 25°C) yapılan kurutmanın yapının gözenekli yapısını, mukavemetini ve deformasyon özelliklerini koruduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra, yaşlandırma deneyi sonucunda malzemenin düşük sıcaklıklarda (+4 °C civarı) depolanmasının malzeme özelliklerinde daha az değişime sebep olduğu için daha uygun olduğunu aktarmışlardır. Bu sonuçlara ek olarak, malzemenin moda endüstrisinde estetik özellikler açısından tercih edilebileceği de belirtilmiştir (Domskiene ve diğerleri, 2019).

Fernandes ve diğerkleri (2019), çalışmalarında BS yapısına biçimlendirilebilir, nefes alabilir ve su geçirmez özellik kazandırılabilmesi amacı ile tekstil bitim işlemlerinde kullanılan Persoftal MS (polidimetilsiloksan) ve Baygard EFN (perflorokarbon) uygulanmıştır. Yapılan uygulama sonucunda elde edilen kompozit yapıların suyu geçirmediği ancak su buharını geçirdiği, mekanik özelliklerinin iyileştiği, bu basit ve uygun maliyetli işlemler ile hem tekstil endüstrisi için hem de ayakkabı endüstrisi için umut verici bir malzeme elde edildiği belirtilmiştir (Fernandes ve diğerkleri, 2019).

Harmon (2019), alışmalarında BS şeritlerine büküm vererek iplik haline getirmiş ve pamuk ipliği ile kıyaslamıştır. Bytmş olduğu BS tabakalarını temizleme işlemi sonrasında 4% glycerol, 1% germaben çözeltisi içerisinde bekletmiş ve sonrasında farklı kesim teknikleri kullanarak BS tabakasını şerit haline getirmiştir. Kesim işlemi sonrasında numuneleri Liyofilizasyon yolu ile kurutmuştur. retimi sağlanan BS iplik ile pamuk ipliğin kopma mukavemeti değerlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda büküm almış BS ipliklerinin mukavemetinin düştüğü ve bununla birlikte BS ipliklerin uzamalarının pamuk ipliğine göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir (Harmon, 2019).

Kim ve diğerkleri (2020), çalışmalarında polianilin(Pani) polimerini içerisine toz halinde bakteriyel selüloz(BS), metil selüloz(MES), hidroksipropil selüloz(HPS) ve karboksimetil selüloz(KMS) uygulamışlar ve selüloz tabanlı iletken kumaş üretmeyi amaçlamışlardır. Üretmiş oldukları kumaşların etkinliğinin ölçülmesi amacı ile yüzeylere elektrik iletkenliği, esneklik, kırılışlık giderme, FTIR, XRD ve FE-SEM analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, MS-PANI ve HS-PANI kumaşların BS-PANI kumaştan daha iletken olduğunu, BS-PANI'nin diğer selüloz tabanlı kumaşlardan daha az esnekliğe sahip olduğunu, MS-PANI kumaşın kırılışlık giderme açısından en iyi özelliği gösterdiğini belirtmişlerdir (Kim ve diğerkleri, 2020).

Harmon ve diğerkleri (2020), çalışmalarında 3 ana kültür ortamı (HS (Hestrin Schramm), HFCS (High Fructose Corn Syrup) ve MS(Molasses)) ve bu kültür ortamlarının 2 farklı varyasyonunda (ana kültür ortamlarına mannitol eklenerek varyasyon sağlanmıştır.) BS tabakası üretimi sağlamışlardır. retimi sağlanan BS tabakalarda 2 farklı kurutma sistemi (liyofizasyon ve hava kurutma) uygulamışlardır. Bu kuruma işlemi sonrası numunelerin

yarısına gliserol uygulaması yapmışlardır. Ortaya çıkan malzemelerin, selüloz verimi, mukavemeti, uzama ve aşınma direnci özelliklerini ölçmüşlerdir. Genel olarak mannitol içeren MS ortamının en fazla BS yetiştirdiğini, bunun yanı sıra mannitol içeren MS ortamında büyüyen BS'nin aşınmaya dayanıklı ve en güçlü olduğunu ve gliserol uygulanmış olan numunelerin kopma anındaki uzamalarının fazla olduğunu belirtmişlerdir. Giyimde daha yaygın olarak kullanılan bir selüloz kaynağı haline gelmesi için bu malzemenin eksikliklerinin giderilmesi gerektiğini de aktarmışlardır (Harmon ve diğerleri, 2020).

Wandscheer ve diğerleri (2021), çalışmalarında moda endüstrisinin çevreye duyarlı, sürdürülebilir, biyolojik olarak kolayca parçalanabilen, endüstri açısından umut verici, yenilikçi hammaddelere ihtiyaç duyduğu belirtmişlerdir. BS yapısının ise aranan bu yenilikçi yapılara örnek gösterilebilecek bir ürün olduğu belirtilmiştir. BS'un kalıp halinde üretiminin yapılabilmesinin kumaş konfeksiyonu esnasında kesim ve dikim işlemleri sonucunda oluşacak olan atık kumaş miktarını azaltacak bir sistem olmasının da bir avantaj olduğu belirtilmiştir. Ancak ürünün düzensiz estetik kalitesinin tekstil piyasasında şu an için kullanımını engellediği belirtilmektedir. Bu ürünün tekstil endüstrisinde kullanılabilmesi için renk seçeneklerini genişletmek ve giyim konforunu kısıtlamayan su geçirmezlik bitim işlemleri bulunmasına ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (Wandscheer ve diğerleri, 2021).

Jamsheera ve Pradeep (2021), çalışmalarında BS üretiminde kullanılan kültür ortamlarına, alternatif kültür ortamlarına, yetiştirme tekniklerine ve BS'nin kullanım alanlarını değinmişlerdir. Çalışmaları içerisinde BS yüzeyinin yüksek gerilme mukavemeti özelliğinden dolayı jeotekstil alanında kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Jamsheera ve Pradeep, 2021).

Fernandes ve diğerleri (2021), çalışmalarında akrilatlı epoksitlenmiş soya fasulyesi yağı içeren BS kompoziti elde etmişlerdir. Akrilatlı epoksitlenmiş soya fasulyesi yağını BS yüzeyine iki şekilde aktarmışlardır. Birinci uygulamada polimerizasyon işlemi emdirme işlemi öncesi yapılmış ve ikinci uygulamada polimerizasyon işlemi emdirme işlemi sonrasında yapmışlardır. Bu yapıların tekstil ve deri endüstrisinde kullanıma uygun olup

olmadığının belirlenebilmesi amacı ile malzemeye ıslanabilirlik, su buharı geçirgenliği (WVP), mekanik ve termal özellik testleri yapmışlardır. Çalışmalarında birinci sistem ile üretilen yüzeylerin daha yüksek WVP, çekme mukavemeti ve termal stabilite gösterdiğini ve ikinci sistem ile üretilen yüzeylerin ise yüksek derecede hidrofobik ve uzama özelliği olduğunu bildirmişlerdir (Fernandes ve diğerleri, 2021).

#### **2.4.6.2. Selüloz ve BS Kaplanmış Tekstil Yüzeyleri Üzerine Yapılan Çalışmalar**

Meftahi ve diğerleri (2010), çalışmalarında *Acetobacter Xylinium* bakterisi ile 6 gün boyunca statik bir ortamda (Hestrin & Scharm) pamuklu gazlı bez örnekleri üzerinde mikrobiyal selüloz üretimi gerçekleştirmişlerdir. İşlem görmüş gazlı bez numunelerinin su emiciliği, kuruma süresi (su tutma süresi) ve dikey emicilik miktarı gibi bazı temel faktörler belirlenmiş ve işlem görmemiş numunelerle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, mikrobiyal selülozlu pamuklu gazlı bezin, gazlı beze göre su emiciliği ve dikey emicilik kabiliyetinin %30'un üzerinde olduğunu ve kuruma süresinin yaklaşık %33 oranında daha az olduğunu belirtmişlerdir. Pamuklu gazlı bezin mikrobiyal selüloz ile kaplanmasının, özellikle yara örtüleri için önemli olabileceğini de aktarmışlardır (Meftahi ve diğerleri, 2010).

Mizuno ve diğerleri (2012), çalışmalarında BS yetiştirme ortamına multifiber kumaş, viskon ve Bemliese™ (%100 doğal pamuk linterinden Asahi Kasei firması tarafından üretimi sağlanan selülozik filament dokunmamış yüzey) dokunmamış yüzey yerleştirmiş ve kumaşlar ile büyüyen BS arasındaki ilgiyi, etkileşimi araştırmıştır. Çalışma sonucunda BS ile en fazla etkileşimin viskoz ve Bemliese™ dokunmamış yüzeyler arasında olduğunu, BS kaplanmış yüzeylerin daha parlak ve daha emici olduğunu ve bu malzemenin tıbbi alanda kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Mizuno ve diğerleri, 2012).

El Messiry ve diğerleri (2015), çalışmalarından mikro kristalin selülozu toz halinde ve çözelti halinde (tiyoüre, üre ve NaOH çözücüsü) akrilik bağlayıcılar kullanarak farklı oranlarda (%20, %30 ve %50) polyester ve polyester/pamuk kumaşlara uygulamışlardır. Yaptıkları uygulamalar sonrasında kumaşların sıvı emme ve kılcallık, hava geçirgenliği ve yüzey morfolojisi analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda mikro kristalin partikülleri

ile yapmış oldukları kaplama işlemi sonrasında elde edilen numunelerin diğer prosedür sonucunda elde edilen numunelere göre daha emici olduklarını, özellikle %30'luk partikül kaplamasının diğer numunelere göre daha iyi emici olduğunu, kaplama işlemi sonrası hava geçirgenliğinin azaldığını ve SEM analizi sonrasında kaplamaların yüzeyde görüldüğünü belirtmişlerdir (El Messiry ve diğerleri, 2015).

Kale ve diğerleri (2016a), çalışmalarında farklı oranlardaki (%1- %3- %5) Mg-bisüfit yumuşak odun hamurunu tiyoüre, üre ve NaOH çözücüsü ile çözmüşler ve daha sonrasında pamuk kumaş yüzeyine uygulamışlardır. Elde etmiş oldukları numuneleri reaktif boyarmaddeler ile boyamışlar ve daha sonrasında kumaşın renk verimi, renk haslığı, yüzey morfolojisi, kopma mukavemeti, hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği değerlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda selüloz konsantrasyonu artışı ile mukavemetin ve sertliğin arttığını, kaplama ile kumaş boyanmasının azaldığını hem kaplanmış hem de kaplanmamış kumaşların haslıklarının iyi olduğunu, hava ve su buharı geçirgenliğinin kaplama işlemi sonrası azaldığını belirtmişlerdir (Kale ve diğerleri, 2016a).

Kale ve diğerleri (2016b), çalışmalarında viskoz kumaşı  $H_2SO_4$  içerisinde çözmüş içerisine farklı oranlarda (%1- %3- %5- %10)  $TiO_2$  nano partiküllerinden eklemiş ve pamuklu kumaşa bu karışımı uygulamıştır. Uygulama sonrasında sodyum karbonat ile uygulama yapmışlardır. Elde edilen numunelerin yüzey morfolojisini, mukavemetini, foto katalitik özelliğini, hava ve su buharı geçirgenliğini ve foto katalitik özelliğin kalıcılığını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, SEM görüntülerinden kaplama işleminin başarı ile yapıldığı, yıkama işlemi sonrasında elde edilen özelliklerin kalıcı olduğu, mukavemet değerlerinin arttığını ve hava ve su geçirgenliğinin önemli ölçüde azalmadığını belirtmişlerdir (Kale ve diğerleri, 2016b).

İlgili literatürde şimdiye kadar yapılan çalışmalarda rejenere BS ile kaplanmış pamuklu ve viskon kumaşın ve kaplanmış pamuk ve polyester ipliğin özelliklerini inceleyen bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma, rejenere BS ile kaplanmış iplik ve kumaşların özelliklerini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla numunelere SEM-EDX, TGA,

FTIR, kopma mukavemeti, hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği, termofizyolojik konfor ve kaplama kalıcılığı analizleri yapılmıştır.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

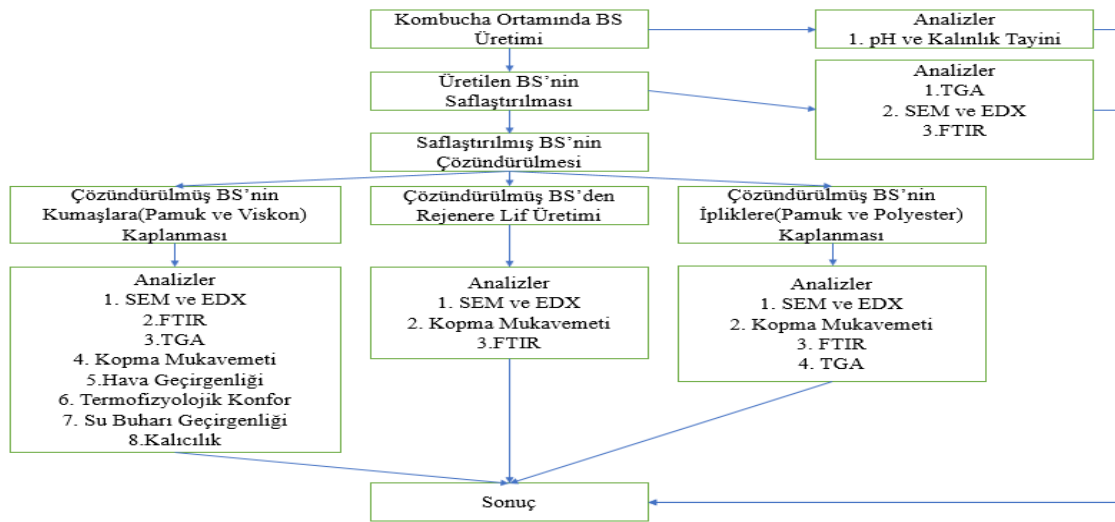
Tez çalışmasında hem dokuma kumaşlara hem de iplik numunelerine kaplama işlemi yapılmıştır. Kullanılan pamuk ve viskon dokuma kumaşlar Bursa Isıksoy firmasından temin edilmiştir. Bunun yanı sıra 25 Ne (23.6 Tex) ring pamuk iplik ve 20 Ne (29.5 tex) polyester iplik kullanılmıştır. Kumaşlara ait özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Uygulamada kullanılan kumaşların özellikleri

Özellikler	%100 Viskon	%100 Pamuk	Standard
Kumaş Yapısı	Bezayağı 1/1	Bezayağı 1/1	ASTM-20
GSM (g/m <sup>2</sup> )	88	74	ASTM 3776
Çözgü sıklığı	41	36	ASTM 3775
Atkı sıklığı	35	34	ASTM 3775
Çözgü iplik numarası (Ne)	60	60	ASTM 1095
Atkı iplik numarası (Ne)	60	60	ASTM 1095

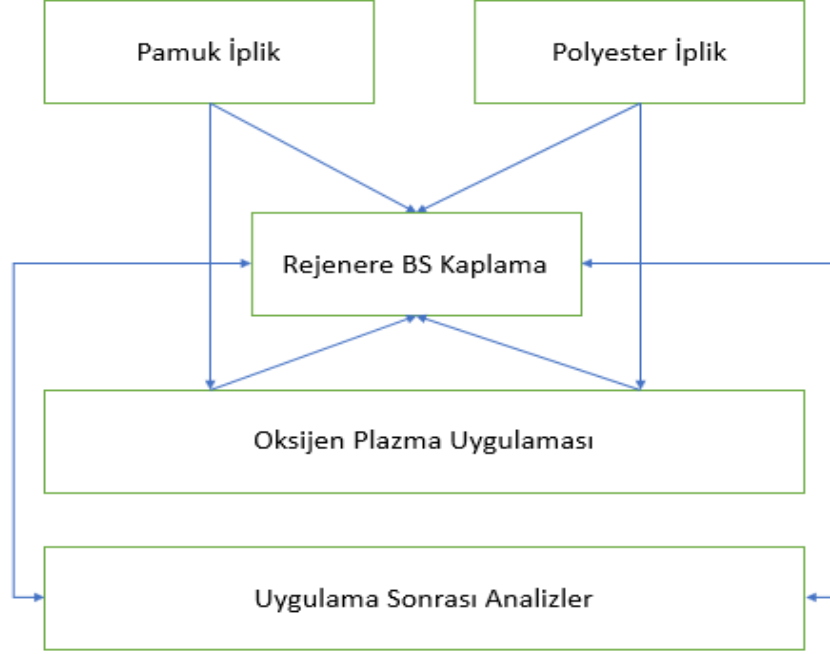
#### 3.2. Yöntem

Tez çalışmasında uygulanan işlem basamaklarına ait iş akış şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmanın iş akış şeması

Kaplama yapılan ipliklere ait detaylı iş akış şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 İplik kaplama iş akış şeması

### 3.2.1. BS Üretimi

BS üretmek için Kombucha SCOBY (Simbiyotik bakteri ve maya kültürü), probiyotik üretimi yapan bir şirketten (Türkiye) satın alınmıştır. Kombucha kültürünün hazırlanmasında sakkaroz (karbon kaynağı), siyah çay (azot kaynağı), distile su ve kombucha başlatıcı kullanılmıştır. Demlenmeden önce 8 g çay poşetlere konulmuştur. Kombucha kültürünü hazırlamak için öncelikle 8 g siyah çay (Geleneksel karadeniz çayı) 0,9 L distile suda 15 dakika kaynama noktasında demlenmiştir. Demlendikten sonra, demlenmiş çayda 100 g sakkaroz çözülmüş ve hazırlanan solüsyon oda sıcaklığında 37°C'nin altına düşecek şekilde soğutulmuş ve steril cam (%70 etanol solüsyonu ile sterilize edilmiş) dikdörtgen kaba alınmıştır. Daha sonra çözeltiliye 2x2 cm<sup>2</sup> selüloz tabakası ve 1 haftalık kültürden alınan 100 ml sıvı eklenmiştir. Son olarak hazırlanan karışım, bakteri selüloz tabakası 0,5–1 cm olana kadar 8 gün boyunca statik kültür

şartlarına uygun olarak karanlık bir ortamda tutulmuştur (Han, Shim ve Kim 2019; Kamiński, Jarosz ve Grudzień ve ark. 2020).

### **3.2.2. BS'un Saflaştırılması**

8 gün sonra elde edilen selüloz tabakasında bulunan bakteri ve diğer bileşenlerin uzaklaştırmak için tabakanın temizlenmesi gerekmektedir. Temizleme işleminde cam kaptan alınan BS tabakası öncelikle etanol içinde tutulmuştur (Zeng, 2014). Daha sonra materyal, 1 L saf su içeren bir behere aktarılmış ve kaynama sıcaklığında 40 dakika boyunca sabit karıştırılarak işleme tabi tutulmuştur (Zeng, 2014). Bu işlemin devamında ise temizleme işlemini tamamlamak için malzeme NaOH ile işleme tutulmuştur.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Han ve diğerleri, %3'lük NaOH çözeltisinin malzemenin yapısını bozmadan etkili bir temizlik gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir. Çalışma içerisinde NaOH ile yapılan muamelede bu çalışmada uygulanan işlem basamakları uygulanmıştır. Saf su ile muameleden sonra malzeme, 90 dakika boyunca ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılarak 25°C ve 50 rpm'de %3'lük NaOH çözeltisi içinde muamele edilmiştir. Numuneleri nötralize etmek için asetik asit ile pH 3'e ayarlanmış saf su kullanılmıştır. Numunenin nötralizasyonu 25°C'de ve 50 rpm'de 30 dakikada gerçekleştirilmiştir (Han ve diğerleri, 2019).

Saflaştırma işleminin son aşamasında numuneler H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile ağartılmıştır. Numunelerin yapısal özelliklerini korumak için literatürde daha önce bahsedilen %5 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltisi ile uygulama yapılmıştır (Han ve diğerleri, 2019). Ağartma işlemi, manyetik karıştırıcılı bir sıcak plaka kullanılarak 90°C ve 110 rpm'de 60 dakikada gerçekleştirilmiştir. Bu işlemden sonra levhalar konveksiyon tipi kurutucuda 24 saat 35°C'de kurutulmuştur. Temizleme ve ağartma işleminin sonunda bakteri selüloz tabakası çözündürme aşamasına hazır hale gelmiştir.

### **3.2.3. BS'un Çözülmesi**

Çözme işleminde çözücü olarak DMAc (Merck-M803235) ve LiCl (C. Erba-458272) karışımı kullanılmıştır. Çözünme işleminde, 120 ml DMAc'e küçük parçalar halinde

kesilmiş 2,45 gram BS tabakası ilave edilmiştir. Daha sonra, DMAc'in BS tabakasının içerisine girmesine ve materyali şişmesine izin vermek için karışım, 165 °C sıcaklıkta 2 saat boyunca 500 rpm'de ısıtıcı manyetik karıştırıcıda (IKA RCT STAND.) karıştırılmıştır. Bu işlemin devamında karışıma %7-8 LiCl eklenmiş ve manyetik karıştırıcıda oda sıcaklığında 500 rpm'de 14 saat karıştırılmıştır (Wu ve diğerleri, 2017). Çözelti, kaplama işleminden önce soğutulmuştur.

### **3.2.4. Çözünmüş BS'ü Tekstil Ürünlerine Kaplama**

#### **3.2.4.1. Kumaş Kaplama**

Kaplama işlemine tabi tutulacak numuneler 30×30 cm<sup>2</sup> boyutlarında kesilmiştir. Çözünen kaplama malzemesi kumaş üzerine farklı oranlarda aktarılarak homojen bir şekilde kumaşa yayılmıştır. Kumaşa uygulanan kaplama maddesi miktarları ağırlıkça %120 (P1-V1 kodlu numuneler), ağırlıkça %240 (P2-V2 kodlu numuneler), ağırlıkça %360 (P3-V3 kodlu numune) ve ağırlıkça %480'dir (P4-V4 kodlu numune). Literatürde daha önce bahsedilen üç farklı katılaştırma banyosu hem kumaş üzerindeki kaplanmış solüsyonu katılaştırmak hem de çözücülerini uzaklaştırmak için kullanılmıştır (Wu ve ark. 2017). Uygulamadan sonra kumaşlar ilk önce DMAc/su (50/50) karışımı içeren birinci banyoda 15°C'de 5 dakika bekletilmiştir. Daha sonra, numuneler bu banyodan çıkarılmış ve 25°C su içeren ikinci banyoda 5 dakika bekletilmişlerdir. Son olarak numuneler 40°C su içeren son banyoda 5 dakika bekletilmiş ve numuneler banyodan uzaklaştırılmıştır. Kaplama malzemesinin numuneler üzerinde farklı banyolar kullanılarak katılaşması tamamlandıktan sonra numuneler 80°C'de 15 dakika etüvde kurutulmuştur. Kaplama işlemi öncesi ve sonrası numunelere ait kodlar ve kaplanmış numunelerin kurutmadan sonra ağırlık artışları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Kaplama işlemi öncesi ve sonrası numunelere ait kodlar ve kaplanmış numunelerin kurutmadan sonra ağırlık artışları

<b>Numune Kodu</b>	<b>Uygulanan İşlem</b>	<b>Uygulamadan Sonra % Ağırlık Artışı</b>
<b>P0</b>	Ham işlem görmemiş pamuk kumaş	-
<b>P1</b>	Kumaş ağırlığının 1,2 katı çözündürülmüş BS ile muamele edilmiş pamuk numune	1,70
<b>P2</b>	Kumaş ağırlığının 2,4 katı çözündürülmüş BS ile muamele edilmiş pamuk numune	4,40
<b>P3</b>	Kumaş ağırlığının 3,6 katı çözündürülmüş BS ile muamele edilmiş pamuk numune	5,20
<b>P4</b>	Kumaş ağırlığının 4,8 katı çözündürülmüş BS ile muamele edilmiş pamuk numune	4,10
<b>V0</b>	Ham işlem görmemiş viskon kumaş	-
<b>V1</b>	Kumaş ağırlığının 1,2 katı çözündürülmüş BS ile muamele edilmiş viskon numune	2,00
<b>V2</b>	Kumaş ağırlığının 2,4 katı çözündürülmüş BS ile muamele edilmiş viskon numune	4,97
<b>V3</b>	Kumaş ağırlığının 3,6 katı çözündürülmüş BS ile muamele edilmiş viskon numune	3,60
<b>V4</b>	Kumaş ağırlığının 4,8 katı çözündürülmüş BS ile muamele edilmiş viskon numune	3,82

### **3.2.4.2. İplik Kaplama**

#### **3.2.4.2.1. Plazma Uygulaması**

Çalışmada polyester ipliğin kaplama maddesini yüzey modifikasyonu yapılmadan alamayacağı ön görülerek polyester ve pamuk ipliğe düşük frekansta plazma ortamında oksijen gazı uygulaması yapılmıştır. Çalışmada Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm laboratuvarında bulunan Diener Vakum Plazma cihazı kullanılmıştır ve Şekil 3.5.'te cihaza ait görüntü ve Çizelge 3.3'te ise plazma uygulamasına ait teknik detaylar verilmiştir.



**Şekil 3.5.** Diener vakum plazma cihazı

**Çizelge 3.3.** Plazma uygulaması teknik detayları

<b>Plazma Uygulaması Teknik Detayları</b>	
<b>Başınç(mbar)</b>	0,50
<b>Gaz Tipi</b>	Oksijen
<b>Frekans (KHz)</b>	40(Düşük Frekans)
<b>Uygulama Süresi (Dakika)</b>	1-5-10-15

#### **3.2.4.2.2. Kaplama Uygulaması**

Çözünme işlemi sonrasında kaplama malzemesi, 50 cm boyundaki pamuk ve polyester ipliğe uygulanmıştır. Uygulama için iplikler banyo içerisine daldırılmış ve 1 dakika boyunca bekletilmiştir. Bekletme işlemi sonrasında ipliklerde bulunan kaplama maddesinin katılaşmasının sağlanması amacı ile 3 farklı banyodan geçirilmiştir. İlk banyoda katılaşmanın sağlanması ve çözücünün uzaklaşması amacı ile kaplanmış olan yüzey 15°C DMAc/su (50% v/v) banyosunda 1 dakika bekletilmiştir. Buradan alınan numuneler 25°C içerisinde saf su olan ikinci banyoda 1 dakika ve daha sonra 40°C içerisinde saf su olan üçüncü banyo da 1 dakika bekletilmiştir. İşlem bitiminde mamul kurumaması amacı ile 80°C’de 10 dakika etüvde bekletilmiştir. Kaplama ve plazma işlemi öncesi ve sonrası numunelere ait kodlar Çizelge 3.4’te verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Kaplama ve plazma işlemi öncesi ve sonrası numunelere ait kodlar

<b>Numune Kodu</b>	<b>Hammadde</b>	<b>Plazma Uygulaması</b>	<b>Rejenere BS Kaplama</b>
<b>P</b>	Pamuk	-	-
<b>PB</b>	Pamuk	-	Uygulandı
<b>PP1</b>	Pamuk	1 dakika oksijen plazma	-
<b>PP5</b>	Pamuk	5 dakika oksijen plazma	-
<b>PP10</b>	Pamuk	10 dakika oksijen plazma	-
<b>PP15</b>	Pamuk	15 dakika oksijen plazma	-
<b>PP1B</b>	Pamuk	1 dakika oksijen plazma	Uygulandı
<b>PP5B</b>	Pamuk	5 dakika oksijen plazma	Uygulandı
<b>PP10B</b>	Pamuk	10 dakika oksijen plazma	Uygulandı
<b>PP15B</b>	Pamuk	15 dakika oksijen plazma	Uygulandı
<b>PS</b>	Polyester	-	-
<b>PSB</b>	Polyester	-	Uygulandı
<b>PS1</b>	Polyester	1 dakika oksijen plazma	-
<b>PS5</b>	Polyester	5 dakika oksijen plazma	-
<b>PS10</b>	Polyester	10 dakika oksijen plazma	-
<b>PS15</b>	Polyester	15 dakika oksijen plazma	-
<b>PS1B</b>	Polyester	1 dakika oksijen plazma	Uygulandı
<b>PS5B</b>	Polyester	5 dakika oksijen plazma	Uygulandı
<b>PS10B</b>	Polyester	10 dakika oksijen plazma	Uygulandı
<b>PS15B</b>	Polyester	15 dakika oksijen plazma	Uygulandı

### **3.2.5. BS İplik Üretimi**

Çözündürme işlemi sonrasında çözünmüş yapıların lif formuna gelebilmesi amacı ile çözelti şırınga yardımı ile bir şekilde koagülasyon banyosuna aktarılmıştır. Lifin katılaşmasının sağlanması amacı ile 3 farklı banyodan geçirilmiştir. İlk banyoda katılaşmanın sağlanması ve çözücünün uzaklaşması amacı ile kaplanmış olan yüzey 15°C DMAc/su (50% v/v) banyosunda bekletilmiştir. Buradan alınan numuneler 25°C

içerisinde saf su olan ikinci banyoda ve daha sonra 40°C içerisinde saf su olan üçüncü banyo da bekletilmiştir. İşlem bitiminde mamul ile 80°C'de 10 dakika kurutulmuştur.

### **3.2.6. SEM-EDX Analizi**

SEM ve EDX analizleri Fei Quanta 250 Feg marka makine ile yapılmıştır. İplik numunelerinin yüzey morfolojisini incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri 500x ve 5000x büyütmede alınmıştır. Kumaş numunesi için 500x büyütme ve bs dokunmamış yüzeylerde ise 10000x ve 50000x büyütme kullanılmıştır.

### **3.2.7. FTIR Analizi**

Örneklerin FTIR spektrumları ~20 mg potasyum bromür (KBr) içinde ~2.0 mg örnek içeren disklerden elde edilmiştir. Ölçümler, 2 cm<sup>-1</sup> aralıklarla ve 16 taramayla 400-4000 cm<sup>-1</sup> dalga numarası bölgesinde 4 cm<sup>-1</sup> çözünürlükte Perkin Elmer Spectrum BXFT-IR spektrofotometrede gerçekleştirilmiştir.

### **3.2.8. Kopma Mukavemeti Analizi**

#### **3.2.8.1. Kaplanan İplik**

Çekme testleri AG-X Plus model CRE tipi Shimadzu cihazı ile TS 245 EN ISO 2062 standardına göre yapılmıştır. Çeneler arası mesafe ve test hızı sırası ile 250 mm ve 300 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Çekme testinde standartta belirtildiği gibi her numune için 15 tekrar yapılmıştır.

#### **3.2.8.2. Üretilen Rejenere İplik**

Çekme testleri AG-X Plus model CRE tipi Shimadzu cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen liflerin test esnasında; çene hızı olarak 25 mm/dak, çeneler arası mesafe olarak ise 100 mm değerleri kullanılmıştır.



### **3.2.8.3. Kumaş**

Çekme testi EN ISO 13934–1 standardına göre AG-X Plus model CRE tipi Shimadzu cihazı ile yapılmıştır. Çeneler arası mesafe ve test hızı 100 mm ve 100 mm/dak olarak ayarlandı. Çözümlü yönünde kesilen numuneler için çekme mukavemeti testleri yapılmıştır. Çekme testinde standartta belirtildiği gibi her numune için 5 tekrar yapılmıştır.

### **3.2.9. TGA Analizi**

TGA analizi BS numuneleri için 25-695°C, iplik numuneleri için 30–520 °C ve kumaş numuneleri için 30–1000°C sıcaklık aralığında, 10 °C/dak ısıtma hızı ile inert atmosferde numunelerden 5mg'lik örnekler alınarak SII-EXSTAR-6000 cihazında yapılmıştır.

### **3.2.10. Termofizyolojik Konfor Özellikleri Analizi**

Kumaşların termo fizyolojik analizi alambeta cihazı (Sensora Devices, Çek Cumhuriyeti) ile yapılmıştır. Cihaz genellikle bir ölçüm kafası ve numunenin üzerine yerleştirildiği bir tabandan oluşur. Ölçüm başlar başlamaz, ısı akış sensörünü içeren ölçüm kafası düşer ve alt plakaya düzlemsel olarak yerleştirilmiş numuneye dokunur. Bu sırada numunenin yüzey sıcaklığı aniden değişir ve cihazın bilgisayarı ısı akış değerlerini kaydeder. Bir fotoelektrik sensör ayrıca numune kalınlığını da ölçer. Cihazın çalışma prosedürü, insan parmağının oda sıcaklığında kumaşa dokunmasına benzer. Malzemelerin ısı iletkenlik, ısı ısıtma ve ısı direnç değerleri alambeta test cihazı ile ölçülmüştür.

### **3.2.11. Su Buharı Geçirgenliği Analizi**

Kumaşların su buharı geçirgenlik ve direnç değerleri Permetest cihazı (Sensora Devices, Çek Cumhuriyeti) ile ölçülmüştür. Kuru ve nemli cilt özelliklerinin modellenmesiyle geliştirilen bu cihaz, Hohenstein Enstitüsü tarafından tanımlanan ilkeye (ISO 11092) göre çalışır ve cihaz üzerindeki gözenekli membran, terleyen cilde göre tasarlanmıştır. Permetest cihazı, analiz sonunda bağıl su buharı geçirgenliği (%) ve su buharı direnci ( $m^2PaW^{-1}$ ) değerlerini verir.

### **3.2.12. Hava Geçirgenliği Analizi**

Tüm ölçümler EN ISO92-37 standardına göre hava geçirgenlik ölçüm cihazı (SDL ATLAS M021A) ile 100 Pa basınç altında 5 cm<sup>2</sup> alanda yapılmıştır.

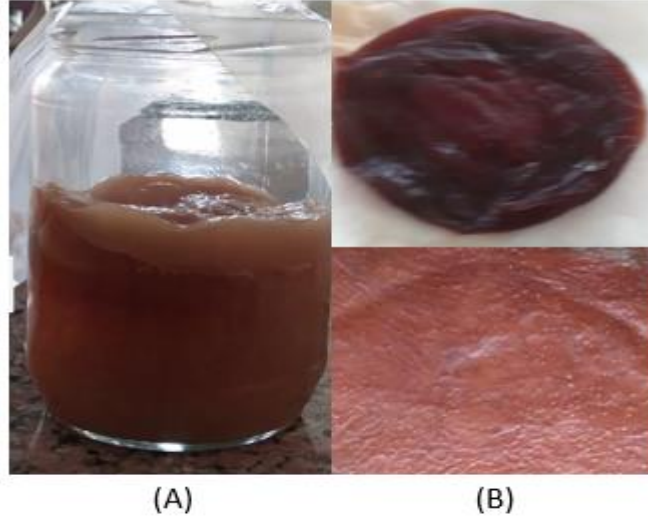
### **3.2.13. Yıkama ve Sürtme İşlemi Sonrası Kalıcılık**

Kaplama malzemesinin dayanıklılığını belirlemek amacı ile rejenere BS kaplanmış pamuk kumaşlara ISO 105-C06 (A1S) ve ISO 105-X12 standartlarına göre yıkama ve sürtünme testleri yapılmıştır. Sürtünme ve yıkama testleri 1, 5 ve 10 kez yapıldıktan sonra elde edilen veriler % ağırlık kaybı olarak işlenmiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1.BS Üretimi

BS'ye ait, (A) kombucha kültür ortamı ve (B) üstte kombucha ortamından alınan BS tabakası, altta kurutulmuş ham BS tabakası görüntüleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



**Şekil 4.1.** BS'ye ait görüntüler, (A) kombucha kültür ortamı ve (B) üstte kombucha ortamından alınan BS tabakası, altta kurutulmuş ham BS tabakası

#### 4.1.1. pH ve Kalınlık

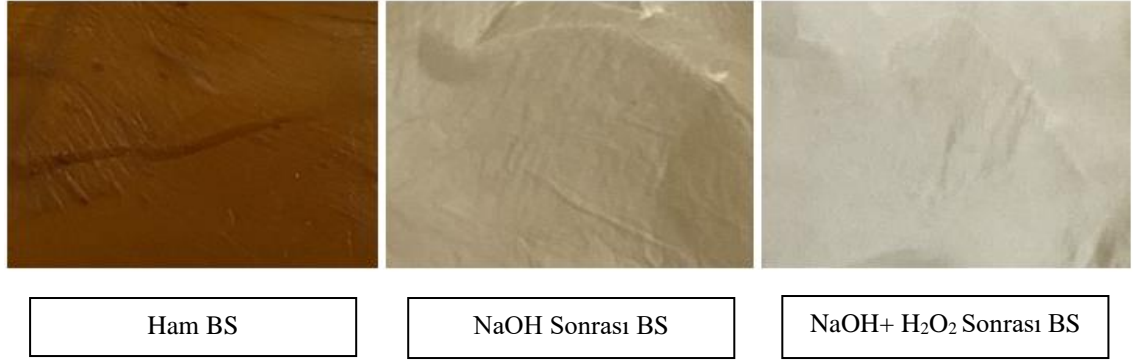
BS üretiminin gerçekleştiği kombucha kültür ortamının pH değerleri (3,18-4,60) ve üretimi sağlanan tabakanın kalınlığında 8 gün boyunca değişiklikler olmuştur. pH değerinde düşüşler meydana gelirken tabakanın kalınlığında artış meydana gelmiştir. Primiani ve diğerleri (2018), çalışmalarında ortamda meydana gelen pH düşüşünün fermantasyon süreci sonucunda meydana gelen organik asitler ve diğer ikincil metabolit bileşiklerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu sonuç elde edilen verileri destekler niteliktedir. pH değişimi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** 8 gün boyunca gözlenen pH ve kalınlık değişimi

Gün	pH	Kalınlık(cm)
1	4,60	0,00
2	3,80	0,00
3	3,40	0,08
4	3,38	0,12
5	3,35	0,22
6	3,30	0,38
7	3,28	0,55
8	3,18	0,77

#### 4.1.2. Saflaştırma İşlemi Sonrası BS Yapısı

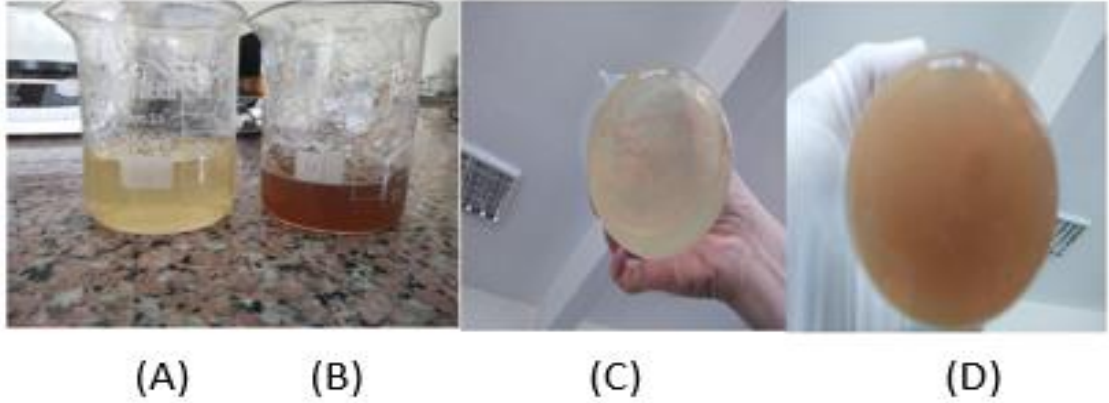
Saflaştırma işlemi için etanol, saf su, NaOH (temizleme) ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (ağartma) kullanıldığı tezin yöntem kısmında belirtilmiştir. Ürünün rengi açısından değerlendirme yapıldığında Ham mamul koyu kahverengi iken NaOH (temizleme) işlemi sonrasında mamulün rengi açık kahverengiye ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (ağartma) işlemi sonrasında da kırık beyaza dönüşmüştür. Şekil 4.2’de renk değişimi görülmektedir.



**Şekil 4.2.** Ham, NaOH sonrası ve NaOH+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sonrası BS’lerin görüntüleri

#### 4.1.3. Çözündürülmüş BS Yapısı

Çözündürülmüş BS (A) çözündürülmüş saf BS’nin yandan görünüşü, (B) çözündürülmüş ham BS’nin yandan görünüşü, (C) çözündürülmüş saf BS’nin alttan görünüşü, (D) çözündürülmüş ham BS’nin alttan görünüşü Şekil 4.3’te verilmiştir.

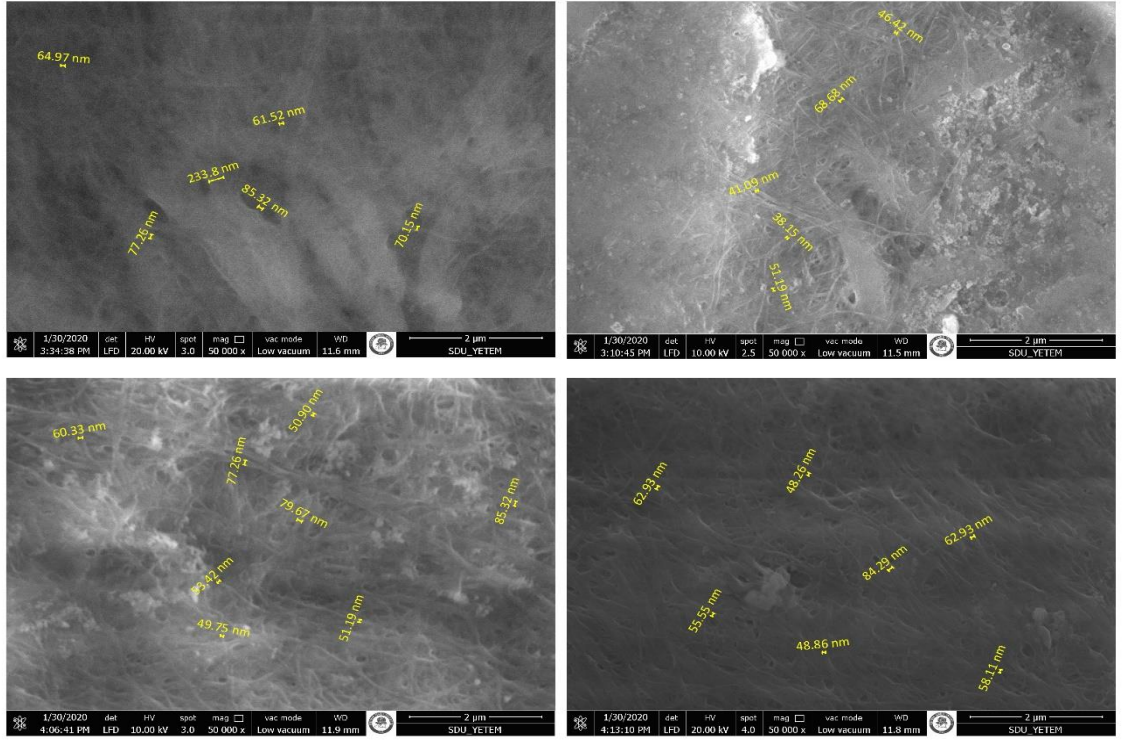


**Şekil 4.3.** Çözündürülmüş BS (A) çözündürülmüş saf BS'nin yandan görünüşü, (B) çözündürülmüş ham BS'nin yandan görünüşü, (C) çözündürülmüş saf BS'nin alttan görünüşü, (D) çözündürülmüş ham BS'nin alttan görünüşü

#### **4.2. SEM-EDX Analizi**

Numunelere yapılan SEM-EDX analizi BS'nin yüzey yapısının belirlenmesi, BS yapısında bulunan liflerin çaplarının hesaplanması, ham BS'nin saflaştırma işlemi sonrasında yüzeyinde meydana gelen değişimlerin anlaşılması, rejenere BS kaplanmış kumaş ve ipliklerin yüzeylerinde meydana gelen değişimlerin ve rejenere üretimi sağlanmış olan BS ipliğinin enine ve boylamasına morfolojisinin belirlenmesi amaçları için yapılmıştır.

BS'nin farklı bölgelerinden alınan 50000x büyütme SEM görüntüleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu görüntülerin ilgili literatürde de belirtilen dokunmamış tekstil yüzeylerine benzediği görülmektedir. Bunun yanı sıra görüntülerde BS yapısı içerisinde bulunan liflerin nanometre boyutunda oldukları da gözlenmektedir. Ortalama lif çapları Çizelge 4.2'de verilmiştir.



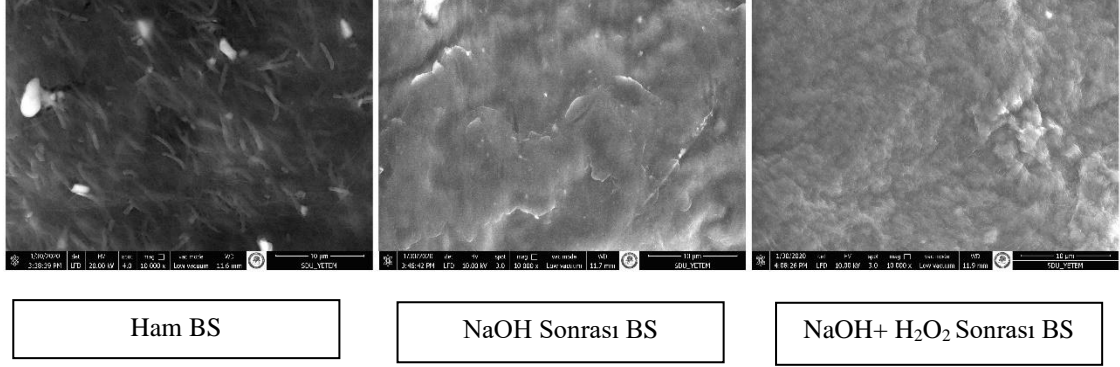
**Şekil 4.4.** BS'nin farklı bölgelerinden alınan 50000x büyütme SEM görüntüleri ve lif çapları

**Çizelge 4.2.** BS ortalama lif çapları

Özellikler	BS
Ortalama lif çapı(nm)	68,09±37,29
En büyük lif çapı(nm)	233,80
En küçük lif çapı(nm)	38,15

Saflaştırma işleminin BS'nin yüzey morfolojisinde herhangi bir değişime sebep olup olmadığını belirlemek amacıyla ile yüzeylerden 10000x büyütme SEM görüntüleri de alınmıştır. Bu SEM görüntülerinin analizi sonucunda ham BS yapısında görülen bakterilerin temizleme ve ağartma işlemleri sonrasında olmadığı gözlenmiştir. Bu sonuç saflaştırma işleminin başarı ile yapıldığını desteklemektedir. Bu sonuca ek olarak, numunelerden alınan Çizelge 4.3'teki EDX analizleri değerlendirildiğinde BS'da bulunan karbon ve oksijen atomlarının literatürde belirtilen değerleri ile benzer olduğu ve saflaştırma işlemi sonrasında BS yapısında bulunan safsızlıkların (P, Cl, S ve K) uzaklaştırıldığı gözlenmiştir (Villarreal-Soto ve diğerleri, 2021). Bu da SEM görüntülerinden elde edilen sonuçları EDX sonuçlarının da desteklediğini

göstermektedir. Şekil 4.5'te Ham, NaOH sonrası ve NaOH+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sonrası BS'lerin 10000 x büyütme SEM görüntüleri verilmiştir.



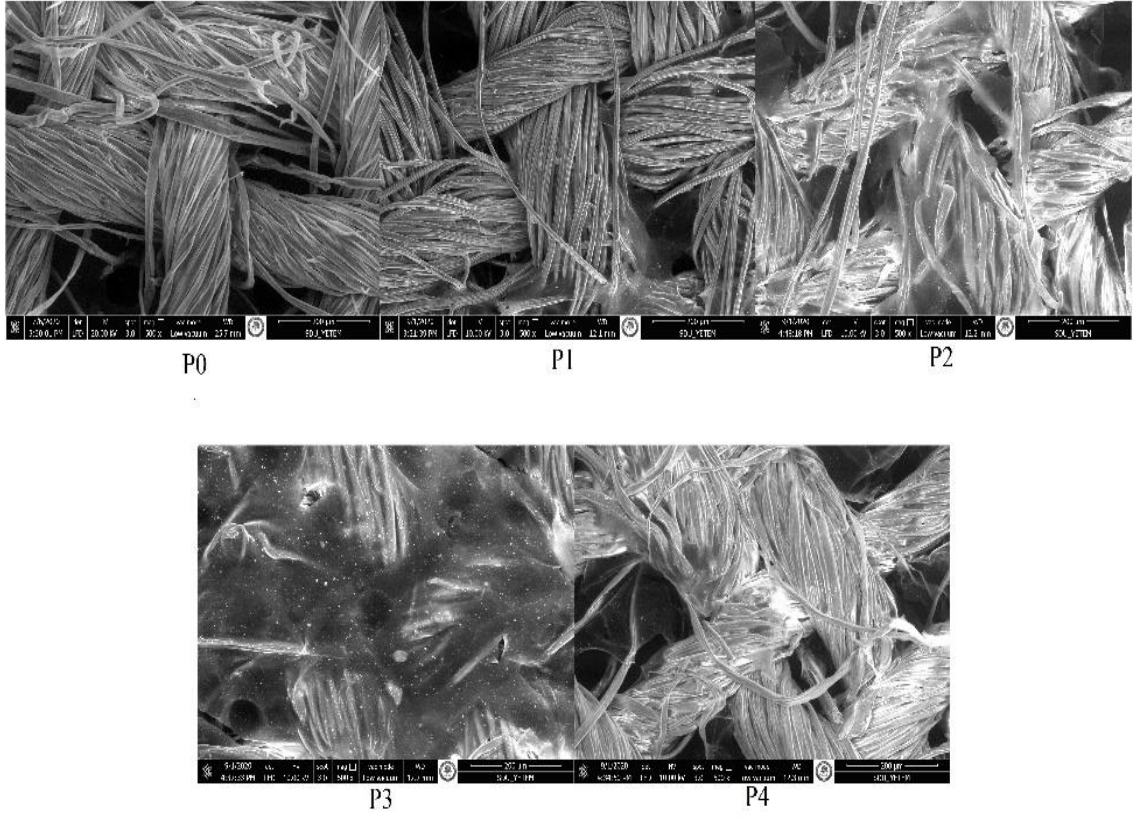
**Şekil 4.5.** Ham, NaOH sonrası ve NaOH+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sonrası BS'lerin 10000 x büyütme SEM görüntüleri

**Çizelge 4.3.** Hidrofil pamuk, ham BS ve saf BS 'ye ait EDX sonucu

Örnek	% Ağırlık							% Atomik						
	C	O	Ca	P	Cl	S	K	C	O	Ca	P	Cl	S	K
<b>Hidrofil Pamuk</b>	44,22	51,39	3,99	0,17	-	-	0,23	52,56	45,85	1,42	0,08	-	-	0,09
<b>Ham BS</b>	57,32	39,46	0,57	0,19	0,19	0,24	1,87	65,17	33,68	0,20	0,08	0,07	0,10	0,65
<b>Saf BS</b>	53,93	46,07	-	-	-	-	-	61,00	39,00	-	-	-	-	-

Farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış olan pamuk ve viskon kumaşlarında kaplama işlemlerinin olup olmadığının ve farklı miktarlarda uygulanan kaplama maddesinin yüzeyde ne kadar değişime sebep olduğunun anlaşılabilmesi amacı ile kumaş yüzeylerinde 500x büyütme SEM görüntüsü alınmıştır.

Rejenere BS kaplanmış olan pamuk numunelerinde kaplama işlemi sonrası ham kumaş yüzeyindeki gözeneklerin malzeme artışı ile kapandığı Şekil 4.6'da verilen SEM görüntülerinde görülmektedir. Özellikle kaplama malzemesi miktarının yüksek olduğu P2 ve P3 numunelerinde kaplama malzemesi, gözeneklerin yanı sıra malzemenin yüzeyini de kaplamaktadır. Bunlara ek olarak kaplama malzemesinin artmasıyla kaplama işleminin daha homojen olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.6.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait 500x büyütme SEM görüntüleri (P0, P1, P2, P3, P4)

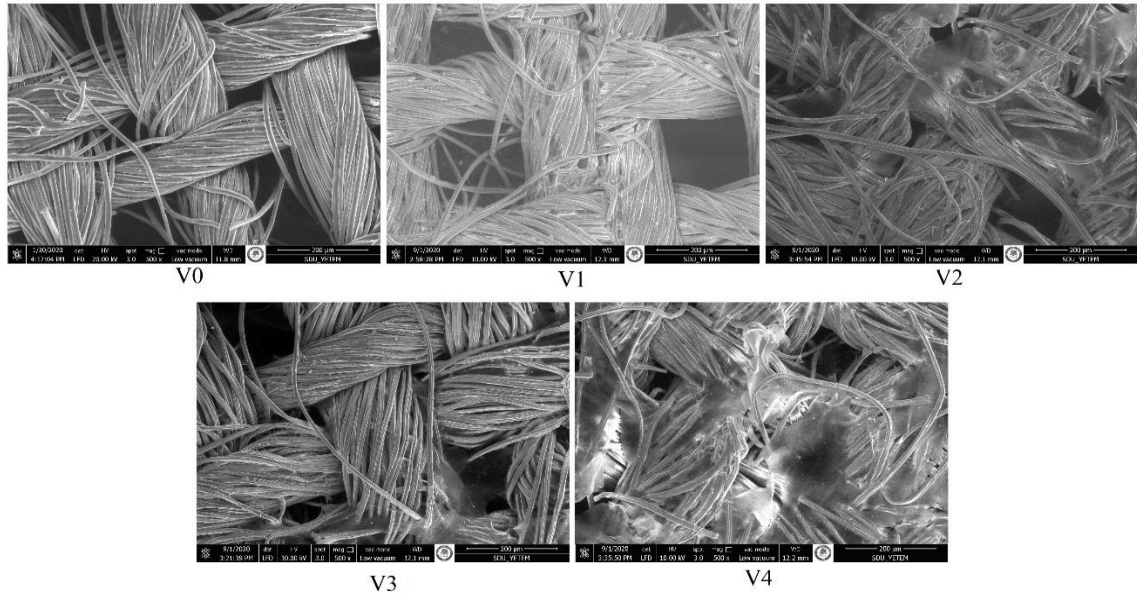
Numunelerin karbon ve oksijen miktarlarında çok fazla değişiklik olmamasına rağmen kaplama malzemesi miktarının artmasıyla karbon oranında az da olsa bir artış olmaktadır. Kaplama işleminde kullanılan malzeme ile kaplanan malzeme selüloz olduğu için herhangi bir fark olmaması beklenen bir sonuçtur. İlgili literatürde yer alan çalışmalarda elde edilen değerler sonuçlarla benzerlik göstermektedir (İbrahim ve diğerleri, 2017; Sakwises ve diğerleri, 2017). EDX analizinde tespit edilen kalsiyum ve potasyum elementlerinin insan terinde bulunduğu bilinmekte ve numuneye dokunulduğunda geçtiği düşünülmektedir. Çizelge 4.4'te ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait EDX analizi sonuçları verilmiştir.



**Çizelge 4.4.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait EDX analizi sonuçları (P0, P1, P2, P3, P4)

Örnek	% Ağırlık				% Atomik			
	C	O	Ca	K	C	O	Ca	K
P0	47,73	51,50	-	0,77	55,10	44,63	-	0,27
P1	45,82	52,43	1,50	-	53,44	45,90	0,53	-
P2	46,47	52,34	1,06	-	53,95	45,62	0,37	-
P3	46,74	52,79	0,47	-	54,03	45,81	0,16	-
P4	46,91	51,92	1,17	-	54,39	45,20	0,41	-

Viskon kumaşlarda kaplama malzemeleri, kumaşlara ait Şekil 4.7’de verilen SEM görüntülerinden görülmektedir. Bu da pamuk kumaşlarda olduğu gibi viskon kumaşlarda da BS kaplama malzemesinin işlem sonrasında yüzeyde kaldığını göstermektedir.



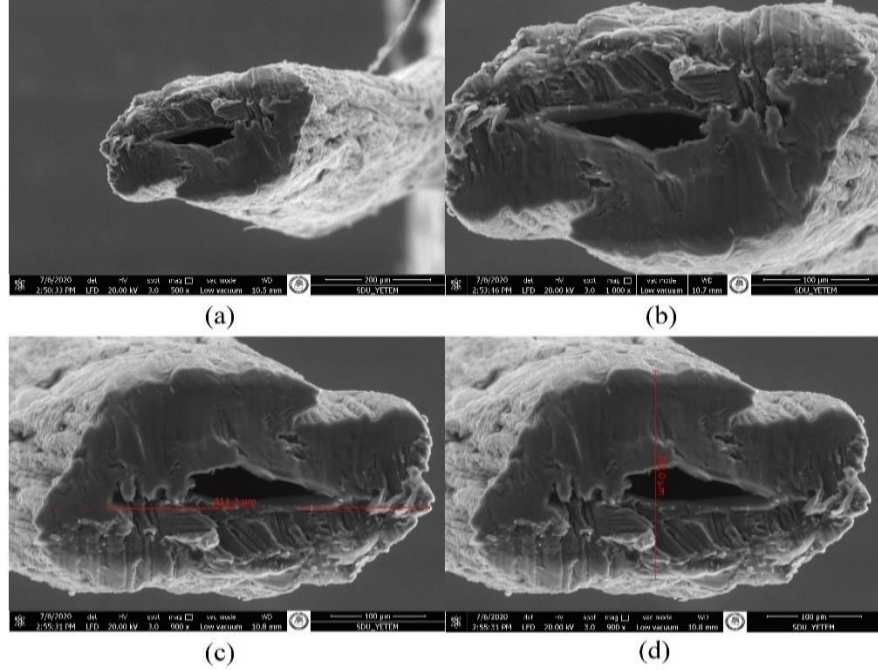
**Şekil 4.7.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait 500x büyütülmeli SEM görüntüleri (V0, V1, V2, V3, V4)

Numunelerin elementel analizlerinde önemli bir yapısal farklılık yoktur. Bu sonuç hem viskon kumaşın hem de kaplama malzemesinin yapısının selüloz olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca V2, V3 ve V4 kodlu numunelerde eser miktarda Ca, Mg ve Cl elementleri gözlenmiştir. Çizelge 4.5’te ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait EDX analizi sonuçları verilmiştir.

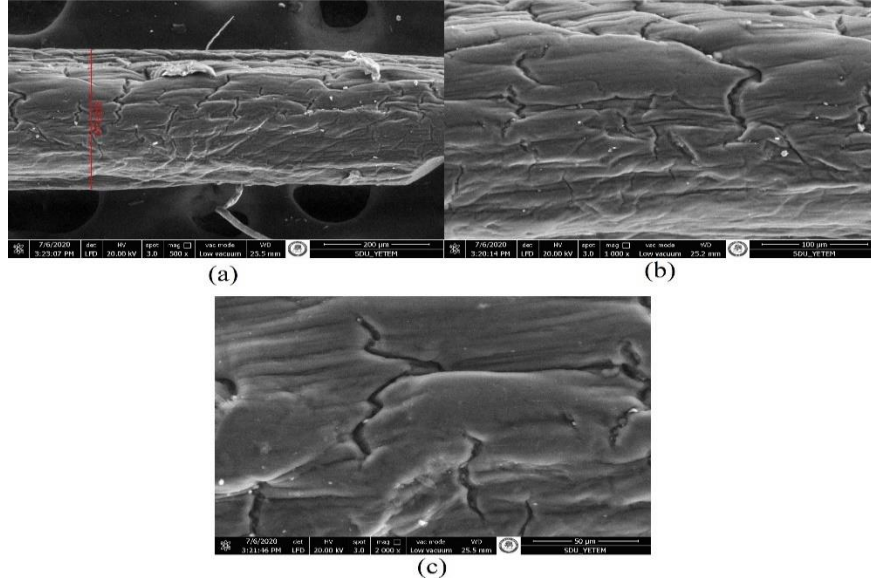
**Çizelge 4.5.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait EDX analizi sonuçları (V0, V1, V2, V3, V4)

Örnek	% Ağırlık					% Atomik				
	C	O	Ca	Mg	Cl	C	O	Ca	Mg	Cl
V0	48,17	51,83	-	-	-	55,31	44,69	-	-	-
V1	47,99	52,01	-	-	-	55,13	44,87	-	-	-
V2	46,40	52,56	0,53	0,27	0,24	53,81	45,76	0,19	0,16	0,09
V3	46,49	52,50	0,61	-	0,40	53,92	45,71	0,21	-	0,16
V4	46,49	52,50	0,61	-	0,40	53,92	45,71	0,21	-	0,16

Rejenere BS lifine ait boyuna (500x, 1000x, 2000x büyütme) ve enine kesit (500x, 900x ve 1000x büyütme) SEM görüntüleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir. Üretimi sağlanan life ait SEM görüntülerinden de anlaşılacağı üzere içi boş ve yüzeyi mikro çatlaklar bulunan bir yapıya sahip olduğu ve çapının (318.9 µm) düzenli olmadığı görülmektedir. Çizelge 4.6’da verilen EDX analizi sonucunda rejenere BS lifinde % ağırlık olarak 53,6 karbon elementi, 45,16 oksijen elementi ve 1,24’te diğer elementler (Ca, K, Cl ve Al) gözlenmiştir.



**Şekil 4.8.** Rejenere BS lifi enine kesit SEM görüntüleri

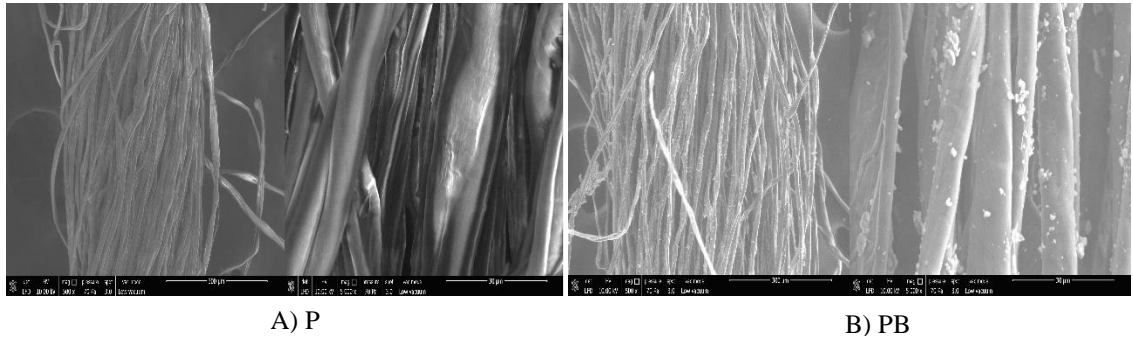


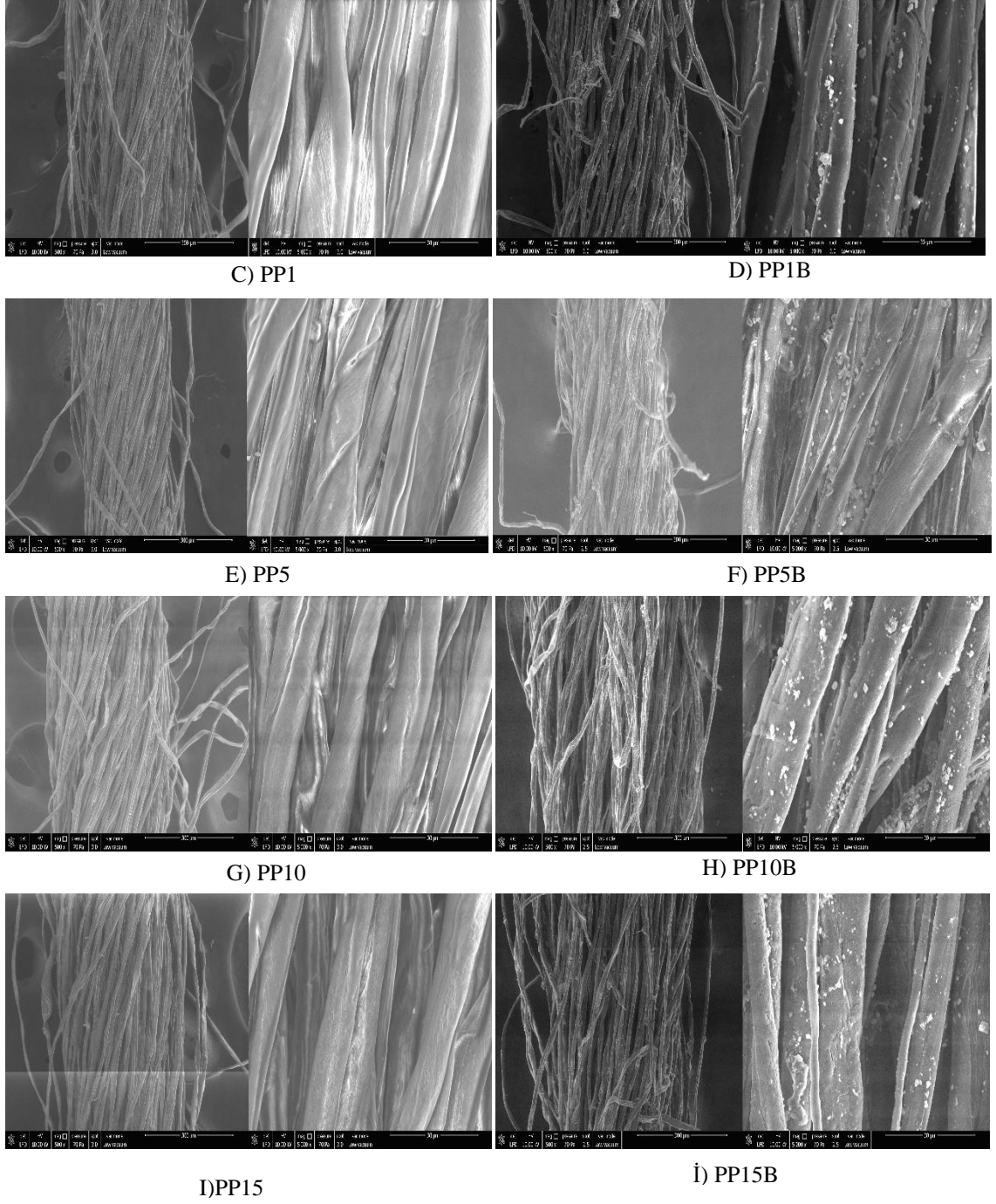
Şekil 4.9. Rejenere BS lifi boyuna yönde SEM görüntüleri

Çizelge 4.6. Rejenere BS lifi EDX analizi sonucu

Örnek	% Ağırlık						% Atomik					
	C	O	Ca	K	Cl	Al	C	O	Ca	K	Cl	Al
Rejenere BS Lif	53,60	45,16	0,43	0,23	0,33	0,24	60,96	38,56	0,15	0,08	0,13	0,12

Ham, plazma uygulanmış ve plazma uygulaması sonrası kaplanmış pamuk ipliklerine ait 500x ve 5000x büyütme SEM görüntüleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Plazma işlemi sonrasında pamuk ipliğın yüzeyinde mikro çatlaklar görülmektedir. Plazma işlemi yapılmadan ve plazma işlemi yapıldıktan sonra kaplanan pamuk ve ipliklerin yüzeylerinde kaplama maddesinin küçük parçacıklar olarak varlığı görülmektedir. Bunlara ek olarak, plazma uygulamasının süresinin artışı ile birlikte pamuk ipliklerinin yüzeydeki kaplama maddesi miktarında da artış gözlenmiştir.





**Şekil 4.10.** Ham, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve kaplanmış pamuk ipliklerine ait 500x (her ikili görüntüde soldaki numune) ve 5000x (her ikili görüntüde sağdaki numune) büyütme SEM görüntüleri

Ham, plazma uygulanmış ve plazma uygulaması sonrası kaplanmış pamuk ipliklerine ait EDX sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre plazma uygulaması sonrasında ham numunelere göre genel anlamı ile oksijen miktarında artış

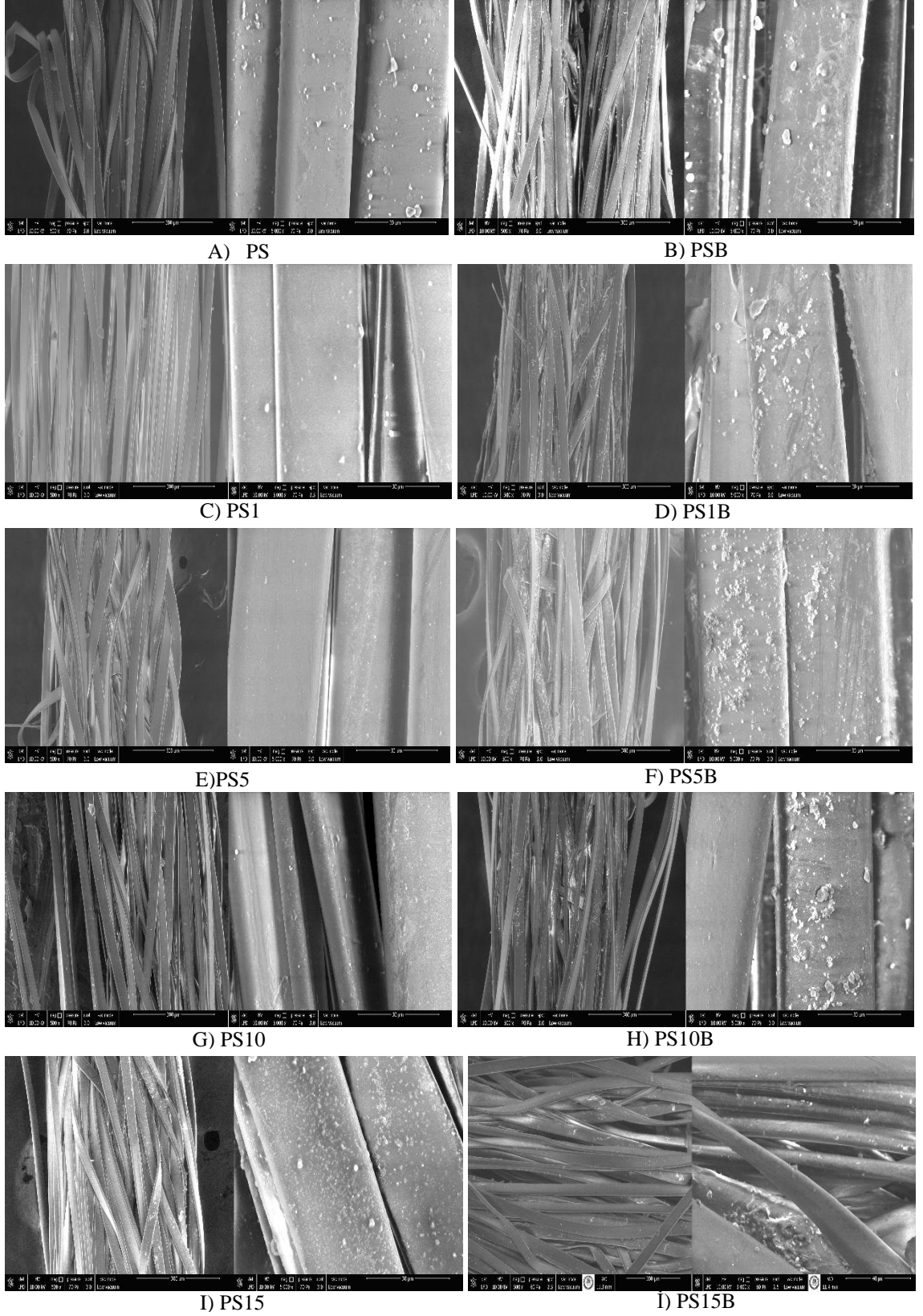
gözlenmektedir. Bu durum oksijen plazma uygulamasından dolayı beklenen bir durumdur. Bunun yanı sıra bazı oksijen uygulaması görmüş olan numunelerde alüminyum elementi gözlenmiştir. Bu durum işlem sonrasında numunelerin alüminyum folyoda bekletilmesinden kaynaklanmış olabilir.

Elemental analiz sonucunda K, Cl ve Ca elementleri de az miktarda olsa bazı numunelerde görülmüştür. Bu safsızlıkların TGA analizinde kömürleşen madde miktarını artırdığı bilinmektedir.

**Çizelge 4.7.** Ham, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve kaplanmış pamuk ipliklerine ait EDX sonuçları

Örnek	% Ağırlık						% Atomik					
	C	O	Al	K	Cl	Ca	C	O	Al	K	Cl	Ca
<b>P</b>	48,98	48,08	2,07	0,87	-	-	56,78	41,85	1,07	0,31	-	-
<b>PB</b>	46,37	45,59	0,05	-	6,17	1,82	55,69	41,11	0,03	-	2,51	0,65
<b>PP1</b>	48,81	50,42	-	0,78	-	-	56,17	43,56	-	0,27	-	-
<b>PP5</b>	49,16	47,56	2,33	0,95	-	-	57,03	41,42	1,20	0,34	-	-
<b>PP10</b>	48,73	49,06	1,48	0,73	-	-	56,37	42,61	0,76	0,26	-	-
<b>PP15</b>	48,42	50,25	0,11	1,04	-	-	55,92	43,57	0,06	0,37	-	-
<b>PP1B</b>	47,57	50,59	0,22	-	0,81	0,81	55,21	44,08	0,11	-	0,32	0,28
<b>PP5B</b>	49,36	48,68	0,94	1,02	-	-	56,98	42,18	0,48	0,36	-	-
<b>PP10B</b>	48,15	49,06	0,68	-	1,46	0,65	56,01	42,84	0,35	-	0,58	0,23
<b>PP15B</b>	48,01	48,70	0,25	-	1,84	1,20	56,04	42,68	0,13	-	0,73	0,42

Ham, plazma uygulanmış ve plazma uygulaması sonrası kaplanmış polyester ipliklerine ait 500x ve 5000x büyütme SEM görüntüleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Plazma işlemi sonrasında pamuk ipliğinde olduğu gibi polyesterde de iplik yüzeyinde mikro çatlaklar görülmektedir. Plazma işlemi yapılmadan ve plazma işlemi yapıldıktan sonra kaplanan polyester ipliklerin yüzeylerinde kaplama maddesinin küçük parçacıklar halinde görülmektedir. Ancak yoğunluk olarak incelendiğinde pamuklu yüzeyde daha fazla buldukları görülmektedir. Bunlara ek olarak, plazma uygulama süresinin artışı ile birlikte pamuk ipliklerinin yüzeydeki kaplama maddesi miktarı artışı gözlenmiştir.



**Şekil 4.11.** Ham, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve kaplanmış polyester ipliklerine ait 500x (her ikili görüntüde soldaki numune) ve 5000x (her ikili görüntüde sağdaki numune) büyütmeli SEM görüntüleri

Ham, plazma uygulanmış ve plazma uygulaması sonrası kaplanmış polyester ipliklerine ait EDX sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Plazma uygulaması sonrasında ham numunelere göre oksijen miktarında artış gözlenmektedir. Bu durum oksijen plazma uygulamasından kaynaklanmaktadır. Özellikle PS5 kodlu numunede kayda değer bir oksijen miktarı artışı gözlenmektedir. Bunun yanı sıra oksijen uygulaması görmüş olan numunelerin bir kısmında alüminyum folyoda saklandıklarından dolayı alüminyum elementi gözlenmiştir. Elemental analiz sonucunda K, Ca elementleri de az miktarda olsa bazı numunelerde görülmüştür.

**Çizelge 4.8.** Ham, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve kaplanmış polyester ipliklerine ait EDX sonuçları

Örnek	% Ağırlık					% Atomik				
	C	O	Al	K	Ca	C	O	Al	K	Ca
<b>PS</b>	65,06	34,94	-	-	-	71,26	28,74	-	-	-
<b>PSB</b>	65,19	34,81	-	-	-	71,38	28,62	-	-	-
<b>PS1</b>	63,34	35,60	0,46		0,60	70,03	29,55	0,23	-	0,20
<b>PS5</b>	49,26	48,72	1,11	0,90	-	56,88	42,23	0,57	0,32	--
<b>PS10</b>	62,85	36,41	0,56	-	-	69,44	30,20	0,28	-	-
<b>PS15</b>	64,36	35,02	0,62	-	--	70,78	28,91	0,31	-	-
<b>PS1B</b>	62,89	34,23	1,61	-	1,27	70,12	28,65	0,80	-	0,43
<b>PS5B</b>	60,61	37,07	-	-	2,32	68,00	31,22	-	-	0,78
<b>PS10B</b>	58,29	38,68	-	-	3,03	66,06	32,91	-	-	1,03
<b>PS15B</b>	64,51	35,05	0,44	-	-	70,87	28,91	0,21	-	-

### 4.3. FTIR Analizi

Bu bölümde kaplanmış olan kumaş (pamuk ve viskon) ve iplik (pamuk ve polyester) yüzeyleri ile hidrofil pamuk, ham BS, NaOH işlemi sonrası BS ve NaOH ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> uygulaması sonrası BS yapılarının birbiri arasındaki farklılıklarının tespiti ve yapılan uygulamalar sonrasında meydana gelen değişikliklerin tespiti için FTIR analizi uygulaması yapılmıştır. Hidrofil pamuk, ham, NaOH sonrası ve NaOH ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sonrası BS’lerin FTIR analizi sonuçları Şekil 4.12’de verilmiştir. FTIR spektrumunda görülen yapılar ile ilgili pikler ve fonksiyonel gruplar Çizelge 4.9 'da sunulmuştur.



**Şekil 4.12.** Ham, NaOH sonrası ve NaOH+ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sonrası BS'lerin FTIR analizi verileri

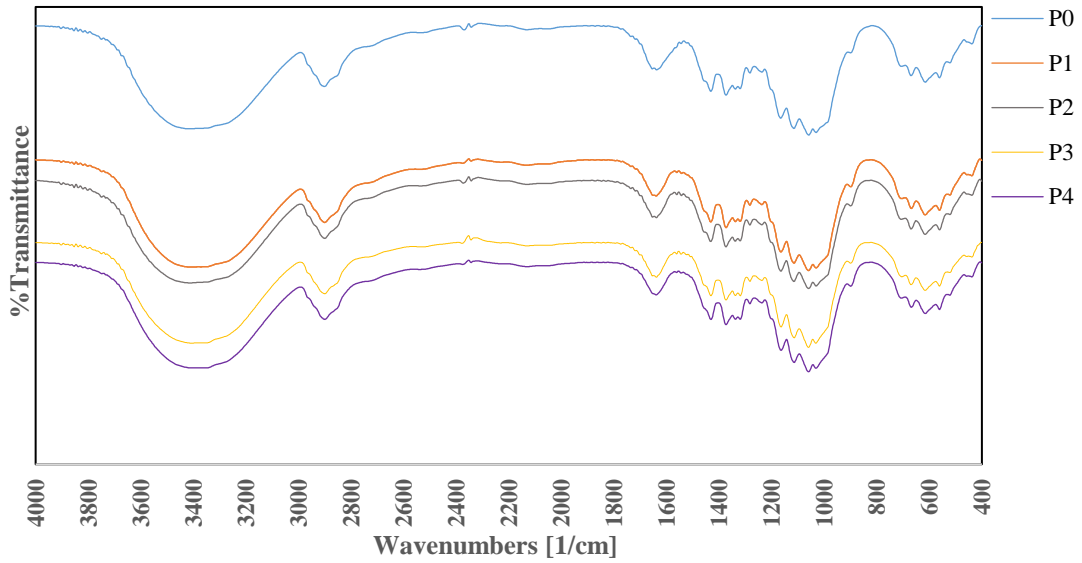
**Çizelge 4.9.** Hidrofil pamuk, ham, NaOH sonrası ve NaOH ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sonrası BS'lerin FTIR analizinde görülen zirveler ve bu zirvelere karşılık gelen fonksiyonel gruplar

Dalga Sayısı (cm <sup>-1</sup> )	Fonksiyonel Gruplar
3416	OH gerilme, geniş
2860-2920	C-H gerilme
1628	H-O-H gerilme, orta kuvvette
1436	H-C-H ve O-C-H düzlem içi bükülme
1358	C-H deformasyon titreşimi
1054	C-O gerilme
660	C-OH düzlem dışı bükülme

Şekil 4.12'de görülen bütün spektrumların ortak pikleri ve ait oldukları fonksiyonel gruplar tabloda verilmiştir. Ana yapının selüloz olduğu ve glukoz birimlerinden oluştuğu dikkate alındığında farklılıklar şu şekilde yorumlanmıştır: Ham BS'nin üretimi aşamasında mikroorganizmalarca kullanılan/tüketilen organik bileşikler (kombucha içerisindeki amid grupları, asetik asit gibi) FTIR spektrumuna da yansımaktadır. Hiçbir işlem görmeden alınan spektrumda, birkaç noktada farklılıklar olsa da hidrofil pamukta bulunan glukoz birimlerine ve bağlantı noktalarına ait pikler aynen görülmektedir. 1054,



ve  $1105\text{ cm}^{-1}$  de sırasıyla karakteristik  $\text{C-O}$  ve  $\text{O-H}$  pikleri görülmektedir. Ham BC de, diğer spektrumlardan farklı olarak  $\text{C-O-C}$  fonksiyonel grubuna ait  $1158\text{ cm}^{-1}$  pik görülmemektedir. Bu pik, ham BS'nin hem NaOH hem de peroksit ile olan işlemlerinden sonra açığa çıkmaktadır. Ek olarak ham BS de diğerlerinden farklı olarak  $1690\text{ cm}^{-1}$  de  $\text{C=O}$ (karbonil) grubuna ait pik görülmektedir. Bu pik, BS'nin ana zincir yapısında olmayan fakat BS'nin oluşumu sırasında zincir aralarında kalan organik bileşiklere (amid, karboksilik asit, aldehit) aittir. Çünkü, daha sonraki işlemlerde (yıkama vs.) bu pik yok olmuştur. Buradan, yapılan işlemlerin hidrofil pamuğa benzerliği açısından bakıldığında işe yaradığı sonucu çıkarılabilir. Yine benzer şekilde  $890\text{ cm}^{-1}$  de görülen zayıf pik selülozun iskeletini oluşturan  $\beta$ -glukozidik bağa ait karakteristik bir piktir. Spektrumlar incelendiğinde ham BS dışındaki diğer spektrumlarda bu karakteristik pik zayıf ama net şekilde görülmektedir. NaOH ve NaOH- $\text{H}_2\text{O}_2$  spektrumları ayrı değerlendirildiğinde,  $\text{H}_2\text{O}_2$  uygulamasının fonksiyonel gruplar bakımından belirgin bir fark oluşturmadığı görülmektedir.



**Şekil 4.13.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait FTIR analizi sonuçları (P0, P1, P2, P3, P4)

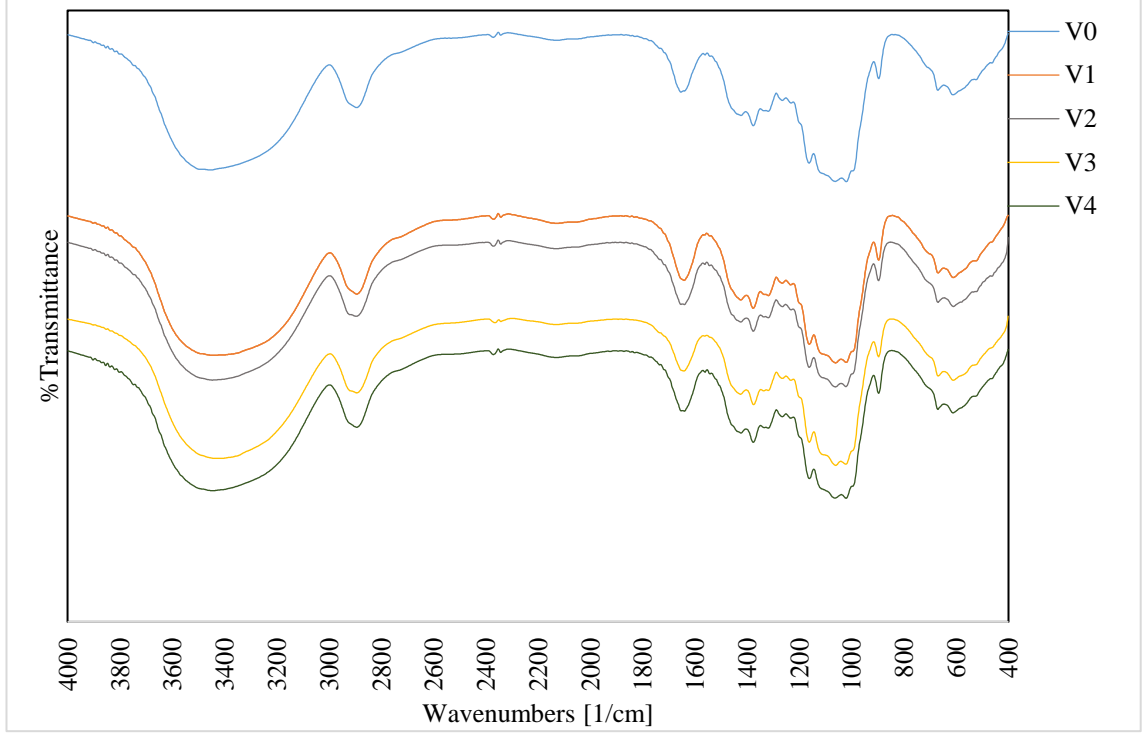
Şekil 4.13'te verilen ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait FTIR analizi sonuçlarına göre en yüksek tepe noktası yaklaşık  $3400\text{ cm}^{-1}$  olan geniş bir pik sergileyen ham pamuklu kumaş numunesi, selüloz moleküllerinde OH-germe

titreşimine karşılık gelmektedir. 2900  $\text{cm}^{-1}$ 'de C – H germe titreşimi tespit edilmiştir. Zirve, 1059  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülmekte olup, C – O esnemesine karşılık gelmektedir. BS kimyasal yapı olarak pamuk selülozdan farklı olmadığından kaplama ile FTIR spektrumunda gözle görülür bir değişiklik olmamıştır. Auta ve diğerleri (2017), BS ve normal selülozun yapısal özelliklerini incelemiş ve FTIR analizleri nedeniyle, bu iki malzemenin kimyasal yapı olarak benzer olduğunu belirtmiştir. Ek olarak, moleküller arası etkileşim arttıkça, OH-germe piklerinde bir genişleme beklenmelidir. Buna göre, eklenen her bakteri selüloz miktarı arttıkça, % geçirgenlik azalır ve karakteristik OH-germe tepeleri yaklaşık 3400  $\text{cm}^{-1}$  civarında genişler. Bu, pamuklu kumaşın yapısındaki D-glikoz birimlerinin, BS'un yapısındaki D-glikoz birimleri arasında bir etkileşime (hidrojen bağı) sahip olduğunu gösterir. FTIR spektrumunda görülen yapı ile ilgili diğer pikler de Çizelge 4.10 'da sunulmuştur.

**Çizelge 4.10.** FTIR spektrumunda görülen pamuk numuneler ile ilgili diğer pikler

<b>Dalga Boyu (<math>\text{cm}^{-1}</math>)</b>	<b>Fonksiyonel Grup</b>
3400	OH germe, çok güçlü, keskin
2900	C-H germe
1630	H-O-H gerilme, orta kuvvette
1430	H-C-H ve O-C-H düzlem titreşiminin içinde bükülme
1372	C-H deformasyon titreşimi
1059	C-O germe
667	C-OH düzlemden bükülme

İşlem görmemiş ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait FTIR verileri Şekil 4.14 ve Çizelge 4.11'de verilmiştir.



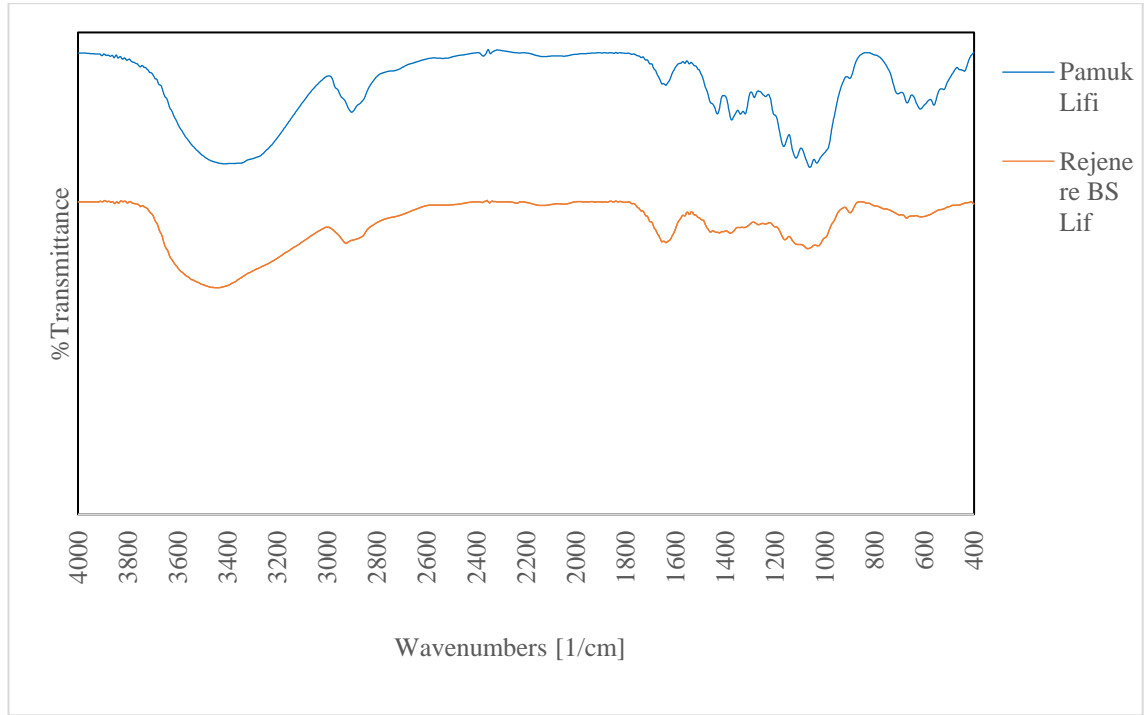
**Şekil 4.14.** Ham ve farklı oranlarda rejener BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait FTIR analizi sonuçları (V0, V1, V2, V3, V4)

Şekil 4.14'te ki spektrumlarda fonksiyonel gruplara ait belirgin pikler tabloda verilmiştir. Spektrumlarda, selülozun ana iskeletini oluşturan glikoz birimlerindeki -OH grupları  $3400\text{ cm}^{-1}$  de geniş pikler ile karşımıza çıkmaktadır.  $2800\text{-}2950\text{ cm}^{-1}$  civarındaki pikler alifatik C-H gruplarına ait karakteristik piklerdir. Karakteristik  $\text{-C-O}$  ve  $\text{-C-O-C}$  fonksiyonel gruplarına ait pikler  $1056$  ve  $1156\text{ cm}^{-1}$  de görülmektedir.  $896\text{ cm}^{-1}$  de görülen zayıf pik selülozun iskeletini oluşturan  $\beta$ -glukozidik bağa ait karakteristik bir piktir. BS kaplanması i  $1640\text{ cm}^{-1}$  de görülen  $\text{H}_2\text{O}$  piki ise yapıdan suyun tamamen uzaklaşmadığını göstermektedir. BS ile kaplanmamış kumaşın(V0) spektrumunda da bu pik görülmektedir. Kumaşın selülozdan ve selülozun da glukoz birimlerinden oluştuğu düşünüldüğünde kumaş havadaki nemi hidrojen bağları yaparak tuttuğu düşünülmektedir. Selülozun moleküler yapısı ile spektrumlarda belirlenen pikler uyumlu olmakla birlikte, kumaşın kaplama yapılmadan önceki ve BS ile kaplama yapıldıktan sonraki spektrumları parmak izi bölgesine kadar aynı olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.11.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait FTIR analizinde görülen pikler ve bu piklere karşılık gelen fonksiyonel gruplar (V0, V1, V2, V3, V4)

Dalga Sayısı (cm <sup>-1</sup> )	Fonksiyonel Gruplar
3416	OH gerilme, geniş
2800-2950	C-H gerilme
1640	H-O-H gerilme, orta kuvvette
1436	H-C-H ve O-C-H düzlem içi bükülme
1370	C-H deformasyon titreşimi
1056	C-O gerilme
654	C-OH düzlem dışı bükülme

Üretimi sağlanan rejenere BS lifine ait FTIR analizi Şekil 4.13'te verilmiştir.

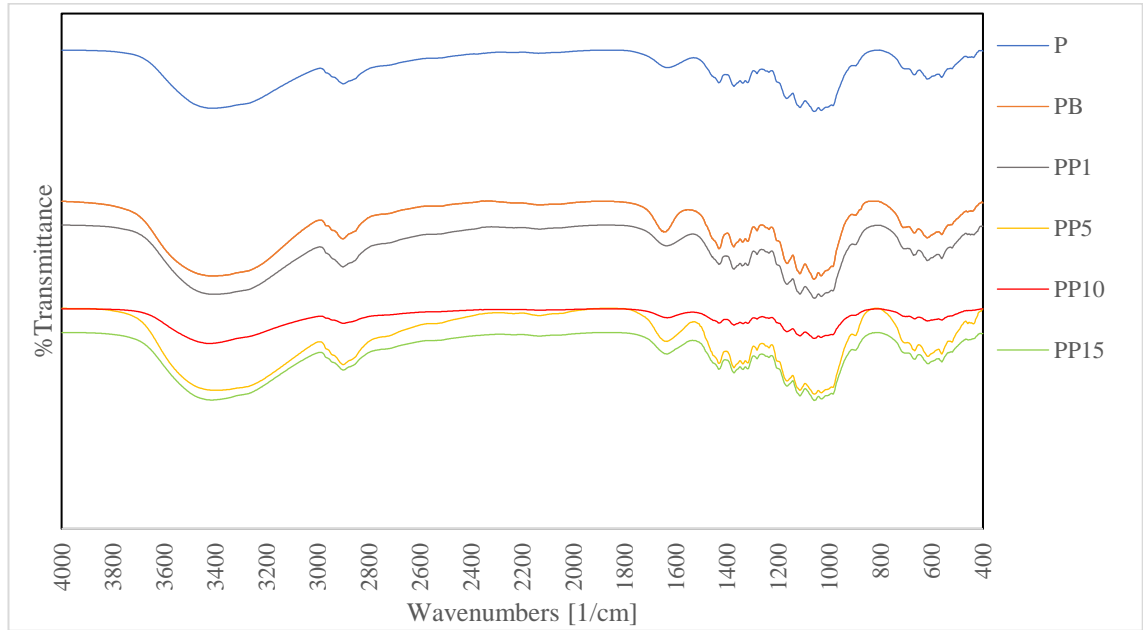


**Şekil 4.15.** Üretimi sağlanan rejenere BS lifi ile pamuk liflerine ait karşılaştırmalı FTIR analizi verileri

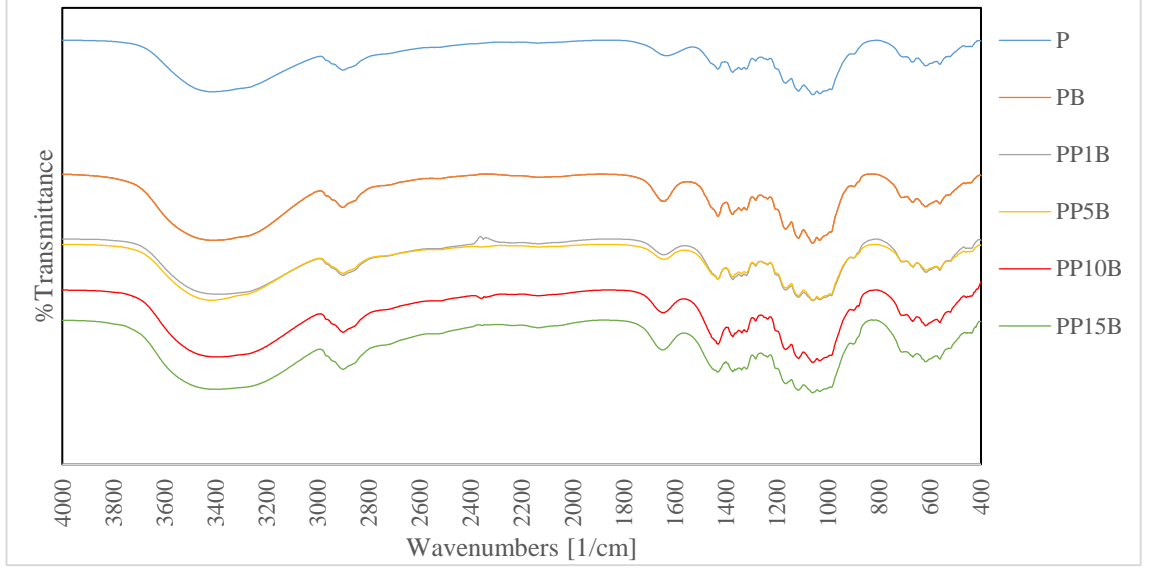
Şekil 4.15'te verilen üretimi sağlanan rejenere BS lifi ile pamuk liflerine ait karşılaştırmalı FTIR analizi verilerine göre Pamuk ve BS,  $\beta$ - (1  $\rightarrow$  4) -glikosidik bağ ile bağlanan D-glikoz monomer birimlerinden oluşur. Kimyasal yapıları aynı olduğundan, her iki lifin FT-IR spektrumundaki pikler aynıdır. O – H intermoleküler bağın varlığı,

3400  $\text{cm}^{-1}$ 'de bandın varlığı ile gösterilirken, C-H gerilmesi 2890  $\text{cm}^{-1}$ 'de saptanmıştır. 1650  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki zirve, yıkama veya absorbe edilmiş  $\text{H}_2\text{O}$  için kullanılan su molekülünün H-O-H gerilmesinin karakteristik zirvesidir.

Şekil 4.16'da verilen pamuk, rejenere BS kaplanmış pamuk ve farklı sürelerde oksijen plazma uygulanmış olan pamuk ipliklerine ait FTIR analizi verilerinde, pamuk ipliğın FTIR spektrumu incelendiğinde hem pamuğun hem de BS nin temel bileşeni D-glukoz birimleri olduğundan FTIR spektrumlarında görülen bandlar aynı fonksiyonel gruplara aittir ve ilgili pikler Çizelge 4.9'da özetlenmiştir. Plazma işleminden sonra ise; işlem görmüş yüzeyde -C-OH gibi oksijen içeren grupların oranı artması ile bu fonksiyonel gruplara ait bandların (3400, 1430  $\text{cm}^{-1}$ ) genişlediği görülmüştür.



**Şekil 4.16.** Pamuk, rejenere BS kaplanmış pamuk ve farklı sürelerde oksijen plazma uygulanmış olan pamuk ipliklerine ait FTIR analizi verileri



**Şekil 4.17.** Pamuk, rejenere BS kaplanmış pamuk ve farklı sürelerde oksijen plazma uygulaması sonrası rejenere BS uygulanmış pamuk ipliklerine ait FTIR analizi verileri

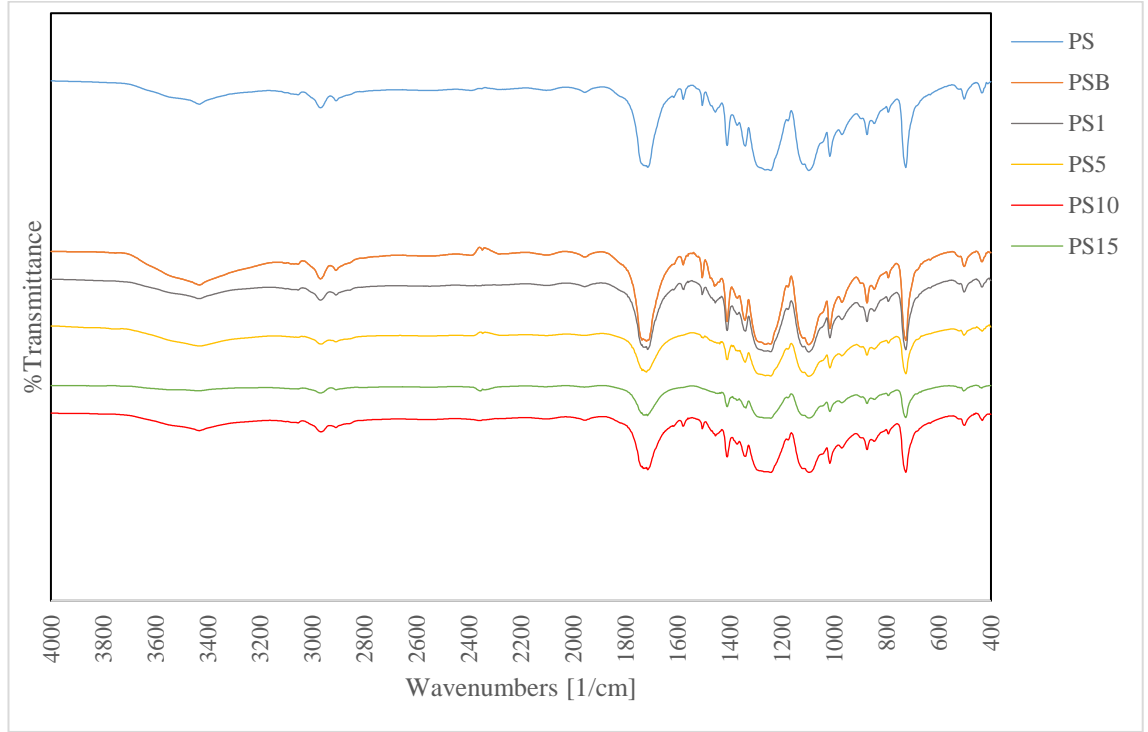
Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da verilen polyester numunelerine ait FTIR spektrumları incelendiğinde, zayıf C – H gerilme ve eğilme polyesterdeki benzen halkalarının C–C düzlem dışı bükülme titreşimleri sırasıyla 2968, 725 ve 873  $\text{cm}^{-1}$  de görülmektedir. 3432 ve 1016  $\text{cm}^{-1}$  de görünen bantlar, moleküller arası O-H, polyester zincirlerinde C=O gruplarına bağlı ve terminal karboksilik gruplarında O-H düzlem dışı bükülmeye aittir. Benzen halkasındaki C=C gerilimine ait pik ise 967  $\text{cm}^{-1}$  de görülmektedir. Polyester için ester bağları, 1714  $\text{cm}^{-1}$  de karbonil gruplarının güçlü C = O simetrik gerilmesi ile karakterize edilmiştir. 1950  $\text{cm}^{-1}$ ’deki zayıf pik de anhidrit gruplarına aittir.

BS ile kaplanmış polyesterin FTIR’ı incelendiğinde, polyesterden farklı olarak 3400  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki OH pikinin daha genişlediği görülmektedir. Bu da BS’un yapısındaki serbest OH gruplarından kaynaklanmaktadır.

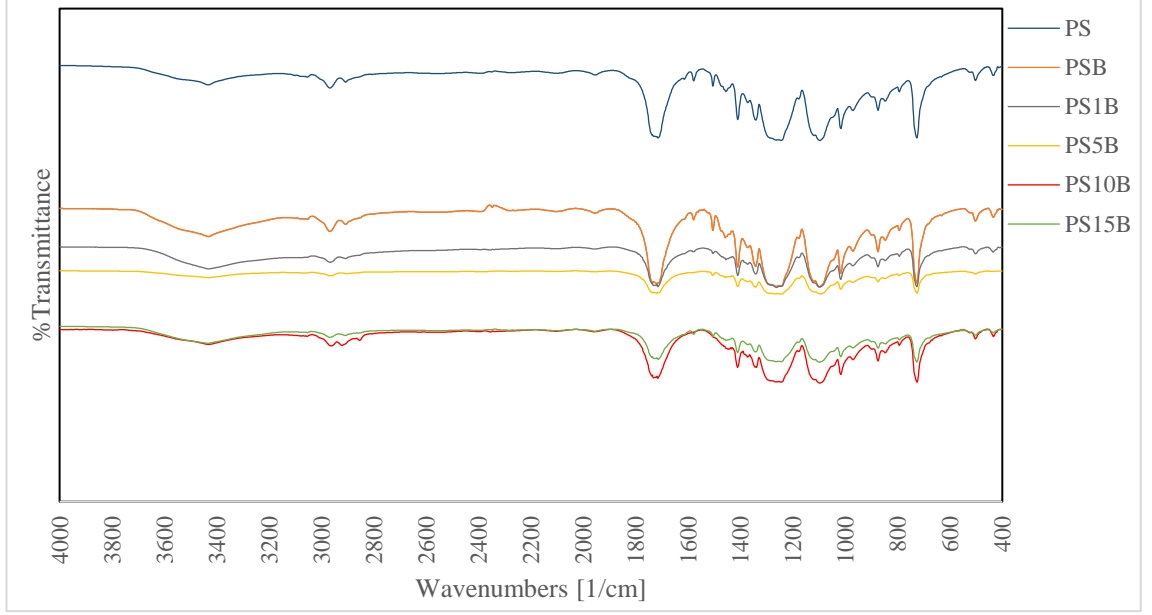
Plazma işleminden sonra ise 1714  $\text{cm}^{-1}$ ’deki C=O (karbonil) pikinin daha da yayvanlaştığı görülmektedir. Ayrıca, metilen grubundaki C – H bağlarının bükülme titreşimleri nedeniyle 1500  $\text{cm}^{-1}$ ’de absorpsiyon yoğunluğunda hafif bir azalma gözlenmiştir. Ayrıca, işlem görmüş yüzeyde C=O, –C–OH ve –COOH gibi oksijen içeren grupların oranı artmıştır. Bu sonuçlar, polyester kumaş yüzeyindeki bazı C–C bağlarının oksijen plazma işlemleri ile kırılacağına atfedilebilir. FTIR spektrumunda görülen polyester numuneler ile ilgili pikler Çizelge 4.12’de verilmiştir.

**Çizelge 4.12.** FTIR spektrumunda görülen polyester numuneler ile ilgili pikler

Dalga Boyu (cm <sup>-1</sup> )	Fonksiyonel Grup
3432	O-H düzlem dışı bükülme
3400	OH germe, çok güçlü, keskin
2968	C-C düzlem dışı bükülme
1950	Anhidrit gruplar
1714	C=O simetrik gerilme
1500	C-H bükülme titreşimi
1016	O-H düzlem dışı bükülme
967	C=C gerilimi
873	C-C düzlem dışı bükülme
725	C-C düzlem dışı bükülme



**Şekil 4.18.** Polyester, rejenere BS kaplanmış polyester ve farklı sürelerde oksijen plazma uygulanmış olan polyester ipliklerine ait FTIR analizi verileri



**Şekil 4.19.** Polyester, rejenere BS kaplanmış polyester ve farklı sürelerde oksijen plazma uygulaması sonrası rejenere BS uygulanmış polyester ipliklerine ait FTIR analizi verileri

#### 4.4. Kopma Mukavemeti Analizi

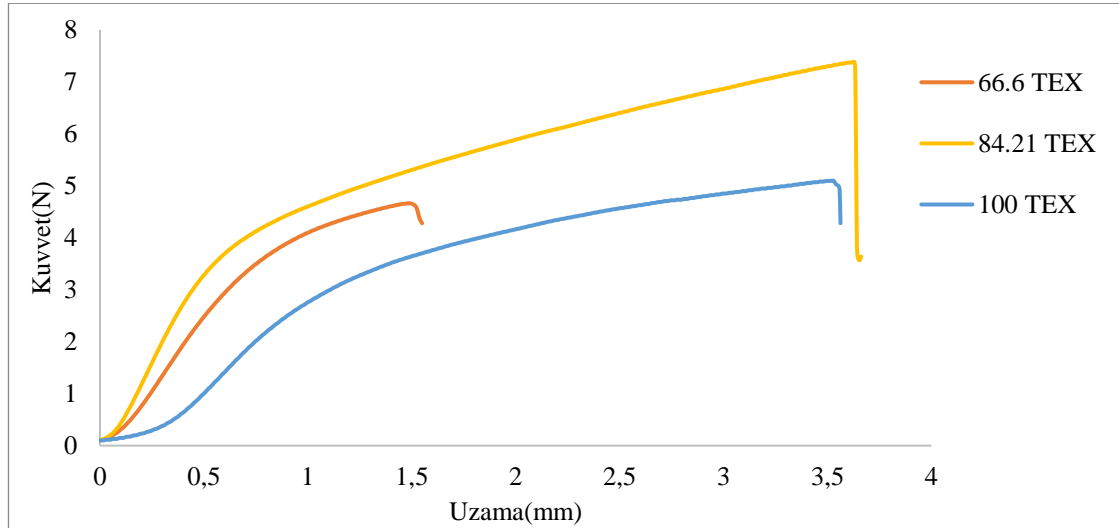
Rejenere BS ipliğın, kaplanmış kumaş numunelerinin (Pamuk ve Viskon) ve kaplanmış ipliklerin (Polyester ve Pamuk) kopma mukavemetleri incelenmiştir. Üretimi sağlanan rejenere BS ipliğın mukavemet değerlerinin literatür ile uyumlu olup olmadığına bakılırken, kumaşlarda kaplama sonrası mukavemet değışiklikleri incelenmiştir. Bunların yanı sıra iplik kaplanmış olan numunelerde, plazma uygulaması yapılmadan kaplanan iplikler ile plazma uygulaması yapılmış ve kaplanmış olan numunelerde meydana gelen mukavemet değerleri incelenmiştir.

İlk olarak rejenere BS iplikleri incelendiğinde elde edilen sonuçlarda üretimi sağlanan lifin kopma mukavemeti değerlerinin daha önce yapılmış olan çalışmalara göre biraz düşük olduğu Çizelge 4.13’de görölmektedir. Buna ek olarak, farklı iplik numaralarına sahip BS liflerinin kuvvet- uzama grafiğinin olduğu Şekil 4.20 incelendiğinde elde edilen numunelerden en mukavemetli olan numunenin 84,21 Tex iplik numarasına sahip olan numune olduğu görölmekte ve numunelerin kopma uzama eğrisinin sentetik liflere benzediği görölmektedir. Bu sonuçlar daha düzenli ve sürekli sistemler ile homojen BS lifi üretiminin yapılabileceğini göstermektedir.



**Çizelge 4.13.** Çalışmada üretilen rejenere BS lifi ile literatürdeki çalışmaların kıyaslaması

Örnek	Çekme Mukavemeti (cN/dtex)	Kopma Anındaki Uzama (%)	Kaynak
RBS 1	0,5-0,9	1,6-4,3	Çalışmamızda Üretilen
RBS 2	0,5-1,5	3-8	Gao ve diğerleri (2011)
RBS 3	2,5-6,5	5,5-7,1	Wu ve diğerleri (2017)
Kupramonyum Rayon	1,5-2,0	7-23	Gao ve diğerleri (2011)
Viskoz Rayon	2,0-2,4	20-25	Gao ve diğerleri (2011)
Liyosel	4,0-4,4	14-16	Gao ve diğerleri (2011)

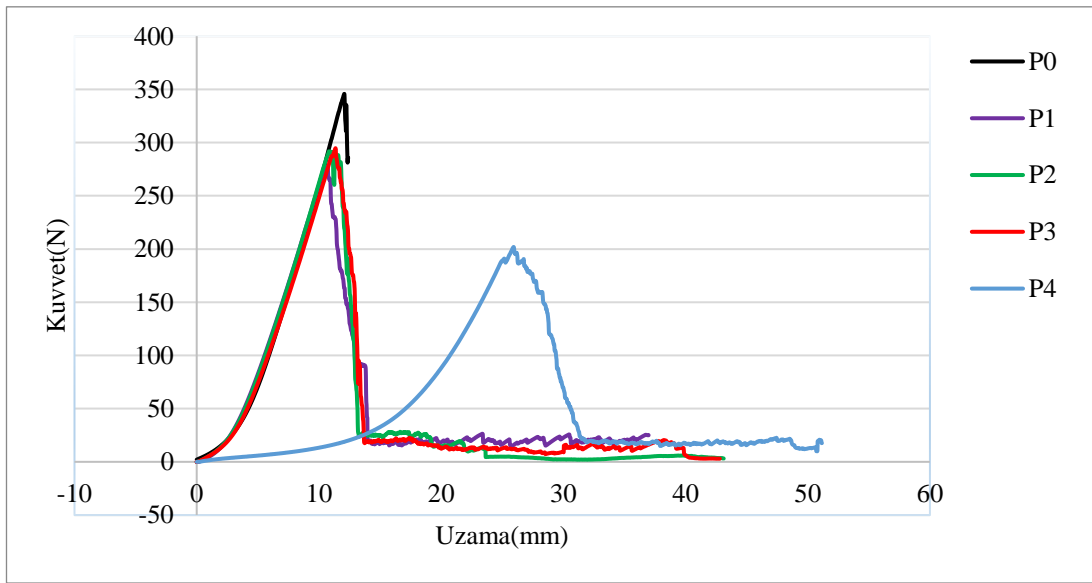


**Şekil 4.20.** 66,6 Tex, 84,21 Tex ve 100 Tex iplik numaralı rejenere BS liflerine ait Kuvvet-Uzama grafiği

Çalışmada ikincil olarak pamuk ve viskon kumaş numunelerine uygulanan kaplama işleminin ve kaplama malzemesi miktarındaki artışın malzemenin mekanik özelliklerinde herhangi bir değişikliğe neden olup olmadığını belirlemek için mekanik analiz yapılmıştır. Malzemelerin çekme özellikleri Şekil 4.21’de ve Şekil 4.22’de verilmiştir.

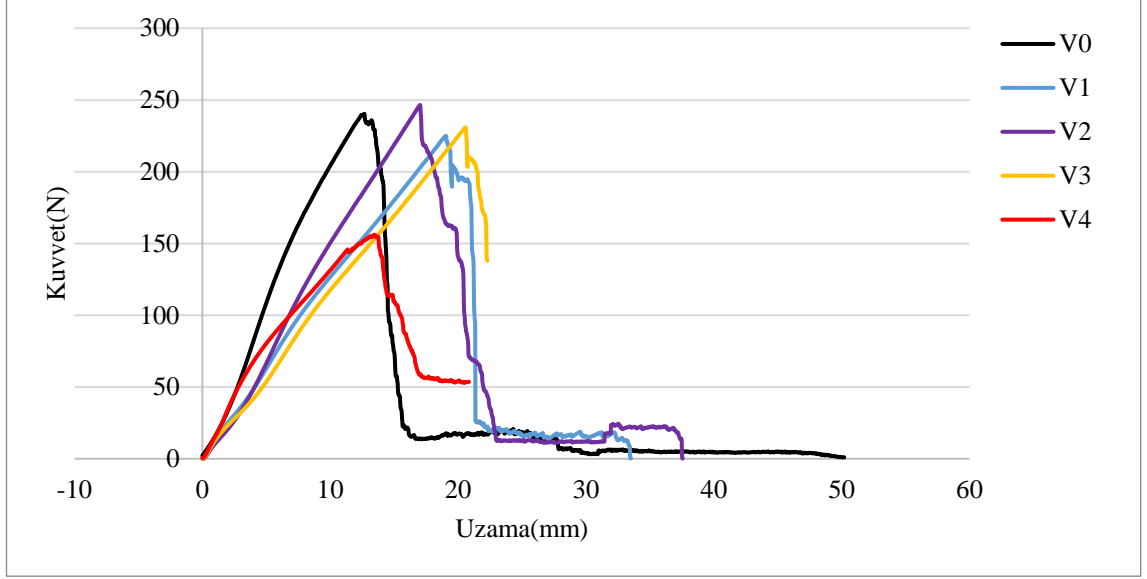
Pamuklu numuneler incelendiğinde mekanik analiz sonucunda ham pamuk kumaşın kopma kuvveti 345 N olarak ölçülmüştür. Kaplama işleminden sonra numunelerde genel

itibari ile mukavemet kaybı olmuştur. Kaplama miktarındaki artışa göre mukavemet kaybı sırasıyla %20.06 (P1), %15,99 (P2), %15.05 (P3), %41.616 (P4)'tür. Ham kumaşa göre mukavemet kaybı en fazla olan numune 201.86 N ile P4'tür. Zhong ve diğerleri (2016), kenevir/pamuk karışımı ipliklere 6 farklı işlem uygulamış ve malzemelerin çekme özelliklerini incelemiştir. Bu işlemlerden birinde, iplikler 45 dakika su ile ön işleme tabi tutulmuş ve ardından 120 dakika %10 DMAc/LiCl çözeltisi ile işlem görmüştür. Bu işlem nedeniyle yazarlar, ipliklerin frenleme kuvvetinde bir azalma olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuç çalışmada elde edilen verileri desteklemektedir.



**Şekil 4.21.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait Kuvvet- Uzama grafiği (P0, P1, P2, P3, P4)

Viskon numuneler incelendiğinde ise V2 (246 N) kodlu numune dışında, kaplanmış numunelerin kopma mukavemeti değerlerinin ham kumaşa (240 N) göre daha az olduğu görülmektedir. V2 kodlu numunede %2,5'lik bir artış gözlenirken, V1 kodlu numunede %6,66'lık, V3 kodlu numunede %4,16'lık ve V4 kodlu numunede %35'lik azalma gözlenmiştir. Özellikle V4 (156 N) kodlu numunede belirgin bir mukavemet kaybı vardır. V1 (224 N) ve V3 (230 N) kodlu numunelerde kabul edilebilir bir azalma var.



**Şekil 4.22.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait Kuvvet- Uzama grafiği (V0, V1, V2, V3, V4)

Kumaştaki mukavemet kaybının, kuvvetli bir çözücü olan DMAc/LiCl'nin kumaş yapısına geçişi ve yapısında bozulmaya neden olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Özellikle P4 ve V4 kodlu numunelerde kaplama malzemesinin artmasıyla kaplama çözeltisindeki DMAc/LiCl miktarı artar ve bu artışla birlikte dayanım kaybının da arttığı tahmin edilmektedir.

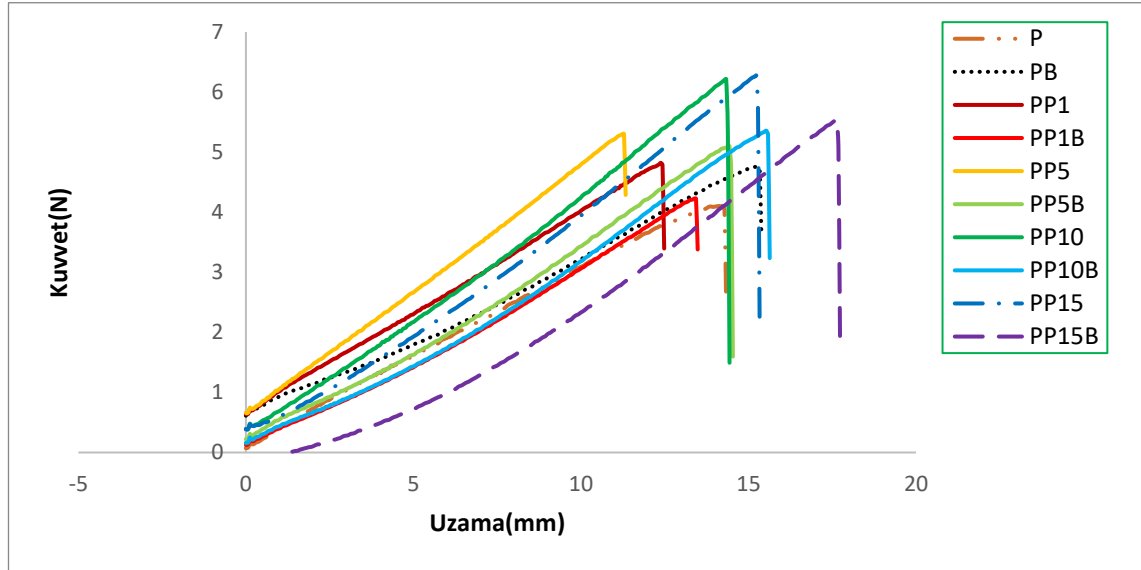
Kopma mukavemeti analizinde son olarak BS kaplanmış pamuk ve polyester ipliklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Plazma işlemi sonrasında pamuk ipliğin mukavemetinde artış görülmüştür. Literatürde, oksijen plazma uygulaması görmüş olan pamuk liflerin işlem sonrasında uygulama süresine bağlı olarak mukavemetlerinde artışlar gözlemlendiği daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Koçak, 2015).

Pamuk ipliğe BS uygulaması sonrasında pamuk ipliğinin mukavemetinde artış gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, plazma uygulaması sonrasında BS kaplanmış olan numunelerde ise plazma işlemi görmüş numunelere göre mukavemet kayıpları gözlenmiştir. Bu kayıpların ise plazma uygulaması sonrası pamuk ipliğinin BS alımının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çizelge 4.13 ve Şekil 4.23'te ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere

BS ile uygulama yapılmış pamuk ipliklerine ait kopma mukavemeti değerleri ve eğrisi verilmiştir.

**Çizelge 4.14.** Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış pamuk ipliklerine ait kopma mukavemeti değerleri

Numune	Maksimum Kuvvet(N)	Maksimum Uzama(mm)	Maksimum Gerilme(N/TEX)	%CV
P	4,05	5,80	0,17	9,01
PB	4,87	5,93	0,20	9,00
PP1	4,83	4,86	0,20	7,25
PP5	5,23	4,70	0,22	8,62
PP10	6,13	5,63	0,25	5,52
PP15	6,31	5,81	0,26	6,81
PP1B	4,24	5,55	0,17	7,00
PP5B	5,04	5,98	0,21	9,07
PP10B	5,36	6,38	0,22	6,08
PP15B	5,56	6,69	0,23	6,46



**Şekil 4.23.** Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış pamuk ipliklerine ait Kuvvet-Uzama grafikleri

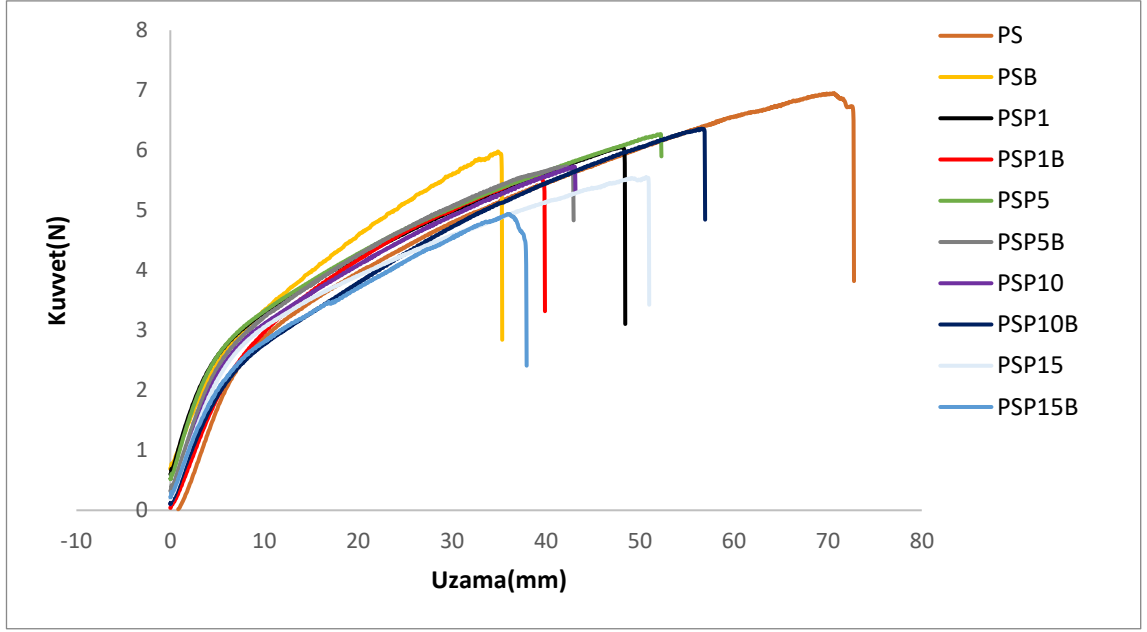
Plazma işlemi sonrasında polyester ipliğin mukavemetinde düşüş görülmüştür. Literatürde, oksijen plazma uygulaması görmüş olan polyester liflerin işlem sonrasında

uygulama süresine bağı olarak mukavemetlerinde düşüşler gözleendiği daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Ferrante ve diğeri, 1999).

Polyester ipliğe BS uygulaması sonrasında polyester ipliğinin mukavemetinde düşüş gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, plazma uygulaması sonrasında BS kaplanmış olan numunelerde ise PSP10B kodlu numune haricinde plazma işlemi görmüş numunelere göre mukavemet kayıpları gözlenmiştir. Çizelge 4.15 ve Şekil 4.24'te ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış polyester ipliklerine ait kopma mukavemeti değerleri ve eğrileri verilmiştir.

**Çizelge 4.15.** Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış polyester ipliklerine ait kopma mukavemeti değerleri

Numune	Maksimum Kuvvet(N)	Maksimum Uzama(mm)	Maksimum Gerilme(N/TEX)	%CV
PS	6,94	24,42	0,23	6,88
PSB	5,54	15,11	0,18	24,31
PSP1	6,05	19,99	0,20	14,74
PSP5	6,26	18,82	0,21	9,47
PSP10	5,82	17,04	0,19	7,97
PSP15	5,64	15,47	0,19	11,43
PSP1B	5,50	16,24	0,18	20,00
PSP5B	5,63	15,09	0,19	14,08
PSP10B	6,42	19,55	0,21	13,01
PSP15B	5,13	14,99	0,17	22,49



**Şekil 4.24.** Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış polyester ipliklerine ait Kuvvet-Uzama grafikleri

#### 4.5. TGA Analizi

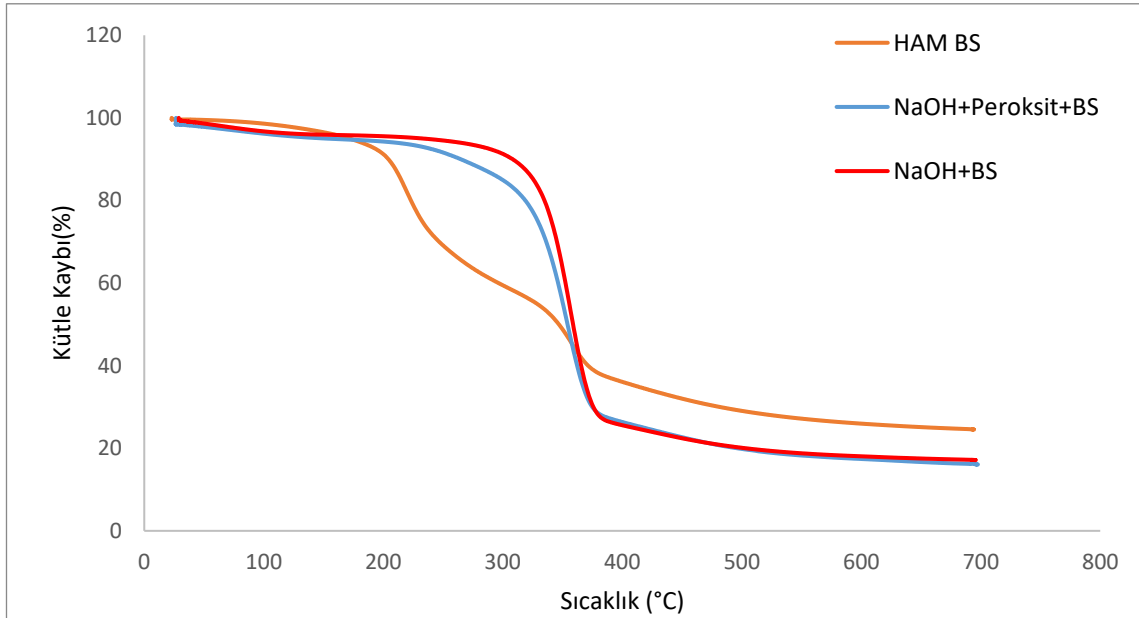
Ham BS ve saflaştırılmış BS'nin , işlem görmemiş ham mamullerin (kumaş ve iplik) ve kaplanmış olan numunelerin ısıya karşı olan davranışlarının anlaşılabilmesi amacı ile TGA analizi yapılmıştır.

Ham, NaOH uygulanmış, NaOH sonrası hidrojen peroksit uygulanmış BS'lere ait sıcaklık – (%) kütle kaybı eğrisi ve TGA verileri Şekil 4.25 ve Çizelge 4.16'te verilmiştir.

Ham BS numunesinde 3 farklı bölgede (ilk: 25-200°C, ikinci: 250-400°C ve üçüncü:400-600°C) kütle kaybı gözlemlenmiş ve 2 basamaklı bir TGA eğrisine sahiptir. Bunun yanı sıra işlem görmüş BS numunelerinde ise 2 farklı bölgede (ilk: 25-200°C ve ikinci: 250-600°C) kütle kaybı bulunmaktadır ve tek basamaklı bir TGA eğrisi gözlenmiştir. İlk basamakta gözlenen kütle kayıplarının sebebinin membran dehidrasyonu veya yüzey suyunun buharlaşması olduğu düşünülmektedir. Bu kısımda ham BS 'de kütle kaybı %9 iken işlem görmüş numunelerde kütle kaybı %5 olarak gözlenmiştir. Literatürde yapılan önceki çalışmalarda ham BS'de 150-250°C arasında meydana gelen ilk basamağın

protein kaynaklı safsızlıklardan meydana geldiği belirtilmiştir (Gea ve diğerleri, 2011). Ham BS'de iki farklı basamak olduğu için 2 farklı maksimum kütle kaybı sıcaklığı gözlenmiştir ( $T_{max1}= 221^{\circ}C$ ,  $T_{max2}= 356^{\circ}C$ ). İşlem görmüş ve saflaştırılmış BS tabaklarında ise maksimum kütle kaybı tek basamakta gerçekleştiği için bir tane kütle kaybı sıcaklığı gözlenmiştir ( $T_{max NaOH} = 356^{\circ}C$  ve  $T_{max NaOH + hidrojen peroksit} = 354^{\circ}C$ ). Saflaştırılmış olan BS'lere ait maksimum kütle kaybı sıcaklıkları literatür ile de örtüşmektedir (Gea ve diğerleri, 2011; Machado ve diğerleri, 2016).

Örneklerin  $694^{\circ}C$ 'deki kalan madde miktarları incelendiğinde en fazla kalan madde miktarının ham BS'ye (%24,5), daha sonra NaOH uygulanmış BS'ye (%17,16) ve en son olarak NaOH sonrası hidrojen peroksit uygulaması görmüş olan BS'ye (%16,17) ait olduğu görülmektedir. Meydana gelen ağırlık kayıpları termal bozunma sonucunda BS'un depolimerizasyonuna ve dehidroselülozun gazlara (su, karbon monoksit ve karbon dioksit) ayrışması ile açıklanmaktadır (Barud ve diğerleri, 2007; Machado ve diğerleri, 2016). Ham BS'nin en fazla kalan madde miktarına sahip olmasının sebebi ise EDX analizinde de görülen safsızlıklardır ve özellikle fosfor ve klor elementlerinin varlığıdır (Gea ve diğerleri, 2011).



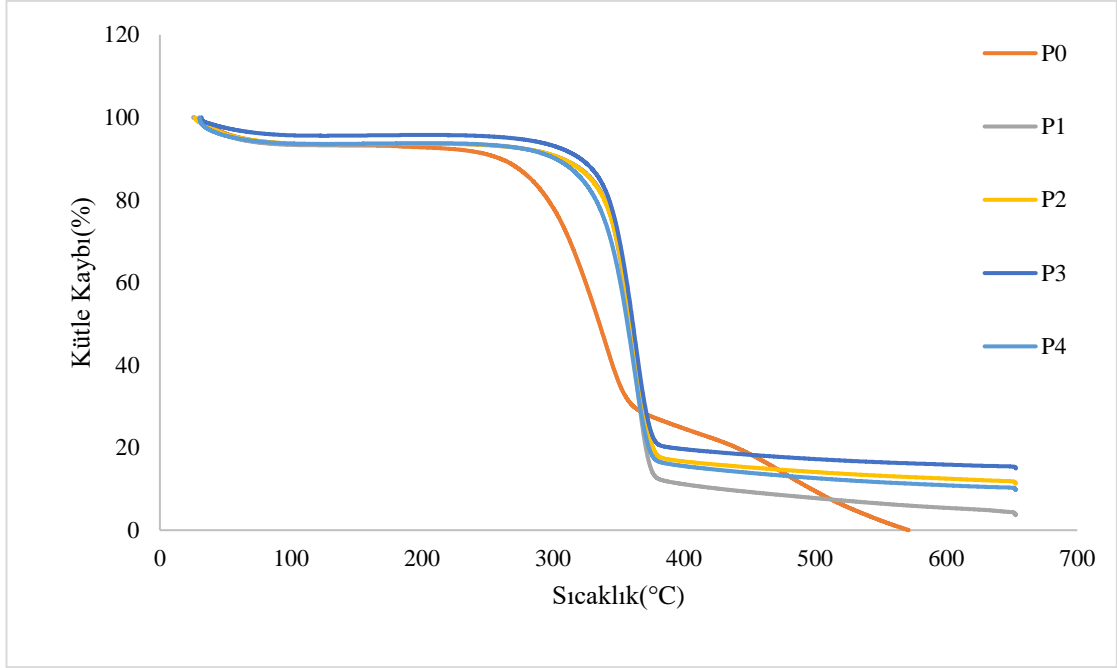
**Şekil 4.25.** Ham, NaOH uygulanmış, NaOH sonrası hidrojen peroksit uygulanmış BS'lere ait Sıcaklık – (%) Kütle Kaybı eğrisi

**Çizelge 4.16.** Ham, NaOH uygulanmış, NaOH sonrası hidrojen peroksit uygulanmış BS'lere ait TGA verileri

Numune	Tmax <sub>1</sub>	Tmax <sub>2</sub>	% Kalan Madde Miktarı (694°C)
Ham BS	221°C	356°C	24,50
NaOH+BS	356°C	-	17,16
NaOH+BS+Peroksit	354°C	-	16,17

Farklı oranlarda BS çözeltisi ile kaplanmış pamuk kumaşlar ve ham pamuk kumaş numunelerinin TGA analizi azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. TGA sonuçları Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Şekilde numunelerin termal bozunmasının tek adımda gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Numunelerdeki suyun buharlaşması nedeniyle ilk ağırlık kaybı 100°C civarında meydana gelmiştir (Wong, Kasapis ve Tan 2009). Kaplanmış malzemelerde meydana gelen önemli ağırlık kayıplarının 294–380°C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Ham kumaş ta bu sıcaklık aralığı 264–361°C arasındadır. Bu ağırlık kayıpları, ısı etkisi altında moleküllerin dehidrasyonu ve bozunması sonucu meydana gelmiştir (Gao, Shen ve Lu 2011; Shao ve ark. 2016). Veriler incelendiğinde kaplanmış kumaşların ilk bozunma sıcaklığı ham kumaşa göre yaklaşık %11 daha yüksektir. Numunelerin maksimum ağırlık kaybı sıcaklıkları (Tmax) sırasıyla 338°C (ham kumaş), 363°C (P1), 364°C (P2), 363°C (P3) ve 362°C'dir (P4). Bu verilere göre kaplama işlemi kumaşın maksimum ağırlık kaybı sıcaklığını yaklaşık %7,3 oranında artırmıştır. TGA analizi sayesinde ham ve kaplamalı kumaşlarda oluşan kalıntı miktarları değişkenlik göstermektedir. Numunelerin yüzde kalıntı miktarları sırasıyla ağırlıkça %0 (Ham kumaş), ağırlıkça %3,57 (P1), %11,22 (P2), %14,93 (P3) ve %9,75'tir (P4). Bu sonuç, rejenere BS ile kaplanmış kumaşların, piroliz sırasında daha yüksek kömür verimi (uçucu olmayan karbonlu malzeme) verdiğini göstermiştir. Kaplanmış numuneler kendi aralarında karşılaştırıldığında, en fazla kaplama malzemesi içeren P3 kodlu numunenin kalıntı miktarı daha fazladır. Ayrıca yüzeyde kalan kaplama malzemesi miktarı ile kalıntı miktarı arasında doğru orantı olduğu diğer verilerden de gözlemlenmektedir. Analiz sonrası elde edilen verilere göre kaplanmış numunelerin termal stabilitesinin işlem görmemiş kumaşa göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

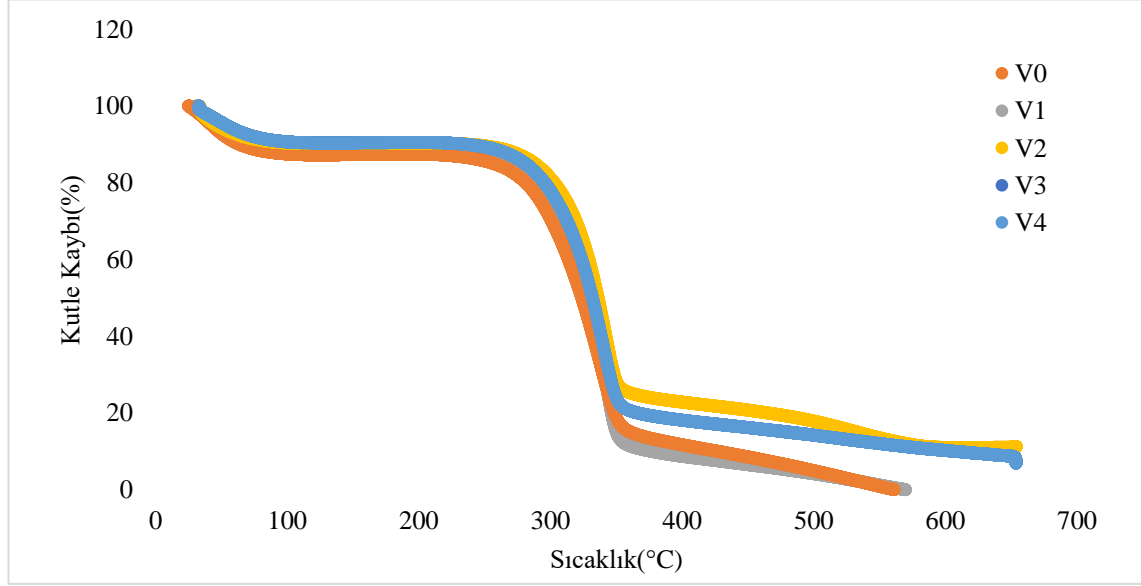




**Şekil 4.26.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait TGA eğrileri (P0, P1, P2, P3, P4)

Şekil 4.27’de verilen ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait TGA eğrileri incelendiğinde viskon numunelerde de pamuk numunelerde olduğu gibi suyun buharlaşması nedeniyle numunelerde ilk ağırlık kaybı 100°C civarında meydana gelmiştir. Kaplanmış malzemelerde meydana gelen önemli ağırlık kayıplarınının 263–374°C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Ham kumaş ta bu sıcaklık aralığı 250–365°C arasındadır. Bu ağırlık kayıplarınının, pamuk numunesinde olduğu gibi ısı etkisi altında moleküllerin dehidrasyonu ve bozunması sonucu meydana geldiği belirtilmiştir. (Gao ve diğerleri, 2011; Shao ve diğerleri 2016). İlgili datalara bakıldığında kaplanmış kumaşların ilk bozunma sıcaklığı ham kumaşa göre yaklaşık %5,2 daha yüksektir. Numunelerin maksimum ağırlık kaybı sıcaklıkları (Tmax) sırasıyla 338°C (ham kumaş), 342°C (V1), 343°C (V2), 342°C (P3) ve 342°C'dir (P4). Bu verilere göre kaplama işlemi kumaşın maksimum ağırlık kaybı sıcaklığını yaklaşık %1,2 oranında artırmıştır. TGA analizi sonucunda elde edilen verilere göre ham ve kaplamalı kumaşlarda oluşan kalıntı miktarları değişkenlik göstermektedir. Numunelerin 550 °C’deki yüzde kalıntı miktarları sırasıyla ağırlıkça %0,87 (Ham kumaş), %1,19 (V1), %13,51 (V2), %12,03 (V3) ve %11,99 (V4)'dur. Bu sonuçlar, kaplanmış kumaşların, piroliz sırasında daha fazla uçucu olmayan karbonlu malzeme verdiğini göstermiştir. Analiz sonrası elde edilen verilere

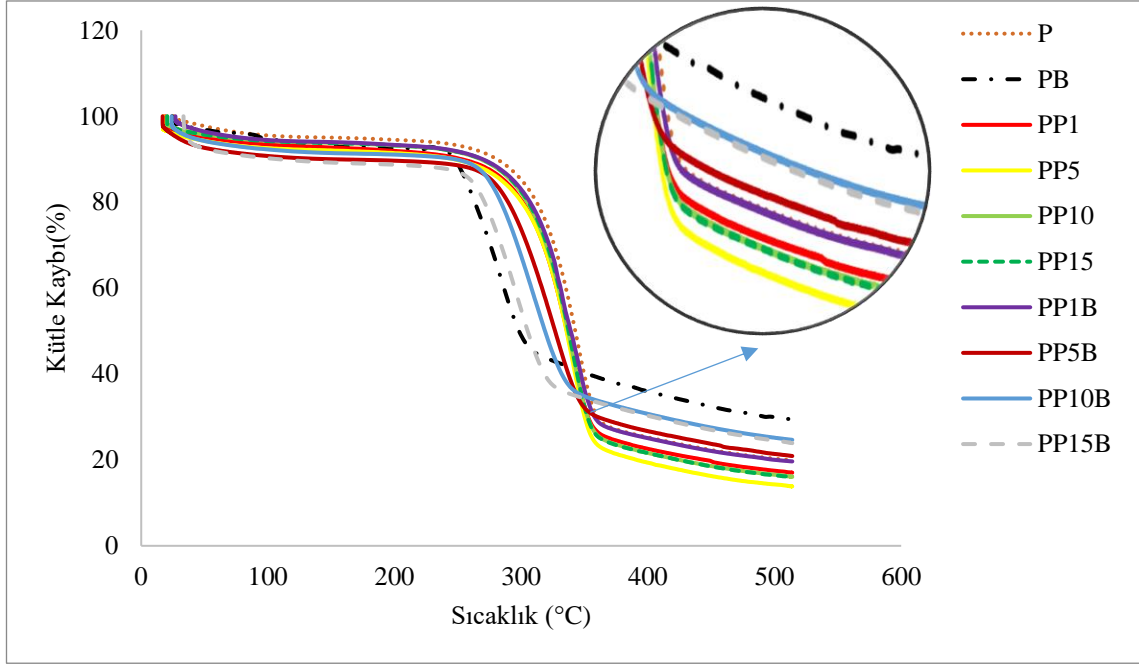
göre kaplanmış numunelerin pamuklu numunelerde olduğu gibi viskon kumaşlarda da termal stabilitesinin işlem görmemiş kumaşa göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.



**Şekil 4.27.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait TGA eğrileri (V0, V1, V2, V3, V4)

Ham, plazma uygulaması görmüş ve plazma uygulaması sonrası kaplanmış pamuk ipliği numunelerinin TGA analizi sonuçları Şekil 4.28 ve Çizelge 4.17’te gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde numunelerin termal bozunmasının tek aşamada gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Örneklerdeki ilk ağırlık kaybı, numunelerden suyun buharlaşması nedeniyle 100 °C civarında gerçekleşmiştir (Wong ve diğerleri, 2009). Kaplanmış ve plazma uygulaması görmüş malzemelerde meydana gelen önemli ağırlık kayıplarının 250-350 °C arasında olduğu gözlemlenmiştir. Ham iplikte bu sıcaklık aralığı 290-361 °C arasındadır. Bu ağırlık kayıpları, ısı etkisi altında moleküllerin dehidrasyonu ve ayrışması sonucu meydana gelmiştir (Gao ve ark.2011; Shao ve ark. 2016). Numuneler incelendiğinde plazma uygulaması görmüş numuneler pamuk ipliğine göre Tmax değerinde (maksimum ağırlık kaybı sıcaklığı) değişiklik olmazken, plazma uygulaması görmüş olan numunelerde proliz sonucunda kömürleşmiş madde miktarı azalmaktadır. Kaplanmış olan numuneler pamuk ile kıyaslandığında Tmax değerinde ((Bozunma Sıcaklığı) maksimum ağırlık kaybı sıcaklığı) düşüşler yaşanırken plazma süresi artışı ile birlikte kömürleşen madde miktarı artmaktadır. Kontrol ve BS ile işlem görmüş

numuneler arasındaki  $T_{max}$  değerindeki bu farkın, polimer termal bozunmaya tabi tutulduğunda uçucu piroliz ürünlerinin ertelenmiş oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum literatürde yapılmış olan çalışmalarda belirtilmiştir (Tang ve diğerleri, 2017).

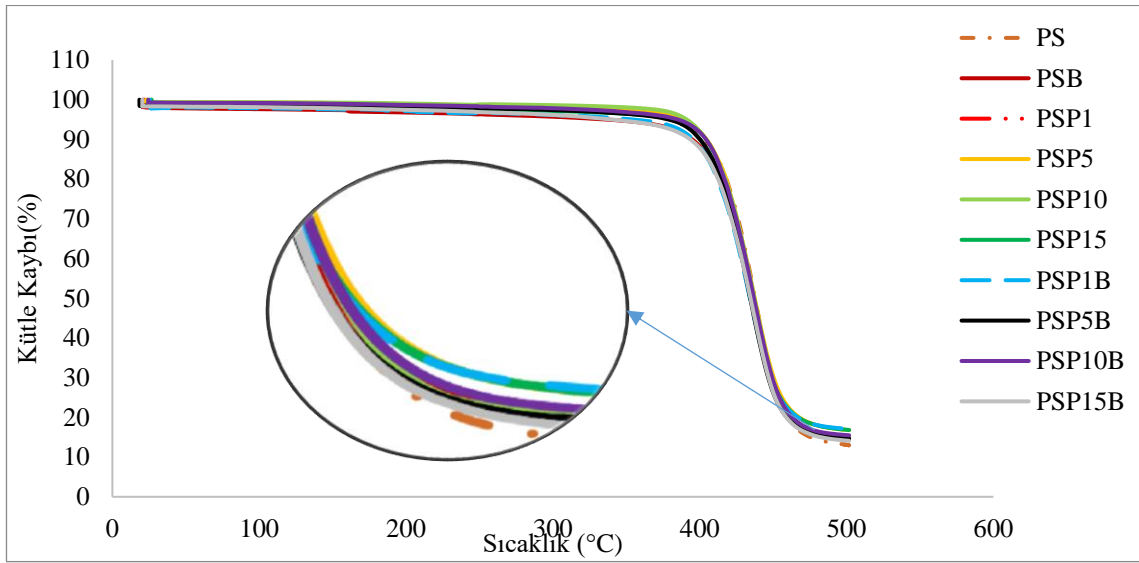


**Şekil 4.28.** Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış pamuk ipliklerine ait TGA eğrileri

**Çizelge 4.17.** Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış pamuk ipliklerine ait  $T_{max}$  ve kalan madde miktarı verileri

Numune	$T_{max}$	% Kalan Madde Miktarı (514°C)
<b>P</b>	344,77	19,89
<b>PB</b>	284,20	29,39
<b>PP1</b>	340,46	17,01
<b>PP5</b>	340,89	13,81
<b>PP10</b>	340,10	16,04
<b>PP15</b>	340,41	15,89
<b>PP1B</b>	332,69	19,64
<b>PP5B</b>	326,86	20,89
<b>PP10B</b>	309,83	24,66
<b>PP15B</b>	297,78	23,89

Polyester numuneleri incelendiğinde TGA analizi yapılan numunelerde bir farklılık gözlenmemekle birlikte Şekil 4.29 ve Çizelge 4.18 incelendiğinde numunelerin termal bozunmasının tek aşamada gerçekleştiği anlaşılmaktadır. 400°C 'a kadar neredeyse kütle kaybı açısından bir değişim gözlenmemiştir. Numunelerin bozunma sıcaklıkları 433 ile 438 °C arasında değişmektedir. Kömürleşen madde miktarlarına bakıldığında kaplama ve plazma uygulamasının miktarı arttırdığı gözlenmektedir.



**Şekil 4.29.** Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış polyester ipliklerine ait TGA eğrileri

**Çizelge 4.18.** Ham, ham ve kaplanmış, oksijen plazma uygulaması yapılmış ve plazma uygulaması sonrası rejenere BS ile uygulama yapılmış polyester ipliklerine ait Tmax ve kalan madde miktarı verileri

Numune	Tmax	Kalan Madde Miktarı (502°C)
<b>PS</b>	438,77	12,95
<b>PSB</b>	437,54	14,58
<b>PSP1</b>	438,36	14,88
<b>PSP5</b>	437,23	16,78
<b>PSP10</b>	437,69	15,20
<b>PSP15</b>	435,30	16,82
<b>PSP1B</b>	433,19	17,09
<b>PSP5B</b>	434,30	14,66
<b>PSP10B</b>	435,77	15,49
<b>PSP15B</b>	436,57	14,09

İpliklere yapılan TGA analizi sonucuna göre kaplama uygulaması piroliz sonucunda ortaya çıkan kömür miktarını arttırmıştır. Özellikle pamuklu ürüne uygulanan kaplama işlemi sonrası alınan TGA verileri kaplama malzemesinin alev geciktirici özelliği gösterebileceği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

#### 4.6. Termofizyolojik Konfor Özellikleri Analizi

Termal iletkenlik ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ), termal absorpsiyon ( $\text{Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$ ) ve termal direnç ( $\text{Km}^2\text{W}^{-1}$ ) termal konfor parametreleridir. Belirtilen ısı konfor parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan denklemler sırasıyla aşağıda verilmiştir (Hes ve Loghin, 2009; Hes ve Mangat, 2010).

$$\lambda = \frac{Q}{A \cdot \frac{\Delta t}{h}}, \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1} \quad (1)$$

Burada:

$\lambda$  – termal iletkenlik, Q – iletilen ısı, A – alan,  $\Delta t$  – sıcaklık gradyanı, h – numune kalınlığı.

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}, \text{ Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1} \quad (2)$$

Burada:

b- ısı absorpsiyon katsayısı,  $\lambda$  – termal iletkenlik – kumaş yoğunluğu, c – kumaşın özgül ısı.

$$r = \frac{h}{\lambda}, \text{ Km}^2\text{W}^{-1} \quad (3)$$

Burada:

r – termal direnç, h – numune kalınlığı,  $\lambda$  – termal iletkenlik.

Çizelge 4.19’da ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait termofizyolojik konfor değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.19.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait termofizyolojik konfor değerleri (P0, P1, P2, P3, P4)

Numune	Isıl İletkenlik ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	Isıl Absorpsiyon ( $Wm^{-2}s^{1/2}K^{-1}$ )	Isıl Direnç ( $Km^2W^{-1}$ )	Kumaş Kalınlığı (mm)
P0	0,0279 ± 0.0002	155 ± 4	0,00696 ± 0.0000	0,190 ± 0
P1	0,0308 ± 0.0001	160 ± 2	0,00727 ± 0.0000	0,222 ± 0
P2	0,0317 ± 0.0007	154 ± 6	0,00740 ± 0.0002	0,235 ± 0.0053
P3	0,0320 ± 0.0006	156 ± 6	0,00744 ± 0.0001	0,240 ± 0.0057
P4	0,0314 ± 0.0008	158 ± 5	0,00735 ± 0.0001	0,233 ± 0.0051

Isı iletkenliği yüksek olan giysiler, fiziksel aktiviteler sırasında vücutta oluşan fazla ısının dışarı atılmasını sağlar. Kaplanmış pamuklu kumaşların ısı iletkenlik değerleri 0.0308 ile 0.0320  $Wm^{-1}K^{-1}$  arasında değişmektedir. Ham pamuklu kumaş kaplamalı kumaşlarla karşılaştırıldığında ham kumaşın ısı iletkenliğinin daha düşük olduğu görülmüştür. Kaplanmış kumaşın yüksek termal iletkenliği, rejenere BS kaplama malzemesinin yüksek nem emme kabiliyetinden kaynaklanmaktadır. %100 pamuklu, %100 polyester ve %50/50 pamuk/polyester dokuma kumaşların ultrasonik ve klasik yıkama yöntemleri sonrasında ısı özelliklerinin incelendiği bir çalışmada %100 pamuklu kumaşların ısı iletkenliğinin diğer kumaşlara göre yüksek nem emme yeteneklerinden dolayı termal iletkenliklerinin daha yüksek olduğundan bahsedilmiştir (Uzun, 2012). Ul-islam ve diğerleri (2019), çalışmalarında bitki selülozu, BS, rejenere bitki selülozu ve rejenere BS yapılarının özelliklerini karşılaştırmışlardır. Aynı çalışmada bu yapıların su tutma kapasiteleri de incelenmiş ve rejenere bakteri selülozunun bitki selülozundan daha fazla su tutma kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ısı iletkenlik özelliğinin uygulama sonrasında kumaş üzerinde kalan malzeme miktarındaki artış ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Kaplama malzemesi miktarının artması malzeme kalınlığını da artırmıştır. Yukarıda verilen 1 nolu denklem incelendiğinde malzeme kalınlığındaki artışın ısı iletkenlik artışına etki eden parametrelerden biri olduğu görülmektedir.

Giysi kumaşları için önemli bir özellik olan termal absorpsiyon, insan derisinin herhangi bir tekstil yüzeyine temas etmesi sonucu oluşan 'sıcak-soğuk' hissini ifade eder. Genel olarak ısı soğurma değerlerinde fazla bir değişiklik olmamıştır.

Isıl direnç kumaş kalınlığına ve ısı iletkenliğine göre değışebilen bir parametredir. Üçüncü formülasyonda görüldüğü gibi kumaş kalınlığı ile ısı direnç arasında doğru orantı varken, ısı iletkenlik ile ısı direnç arasında ters orantı vardır. Çalışmada uygulama sonrası kumaşta kalan malzeme miktarının artması ile malzeme kalınlığı artmıştır. Bu artışa bağı olarak malzemelerin ısı direnç özellikleri artmıştır (Chidambaram ve Govindan 2012). P3 kodlu malzeme en yüksek miktarda rejenere BS içerdiğinden, en yüksek termal dirence sahip numunedir.

Viskon kumaş örneklerinin termo fizyolojik özellikleri Çizelge 4.20'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.20.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait termofizyolojik konfor değerleri (V0, V1, V2, V3, V4)

Numune	Isıl İletkenlik (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	Isıl Absorpsiyon (Wm <sup>-2</sup> s <sup>1/2</sup> K <sup>-1</sup> )	Isıl Direnç (Km <sup>2</sup> W <sup>-1</sup> )	Kumaş Kalınlığı (mm)
v0	0,0284±0.0010	179,6667±6	0,00713±0.0001	0,203333
v1	0,0310±0.0006	176,7143±5	0,00761±0.0001	0,238571
v2	0,0308±0.0004	179,1429±6	0,00757±0.0001	0,237143
v3	0,0315±0.0008	182,5714±12	0,00785±0.0003	0,247143
v4	0,0315±0.0003	174,7143±9	0,00774±0.0002	0,245714

Kaplamalı kumaşlar, ham kumaşlara göre daha yüksek ısı iletkenlik değerlerine sahiptir. Bunun hidrofilik bs yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. En yüksek ısı iletkenlik özelliği V3 ve V4 kodlu numunede gözlenmiştir. Termal absorpsiyon değerleri incelendiğinde en düşük değer V4 kodlu numunededir. Bunlara ek olarak malzeme kalınlığının artmasıyla ısı direnç özelliği de artmıştır. Çizelge 4.17'de V3 kodlu numunenin en yüksek dirence sahip olduğu görülmektedir.

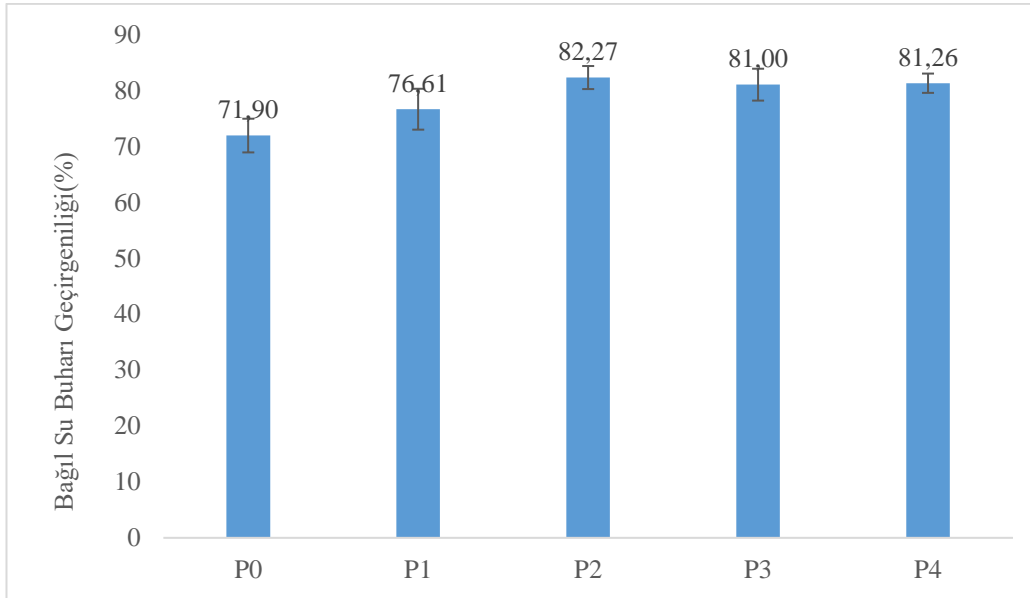
#### 4.7. Su Buharı Geçirgenliği Analizi

Nispi su buharı geçirgenliği ve su buharı direnci, giysilik kumaşlarda konfor açısından önemli parametrelerdir. Giysilik kumaşların, kullanıcıya rahatlık sağlması için yüksek su buharı geçirgenliğine ve düşük su buharı direncine sahip olması beklenir. Bağı su buharı geçirgenliği aşağıdaki denklem ile belirlenir.

$$RWVP = \frac{Q_v}{Q_0} \times 100[\%] \quad (4)$$

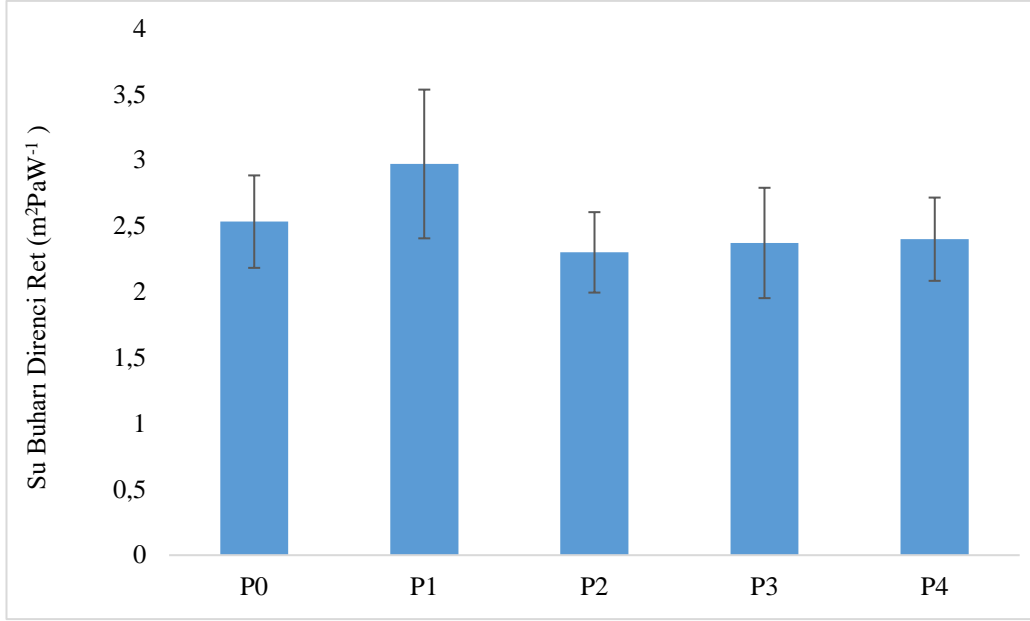
Burada:  $Q_v$ - numuneli ısı akış değeri,  $Q_0$ - numunesiz ısı akış değeri.

Analiz sonucunda elde edilen numunelerin bağıl su buharı geçirgenlik ve su buharı direnç değerleri Şekil 4.30 ve 4.31'de gösterilmiştir. Rejenere bakteri selülozu ile kaplanmış örneklerin bağıl su buharı geçirgenlik değerleri işlem görmemiş kumaşa göre daha yüksektir. Kaplanmış kumaşlarda bağıl su buharı geçirgenlik artışı ham kumaşa göre %6,15 ile %12,61 arasında değişmektedir. Uygulanan kumaşlar arasında en yüksek değer P2 kodlu kumaşa aittir. Kaplanmış malzemelerin yüksek bağıl su buharı geçirgenlik değeri, bu malzemelerin ham kumaşa göre yüksek emiciliğinden kaynaklanmaktadır (Kale ve diğerleri, 2016a; Kale ve diğerleri, 2016b). Ayrıca malzemelerin kaplama sonrası su buharı direnci incelendiğinde 1,2 kat rejenere BS (P1) ile işlem gören numunenin hem kaplamalı hem de ham kumaşa göre daha yüksek su buharı direncine sahip olduğu görülmektedir. Diğer numuneler, ham kumaştan daha düşük su buharı direncine sahiptir.



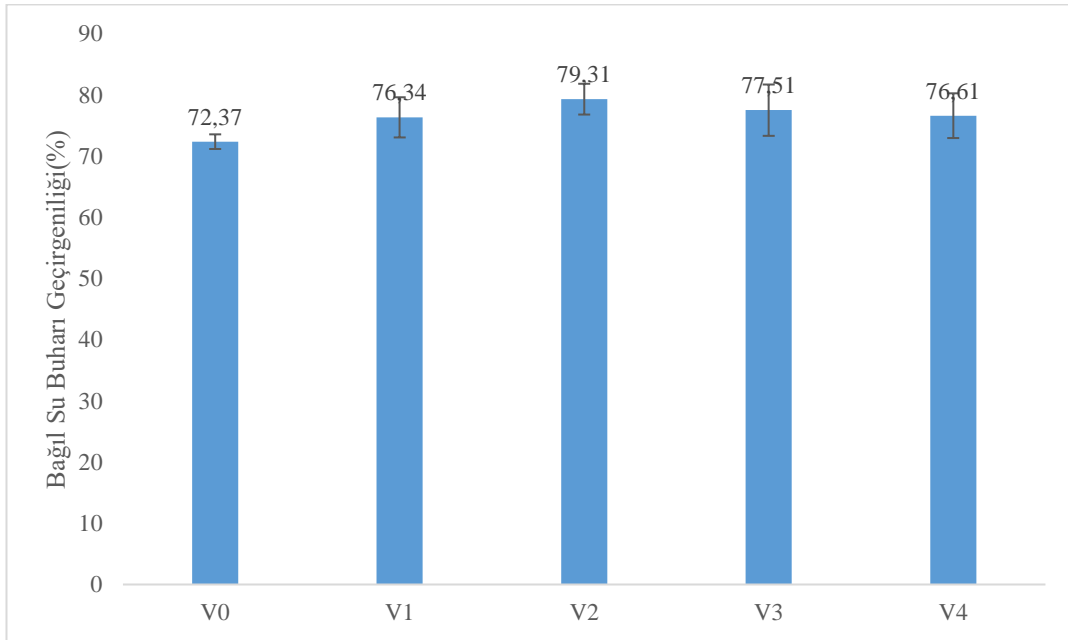
**Şekil 4.30.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait su buharı geçirgenliği verileri (P0, P1, P2, P3, P4)



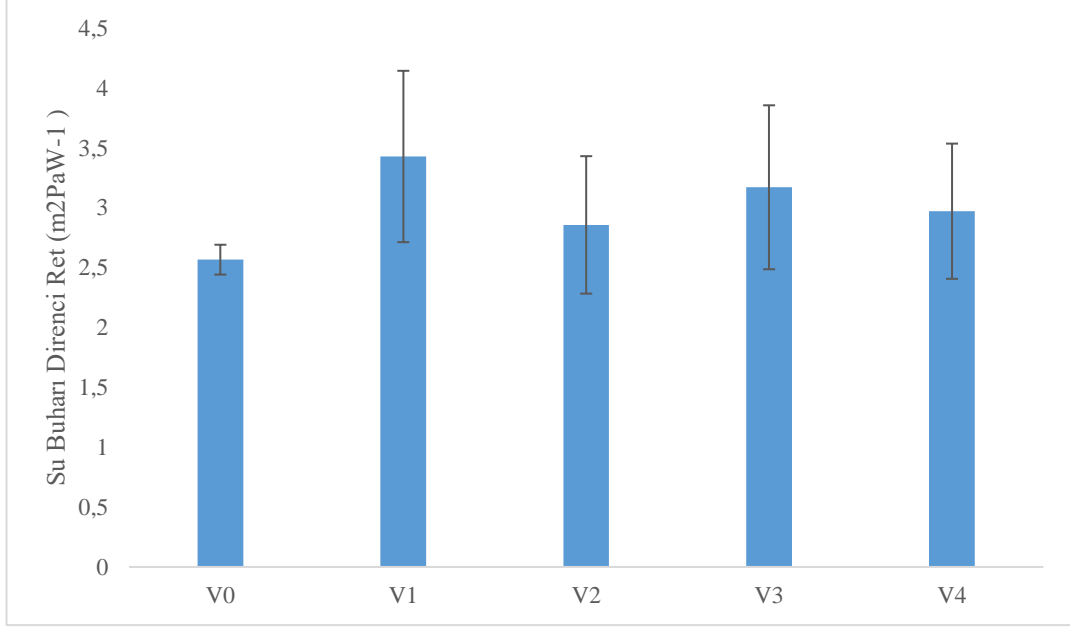


**Şekil 4.31.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait su buharı direnci verileri (P0, P1, P2, P3, P4)

Viskon numunelere ait bağıl su buharı geçirgenliği (%) ve su buharı direnci (m²PaW⁻¹) özellikleri Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.32.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait su buharı geçirgenliği verileri (V0, V1, V2, V3, V4)



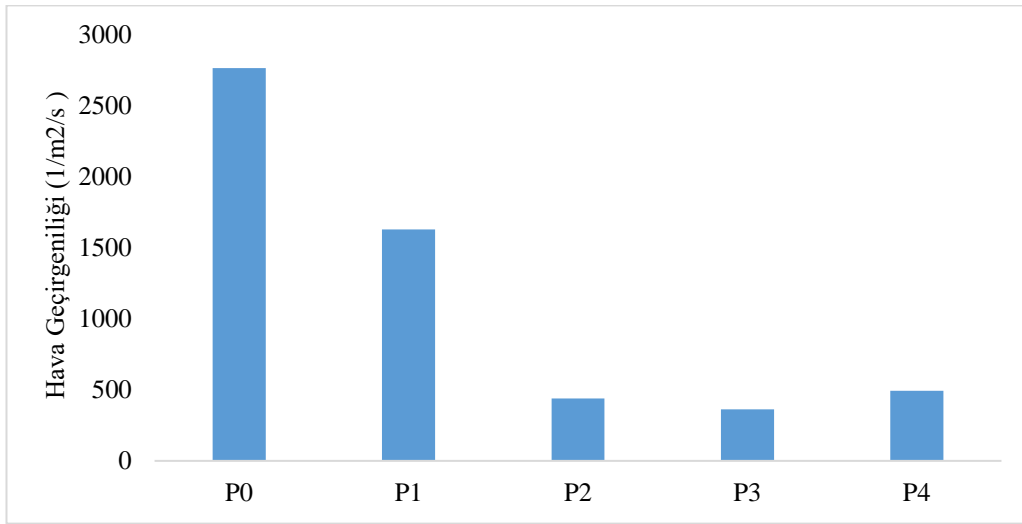
**Şekil 4.33.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait su buharı direnci verileri (V0, V1, V2, V3, V4)

Viskon numunelere bakıldığında kaplanmış numunelerin geçirgenlik özellikleri ham kumaşa göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Kaplama malzemesinin pamuk numunelerde olduğu gibi su buharı geçirgenliğini arttırdığı burada da gözlenmiştir. Numunelerin su buharı dirençlerinde ise V1 nolu numune haricinde belirgin bir değişiklik olmamıştır. Şekil 4.32 ve 4.33 incelendiğinde V2 kodlu numunenin en yüksek su buharı geçirgenlik değerine sahipken kaplanmış numuneler arasındaki en düşük su buharı direncine sahip olduğu görülmektedir.

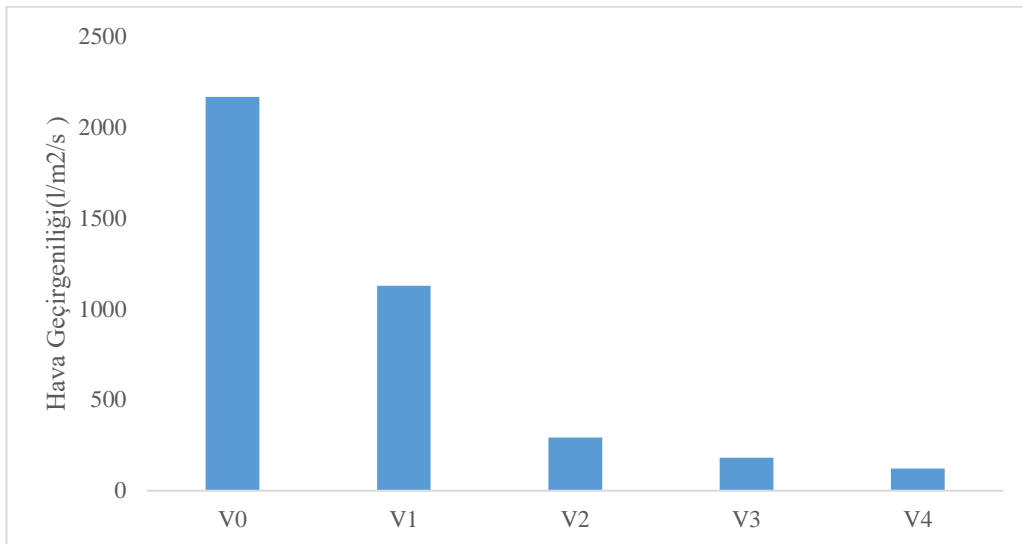
#### 4.8. Hava Geçirgenliği Analizi

Hava geçirgenliği, kumaşın belirli bir bölgesinden dikey yönde, belirli bir zaman aralığında, belirli bir basınç altında geçen havanın akış hızı olarak ölçülür. Temel olarak, kumaşın ağırlığına, kalınlığına ve gözenekliliğine bağlıdır. Numunelerin hava geçirgenlik sonuçları Şekil 4.34 ve 4.35'te verilmiştir. Pamuk numunelerin hava geçirgenlik değerleri sırasıyla 2765 (P0) 1/m²/s, 1629 1/m²/s (P1), 439 1/m²/s (P2), 362 1/m²/sn (P3) ve 492 1/m²/sn (P4)'tür. Viskon numunelerin ise hava geçirgenlik değerleri 2165 1/m²/s(V0), 1128 1/m²/s (V1), 293 1/m²/s (V2), 181 1/m²/s (V3) ve 120 1/m²/s (V4)'tür. Elde edilen veriler doğrultusunda uygulama sonrası kumaş üzerinde kalan malzeme miktarının

artması ile hava geçirgenlik değerlerinde azalma olmuştur. Bu azalmanın nedeni kaplama uygulaması sonrası kumaş gözenekliliğinin azalması ve malzeme kalınlığının artması olarak gösterilebilir. Mamun ve diğerleri (2020), pamuklu kumaşa uyguladıkları kaplama işleminden sonra hava geçirgenliğinde meydana gelen azalmaya neden olarak kumaşın gözenekliliğinde meydana gelen azalma olduğunu göstermişlerdir. Bu sonuç elde edilen sonuçları desteklemektedir.



**Şekil 4.34.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk kumaşlara ait hava geçirgenliği verileri (P0, P1, P2, P3, P4)



**Şekil 4.35.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış viskon kumaşlara ait hava geçirgenliği verileri (V0, V1, V2, V3, V4)

#### 4.9. Yıkama ve Sürtme İşlemi Sonrası Kalıcılık

Kumaş numunelerin üzerinde bulunan kaplamaların kalıcılığının belirlenebilmesi amacı ile pamuk numunelere yıkama ve sürtme işlemi uygulanmış ve bu işlemler sonucunda ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Bu veriler % ağırlık kaybı olarak aşağıdaki Çizelge 4.21 ve Çizelge 4.22’de verilmiştir.

**Çizelge 4.21.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk yıkama işlemi sonrası %ağırlık kaybı verileri (P0, P1, P2, P3, P4)

Yıkama Döngüsü	(% ) Ağırlık Kaybı				
	P0	P1	P2	P3	P4
1	7,74	1,03	2,08	1,67	0,71
5	8,53	2,60	2,71	2,33	2,66
10	10,72	4,00	3,04	3,80	2,83

**Çizelge 4.22.** Ham ve farklı oranlarda rejenere BS ile kaplanmış pamuk sürtme işlemi sonrası % ağırlık kaybı verileri (P0, P1, P2, P3, P4)

Sürtünme Döngüsü(*)	(% ) Ağırlık Kaybı				
	P0	P1	P2	P3	P4
1	0,00	0,18	0,00	0,18	0,20
5	0,00	0,18	0,20	0,37	0,20
10	0,19	0,36	0,39	0,37	0,20

(\*) Döngü: Standartta tanımlanan 10 kez ileri geri sürtme hareketidir.

Yıkama ve sürtünme işleminden sonra elde edilen veriler incelendiğinde kaplanmış kumaşlarda çok az miktarda kütle kaybı gözlemlenmiştir. Yıkama testi kendi içinde incelendiğinde kaplanmış kumaşların kütle kaybının ham kumaşa göre daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca sürtünme verileri dikkate alındığında işlem sonrası kumaşlarda ihmal edilebilir bir değer kaybı olduğu görülmektedir.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Selüloz ve selüloz türevleri geçmişten günümüze birçok endüstriyel alanda kullanılan ve halen kullanımı devam eden hammaddelerdir. Selülozun çoğunluğunun bitkilerden üretildiği bilinmekle birlikte bunun yanı sıra mantar, algler ve bakterilerden de selüloz elde edilmektedir. Özellikle bitkilerden elde edilen selülozdan daha saf olan bakteriyel selüloza olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bunun yanı sıra bakteriyel selülozu bitkisel selülozdan üstün kılan özelliklerinin olması bakteriyel selüloz ile ilgili olarak farklı endüstrilerde yapılan araştırma sayılarının da artmasına sebep olmuştur. Tekstilde bu endüstrilerden bir tanesidir.

Bu tez çalışmasında kombucha kültüründe statik ortamda bakteriyel selüloz dokunmamış yüzeyleri elde edilmiştir. Elde edilen BS tabakalarının SEM görüntüleri incelendiğinde ilgili literatürde belirtildiği gibi nano liflerden oluştuğu gözlenmiştir ve lif çapları da çalışmamızda bulgular ve tartışma bölümünde belirtilmiştir (Oliver-Ortega ve diğerleri, 2021). Elektro eğirme yöntemi ile nanolif üretiminin zahmetli olduğu düşünüldüğünde bakteriyel selüloz üretimi yapılan ortamlarda elde edilen nano yüzeylerin üretiminin gün geçtikçe artacağı ön görülmektedir.

BS tabakalarının tekstil yüzeylerine kaplanabilmesi ve lif üretilmesi için çözündürülme işlemi uygulanmıştır. Yapılacak olan işlemlerde maliyetin düşürülmesi için ham BS'nin çalışmamızda kullanılan çözücüde çözündürme denemeleri yapılmış ancak yapıda bulunan safsızlıklardan dolayı tam manası ile çözündürme işlemi gerçekleştirilememiştir. Bu işlemde sonra, çözündürme işlemini gerçekleştirebilmek amacı ile saflaştırma işlemleri uygulanmış ve BS tabakası ilgili çözücüde çözündürülmüştür. Saflaştırma işleminin etkinliğinin görülmesi amacı ile TGA, SEM-EDX ve FTIR analizleri gerçekleştirilmiş ve ilgili veriler bulgular kısmında verilmiştir. Bu bulgular neticesinde saflaştırma işleminin başarı ile gerçekleştiği görülmektedir.

BS çözeltisinden iplik üretilmesi amacı ile yapılan çalışma sonucunda rejenere BS ipliği üretimi gerçekleştirilmiş ve bu ipliğin tekstil endüstrisinde kullanılabilir bir formda olup olmadığının belirlenebilmesi amacı ile SEM-EDX, kopma mukavemeti ve FTIR

analizi yapılmıştır. FTIR analizi sonucunda yapının selüloz ile aynı özellikleri taşıdığı gözlenmiştir. Yapılan kopma mukavemeti testleri neticesinde 4,88-9,043 cN/tex aralığında değerler elde edilmiştir. Alhalabi (2007) yılında yapmış olduğu tez çalışmasında, tekstil liflerinin mukavemetinin en az 6 cN/tex olması gerekliliğinden bahsetmiştir (Alhalabi, 2007). Bu bilgi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında üretimi sağlanan ipliğin tekstil endüstrisinde kullanılabilir şartları sağladığı görülmektedir. Bunun yanı sıra yapının SEM görüntüleri incelendiğinde pamuk lifinde olduğu gibi lümenli bir yapısının olduğu tespit edilmiştir.

Rejenere BS çözeltisi kaplanmış tekstil yüzeylerinin özelliklerinin araştırılması amacı ile BS çözeltisi pamuk, viskon, polyester ve yün kumaşlara kaplanmaya çalışılmıştır. Ancak yapılan ön denemelere sonucunda polyester ve yün kumaşlarda kaplama malzemesinin pul tabakası olarak yüzeyden kalktığı gözlemlenmiş ve çalışmaya pamuk ve viskon kumaşlar üzerinden devam edilmiştir. Pamuk ve viskon kumaşlara farklı oranlarda BS çözeltisi uygulanmış ve sonrasında katılaşma işleminin gerçekleşebilmesi amacı ile yöntem kısmında belirtilen 3 farklı koagülasyon banyosundan numunelere geçirilmiştir. Kaplama işleminin tamamlanmasından sonra numunelere SEM-EDX, FTIR, TGA, termal konfor, su buharı geçirgenliği, hava geçirgenliği, kopma mukavemeti testleri yapılmıştır. Genel itibarı ile elde edilen bulgular neticesinde FTIR analizleri sonucunda işlem görmemiş ham numuneler ile BS ile kaplanmış numuneler arasında belirgin bir farkın oluşmadığı, SEM analizi sonucunda kumaş yüzeyinde kalan kaplama maddesi miktarı artışı ile gözeneklerin ve kumaş yüzeyinde kaplama maddesi görünürlüğünün arttığı, EDX analizi ile uygulama yapılmış numunelerde TGA analizi sonucunda kömürleşmeyi etkileyecek safsızlıkların olduğu, kaplanmış kumaşların termal konfor ve su buharı geçirgenliği özelliğinin ham kumaşa göre daha iyi olduğu, kaplanmış numunelerin hava geçirgenliklerinin ham kumaşa göre çok çok az olduğu, numunelerin kopma mukavemeti değerlerinin çoğunluğunun ham kumaşlara yakın olduğu ancak kaplama maddesi miktarı artışı ile belirli bir miktar azalma olduğu, özellikle 4.8 kat kaplama maddesi uygulama yapılmış olan numunelerin neredeyse yarı yarıya mukavemet kaybettikleri gözlenmiştir. Çalışma içerisinde elde kaplama maddesinin kalıcılığının belirlenebilmesi amacı ile yıkama ve sürtme testleri yapılmış ve kaplama maddesinin yüzeyde kalıcı olduğu da elde edilen sonuçlar arasındadır.

Rejenere BS ile pamuk ve polyester iplik kaplama işlemi de çalışma içerisinde araştırılmıştır. Polyester kumaşların ham halleri ile kaplama maddesini almayacakları ön görülerek hem pamuk hem de polyester numunelere farklı sürelerde oksijen plazma uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama sonrasında numunelerin SEM-EDX, FTIR, TGA ve kopma mukavemeti analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilere göre SEM analizi sonucunda plazma uygulama süresi artışı ile birlikte yüzeyde bulunan madde miktarının arttığı, pamuk numunelerin polyestere göre daha fazla maddeyi yüzeyde barındırdıkları, FTIR analizi sonucunda pamuk ipliğinde bir değişim olmazken polyester ipliğinde özellikle plazma uygulaması sonrası elde edilen numunelerde BS gözlemlendiği, pamuk numunelerin kaplanma işlemi sonrasında % CV değerlerinin düşerek mukavemetlerinin arttığı ve polyester numunelerde ise % CV değerlerinin artarak mukavemetlerin düştüğü gözlemlenmiştir. TGA analizi sonucunda ise polyester numunelerin bozunma sıcaklıklarında bir farklılık olmazken kalan madde miktarlarının arttığı, pamuk numunelerde ise kaplanmış olan numunelerin kalan madde miktarları artmış ve Tmax değerleri düşmüştür. Pamukta görülen bu karakteristik yapının alev geciktirici kimyasallar ile aynı özellikte olduğu gözlenmiştir (Nguyen ve diğerleri, 2020).

Bütün bu sonuçlar neticesinde bakteriyel selüloz tabakaları ham, saflaştırılmış nano lifli haliyle tekstil endüstrisinde farklı alanlarda hem katkı maddesi olarak hemde bu formu ile kullanılabilir bir malzemedir. Bunun yanı sıra üretimi sağlanan rejenere BS iplikleri endüstride iplik ihtiyacı olan alanlarda kullanılabilir bir tekstil üründür. Rejenere BS kaplanmış pamuk ve viskon kumaşların sahip olduğu termal konfor, güç tutuşurluk ve yüksek su buharı geçirgenliği özelliklerinden dolayı bu özelliklere ihtiyaç duyulan tekstil alanlarında kullanılabilirleri ön görülmektedir. Bunların yanı sıra güç tutuşurluk özelliği olan ipliklere ihtiyaç duyulan alanlarda rejenere BS kaplanmış pamuk ipliklerin kullanılabilirliği öngörülmektedir. Genel itibari ile bu tez çalışması sonunda elde edilen verilerin ilgili alanda yapılacak olan çalışmalara kaynaklık edeceği öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Adriana, D., Apriyana, A. Y., & Karina, M. (2020). The optimization of bacterial cellulose production and its applications: a review. *Cellulose*, 27, 6747-6766.
- Alhalabi, K. (2007). Suriye ve Türkiye’de Üretilen Pamuk Liflerinin Özelliklerinin ve Eğrilme Yeteneklerinin Karşılaştırılmalı İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Amarasekara, A. S., Wang, D., & Grady, T. L. (2020). A comparison of kombucha SCOBY bacterial cellulose purification methods. *SN Applied Sciences*, 2(2), 1-7.
- Andriani, D., Apriyana, A. Y., & Karina, M. (2020). The optimization of bacterial cellulose production and its applications: a review. *Cellulose*, 27, 6747-6766.
- Araújo, S., da Silva, F. M., & Gouveia, I. C. (2015). The role of technology towards a new bacterial-cellulose-based material for fashion design. *Journal of Industrial and Intelligent Information Vol*, 3(2).
- Arıkan, M. 2018. Kombucha’daki (Çay Mantarı) Mikrobiyal Kompozisyonun Biyoinformatik Analizi. Doktora Tezi, İÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ashjara, A., Yazdanshenas, M. E., Rashidi, A., Khajavi, R., & Rezaee, A. (2013). Overview of bio nanofabric from bacterial cellulose. *Journal of the Textile Institute*, 104(2), 121-131.
- Aswini, K., Gopal, N. O., & Uthandi, S. (2020). Optimized culture conditions for bacterial cellulose production by *Acetobacter senegalensis* MA1. *BMC biotechnology*, 20(1), 1-16.
- Atik, C., & Ok, K. (2017). Türkiye’de Kâğıt Üretimi ve Sürdürülebilir Kalkınma. *Teknik Rapor*, 1-28.
- Auta, R., Adamus, G., Kwiecien, M., Radecka, I., & Hooley, P. (2017). Production and characterization of bacterial cellulose before and after enzymatic hydrolysis. *African Journal of Biotechnology*, 16(10), 470-482.
- Barud, H., Ribeiro, C., Crespi, M., Martines, M., Dexpert-Ghys, J., Marques, R., ... & Ribeiro, S. (2007). Thermal characterization of bacterial cellulose–phosphate composite membranes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 87(3), 815-818.



- Cellulose Fiber Market Size By Application (Spun Yarn, Clothing, Fabrics), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2016 – 2024(2021, 28 Eylül). Erişim adresi: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/cellulose-fiber-market->
- Cellulose Fiber Market Size, Share & Trends Analysis By Product Type (Natural, Synthetic), By Application (Textile, Hygiene, Industrial), By Regions And Segment Forecasts, 2018 – 2025.(2021, 28 Eylül). Erişim adresi: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/cellulose-fibers-market>
- Cellulose Fiber Market: Information by Fiber Type (Natural {Plant-Based [Cotton, Jute, Linen, Wood]}, Animal-Based [Alpaca, Silk]}, Man-Made {Semi-Synthetic [Rayon/Viscose, Modal], Synthetic {[Nylon, Spandex And Polyester]}), Application (Apparels, Home Textiles, Industrial, others) - Forecast till 2027. (2021, 28 Eylül). Erişim adresi:<https://www.marketresearchfuture.com/reports/cellulose-fiber-market-2903->
- Chan, C. K., Shin, J., & Jiang, S. X. K. (2018). Development of tailor-shaped bacterial cellulose textile cultivation techniques for zero-waste design. *Clothing and Textiles Research Journal*, 36(1), 33-44.
- Chen, P., Kim, H. S., Kwon, S. M., Yun, Y. S., & Jin, H. J. (2009). Regenerated bacterial cellulose/multi-walled carbon nanotubes composite fibers prepared by wet-spinning. *Current Applied Physics*, 9(2), e96-e99.
- Chen, X. I. (2015). Degradation studies on plant cellulose and bacterial cellulose by FT-IR and ESEM (Doctoral dissertation, University of Birmingham).
- Chidambaram, P., & Govindan, R. (2012). Influence of blend ratio on thermal properties of bamboo/cotton blended woven fabrics. *Science, Engineering and Health Studies*, 49-55.
- Çoban, E. P., & Biyik, H. (2011). Evaluation of different pH and temperatures for bacterial cellulose production in HS (Hestrin-Scharmm) medium and beet molasses medium. *Afr. J. Microbiol. Res*, 5(9), 1037-1045.
- Costa, A. F. D. S., de Amorim, J. D., Almeida, F. C. G., de Lima, I. D., de Paiva, S. C., Rocha, M. A. V., ... & Sarubbo, L. A. (2019). Dyeing of bacterial cellulose films

- using plant-based natural dyes. *International journal of biological macromolecules*, 121, 580-587.
- Costa, A. F. S., Rocha, M. A. V., & Sarubbo, L. A. (2017). Bacterial cellulose: an ecofriendly biotextile. *International Journal of Textile and Fashion Technology*, 7, 11-26.
- Danafar, F. (2020). Recent Development and Challenges In Synthesis Of Cellulosic Nanostructures And Their Application In Developing Paper-Based Energy Devices. *Cellulose Chemistry and Technology*, 54(3-4), 327-346.
- de Amorim, J. D. P., de Souza, K. C., Duarte, C. R., da Silva Duarte, I., Ribeiro, F. D. A. S., Silva, G. S., ... & Sarubbo, L. A. (2020). Plant and bacterial nanocellulose: Production, properties and applications in medicine, food, cosmetics, electronics and engineering. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(3), 851-869.
- Domskiene, J., Sederaviciute, F., & Simonaityte, J. (2019). Kombucha bacterial cellulose for sustainable fashion. *International Journal of Clothing Science and Technology*.
- El Messiry, M., El Ouffy, A., & Issa, M. (2015). Microcellulose particles for surface modification to enhance moisture management properties of polyester, and polyester/cotton blend fabrics. *Alexandria Engineering Journal*, 54(2), 127-140.
- Erçalışkan, K. (2017). Çeşitli kaynaklardan bakteriyel selüloz üreten bakterilerin izolasyonu ve karakterizasyonu (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Fernandes, M., Gama, M., Dourado, F., & Souto, A. P. (2019). Development of novel bacterial cellulose composites for the textile and shoe industry. *Microbial biotechnology*, 12(4), 650-661.
- Fernandes, M., Souto, A. P., Dourado, F., & Gama, M. (2021). Application of bacterial cellulose in the textile and shoe industry: development of biocomposites. *Polysaccharides*, 2(3), 566-581.
- Ferrante, D., Iannace, S., & Monetta, T. (1999). Mechanical strength of cold plasma treated PET fibers. *Journal of materials science*, 34(1), 175-179.
- Ferrante, D., Iannace, S., & Monetta, T. (1999). Mechanical strength of cold plasma treated PET fibers. *Journal of materials science*, 34(1), 175-179.

- Gallegos, A. M. A., Carrera, S. H., Parra, R., Keshavarz, T., & Iqbal, H. M. (2016). Bacterial cellulose: a sustainable source to develop value-added products—a review. *BioResources*, 11(2), 5641-5655.
- Gao, Q., Shen, X., & Lu, X. (2011). Regenerated bacterial cellulose fibers prepared by the NMMO·H<sub>2</sub>O process. *Carbohydrate polymers*, 83(3), 1253-1256.
- Gea, S., Reynolds, C. T., Roohpour, N., Wirjosentono, B., Soykeabkaew, N., Bilotti, E., & Peijs, T. (2011). Investigation into the structural, morphological, mechanical and thermal behaviour of bacterial cellulose after a two-step purification process. *Bioresource technology*, 102(19), 9105-9110.
- Gorgieva, S., & Trček, J. (2019). Bacterial cellulose: Production, modification and perspectives in biomedical applications. *Nanomaterials*, 9(10), 1352.
- Gupta, P. K., Raghunath, S. S., Prasanna, D. V., Venkat, P., Shree, V., Chithanathan, C., ... & Geetha, K. (2019). An update on overview of cellulose, its structure and applications. *Cellulose*, 846-1297.
- Han, J., E. Shim, and H. R. Kim. 2019. Effects of cultivation, washing, and bleaching conditions on bacterial cellulose fabric production. *Textile Research Journal* 89 (6):1094–104.
- Harmon, J. (2019, December). Cotton Versus Bacterial Cellulose: A Comparison of Single Ply Yarns. In *International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings* (Vol. 76, No. 1). Iowa State University Digital Press.
- Hes, L., & Loghin, C. (2009). Heat, moisture and air transfer properties of selected woven fabrics in wet state. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 2(3), 141-149.
- Hes, L., & Mangat, M. M. (2010, September). The effect of industrial washing on thermal comfort parameters of denim fabrics. In *7th International Conference-TEXSCI* (pp. 6-8).
- Ibrahim, N. A., Eid, B. M., Abd El-Aziz, E., Abou Elmaaty, T. M., & Ramadan, S. M. (2017). Multifunctional cellulose-containing fabrics using modified finishing formulations. *RSC advances*, 7(53), 33219-33230.
- Indriyati, I., Irmawati, Y., & Puspitasari, T. (2019). Comparative study of bacterial cellulose film dried using microwave and air convection heating. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 51(1), 121-132.

- Jacek, P., Dourado, F., Gama, M., & Bielecki, S. (2019). Molecular aspects of bacterial nanocellulose biosynthesis. *Microbial biotechnology*, 12(4), 633-649.
- Jamsheera CP, Pradeep BV. Production of Bacterial Cellulose from *Acetobacter* Species and Its Applications – A Review. *J Pure Appl Microbiol*. 2021;15(2):544-555. doi: 10.22207/JPAM.15.2.48.
- Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., & Sathishkumar, M. (2014). A review on kombucha tea—microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538-550.
- Jennifer H, Logan F, Natalie T. Exploring the Potential of Bacterial Cellulose for Use in Apparel. *J Textile Sci & Fashion Tech*. 5(2): 2020. JTSFT.MS.ID.000606.
- Jennifer, H., Logan, F., & Natalie, T. (2017). Comfort and aesthetic properties of bacterial cellulose for textile applications. In *International textile and apparel association (ITAA) annual conference proceedings (Vol. 6)*.
- Jonas, R., & Farah, L. F. (1998). Production and application of microbial cellulose. *Polymer degradation and stability*, 59(1-3), 101-106.
- Kale, B. M., Wiener, J., Militky, J., Rwawiire, S., Mishra, R., & Jabbar, A. (2016). Dyeing and stiffness characteristics of cellulose-coated cotton fabric. *Cellulose*, 23(1), 981-992.
- Kale, B. M., Wiener, J., Militky, J., Rwawiire, S., Mishra, R., Jacob, K. I., & Wang, Y. (2016). Coating of cellulose-TiO<sub>2</sub> nanoparticles on cotton fabric for durable photocatalytic self-cleaning and stiffness. *Carbohydrate polymers*, 150, 107-113.
- Kamal, I. (2008). Novel approaches In Production Pathway of Microbial, Microcrystalline and Nano-Cellulose.
- Kapp, J. M., & Sumner, W. (2019). Kombucha: a systematic review of the empirical evidence of human health benefit. *Annals of epidemiology*, 30, 66-70.
- Keshk, S. M. (2014). Bacterial cellulose production and its industrial applications. *J Bioprocess Biotech*, 4(150), 2.
- Kilinc, M., Ay, E., & Kut, D. (2021). Thermal, Chemical and Mechanical Properties of Regenerated Bacterial Cellulose Coated Cotton Fabric. *Journal of Natural Fibers*, 1-18.

- Kim, H., Yi, J. Y., Kim, B. G., Song, J. E., Jeong, H. J., & Kim, H. R. (2020). Development of cellulose-based conductive fabrics with electrical conductivity and flexibility. *Plos one*, 15(6), e0233952.
- Kim, J., & Adhikari, K. (2020). Current trends in kombucha: Marketing perspectives and the need for improved sensory research. *Beverages*, 6(1), 15.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte chemie international edition*, 44(22), 3358-3393.
- Kocak, D. (2016). Examining the Effects of Oxygen Plasma on Physical and Dyeing Properties of Some Cellulose Fibers. *Materials Science*, 22(3), 420-425.
- Kutluer, F. (2009). Kombucha mantarının kültürel özellikleri ve şeker redüksiyonunun incelenmesi (Master's thesis, Kırıkkale Üniversitesi).
- Laavanya, D., Shirkole, S., & Balasubramanian, P. (2021). Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of Kombucha fermentation. *Journal of Cleaner Production*, 126454.
- Łaskiewicz, B. (1998). Solubility of bacterial cellulose and its structural properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 67(11), 1871-1876.
- Lavanya, D. K. P. K., Kulkarni, P. K., Dixit, M., Raavi, P. K., & Krishna, L. N. V. (2011). Sources of cellulose and their applications—A review. *International Journal of Drug Formulation and Research*, 2(6), 19-38.
- Lima, G. D. M., Sierakowski, M. R., Faria-Tischer, P., & Tischer, C. A. (2009). Characterization of the bacterial cellulose dissolved on dimethylacetamide/lithium chloride.
- Lin, S. P., Calvar, I. L., Catchmark, J. M., Liu, J. R., Demirci, A., & Cheng, K. C. (2013). Biosynthesis, production and applications of bacterial cellulose. *Cellulose*, 20(5), 2191-2219.
- Lu, X., & Shen, X. (2011). Solubility of bacteria cellulose in zinc chloride aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, 86(1), 239-244.
- Machado, R. T., Gutierrez, J., Tercjak, A., Trovatti, E., Uahib, F. G., de Padua Moreno, G., ... & Barud, H. S. (2016). *Komagataeibacter rhaeticus* as an alternative bacteria for cellulose production. *Carbohydrate polymers*, 152, 841-849.

- Makarov, I. S., Shambilova, G. K., Vinogradov, M. I., Zatonskih, P. V., Gromovykh, T. I., Lutsenko, S. V., ... & Kulichikhin, V. G. (2020). Films of bacterial cellulose prepared from solutions in N-Methylmorpholine-N-Oxide: structure and properties. *Processes*, 8(2), 171.
- Mamun, M. A. A., Islam, M. T., Islam, M. M., Sowrov, K., Hossain, M. A., Ahmed, D. M., & Shahariar, H. (2020). Scalable Process to Develop Durable Conductive Cotton Fabric. *Advanced Fiber Materials*, 2(6), 291-301.
- Meftahi, A., Khajavi, R., Rashidi, A., Sattari, M., Yazdanshenas, M. E., & Torabi, M. (2010). The effects of cotton gauze coating with microbial cellulose. *Cellulose*, 17(1), 199-204.
- Mikkelsen, D., Flanagan, B. M., Dykes, G. A., & Gidley, M. J. (2009). Influence of different carbon sources on bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* strain ATCC 53524. *Journal of Applied Microbiology*, 107(2), 576-583.
- Mizuno, M., Kamiya, Y., Katsuta, T., Oshima, N., Nozaki, K., & Amano, Y. (2012). Creation of bacterial cellulose-fabric complexed material. *Sen'i Gakkaishi*, 68(2), 42-47.
- Muhammet, U. Z. U. N. (2012). Ultrasonik ve Klasik Yıkama Yöntemlerinin Dokuma Kumaş Termal Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi. 2012 (Cilt: 19), 86.
- Naomi, R., Bt Hj Idrus, R., & Fauzi, M. B. (2020). Plant-vs. Bacterial-derived cellulose for wound healing: A review. *International journal of environmental research and public health*, 17(18), 6803.
- Neffe-Skocińska, K., Sionek, B., Ścibisz, I., & Kołożyn-Krajewska, D. (2017). Acid contents and the effect of fermentation condition of Kombucha tea beverages on physicochemical, microbiological and sensory properties. *CyTA-Journal of Food*, 15(4), 601-607.
- Ng, F. M., & Wang, P. W. (2016). Natural self-grown fashion from bacterial cellulose: a paradigm shift design approach in fashion creation. *The Design Journal*, 19(6), 837-855.
- Ng, M. C. F., & Wang, W. (2015). A study of the receptivity to bacterial cellulosic pellicle for fashion. *Research Journal of Textile and Apparel*.
- Nguyen, H. K., Sakai, W., & Nguyen, C. (2020). Preparation of a Novel flame retardant formulation for cotton fabric. *Materials*, 13(1), 54.

- Oliver-Ortega, H., Geng, S., Espinach, F. X., Oksman, K., & Vilaseca, F. (2021). Bacterial cellulose network from kombucha fermentation impregnated with emulsion-polymerized poly (methyl methacrylate) to form nanocomposite. *Polymers*, 13(4), 664.
- Pa'e, N., Hamid, N. I. A., Khairuddin, N., Zahan, K. A., Seng, K. F., Siddique, B. M., & Muhamad, I. I. (2014). Effect of different drying methods on the morphology, crystallinity, swelling ability and tensile properties of nata de coco. *Sains Malaysiana*, 43(5), 767-773.
- Pandey, M. A. N. I. S. H. A., Abeer, M. M., & Amin, M. C. I. (2014). Dissolution study of bacterial cellulose (nata de coco) from local food industry: solubility behavior & structural changes. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(6), 89-93.
- Pourramezan, G. Z., Roayaei, A. M., & Qezelbash, Q. R. (2009). Optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by *Acetobacter* sp. 4B-2. *Biotechnology*, 8(1), 150-154.
- Primiani, C. N., Mumtahanah, M., & Ardhi, W. (2018, May). Kombucha fermentation test used for various types of herbal Teas. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1025, No. 1, p. 012073). IOP Publishing.
- Quijano, L. (2017). Embracing Bacterial Cellulose as a Catalyst for Sustainable Fashion.
- Ramana, K. V., Tomar, A., & Singh, L. (2000). Effect of various carbon and nitrogen sources on cellulose synthesis by *Acetobacter xylinum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 16(3), 245-248.
- Ratajczak, K., & Stobiecka, M. (2020). High-performance modified cellulose paper-based biosensors for medical diagnostics and early cancer screening: A concise review. *Carbohydrate polymers*, 229, 115463.
- Reis, D. T., Pereira, A. K. D. S., Scheidt, G. N., & Pereira, D. H. (2019). Plant and bacterial cellulose: production, chemical structure, derivatives and applications. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, 11(5), 321-329.
- Rosyida, V. T., Indrianingsih, A. W., Hayati, S. N., & Apriyana, W. (2020, March). The effect of different drying temperature on crystallinity and morphology structure of bacterial cellulose. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 462, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.

- Sakwises, L., Rodthongkum, N., & Ummartyotin, S. (2017). SnO<sub>2</sub>-and bacterial-cellulose nanofiber-based composites as a novel platform for nickel-ion detection. *Journal of Molecular Liquids*, 248, 246-252.
- Santos, S. M., Carbajo, J. M., & Villar, J. C. (2013). The effect of carbon and nitrogen sources on bacterial cellulose production and properties from *Gluconacetobacter sucrofermentans* CECT 7291 focused on its use in degraded paper restoration. *BioResources*, 8(3), 3630-3645.
- Sayyed, A. J., Deshmukh, N. A., & Pinjari, D. V. (2019). A critical review of manufacturing processes used in regenerated cellulosic fibres: viscose, cellulose acetate, cuprammonium, LiCl/DMAc, ionic liquids, and NMMO based lyocell. *Cellulose*, 26(5), 2913-2940.
- Seddiqi, H., Oliaei, E., Honarkar, H., Jin, J., Geonzon, L. C., Bacabac, R. G., & Klein-Nulend, J. (2021). Cellulose and its derivatives: Towards biomedical applications. *Cellulose*, 1-39.
- Shao, W., Wang, S., Wu, J., Huang, M., Liu, H., & Min, H. (2016). Synthesis and antimicrobial activity of copper nanoparticle loaded regenerated bacterial cellulose membranes. *RSC advances*, 6(70), 65879-65884.
- Shao, W., Wang, S., Wu, J., Huang, M., Liu, H., & Min, H. (2016). Synthesis and antimicrobial activity of copper nanoparticle loaded regenerated bacterial cellulose membranes. *RSC advances*, 6(70), 65879-65884.
- Shen, X., Ji, Y., Wang, D., & Yang, Q. (2010). Solubility of a high molecular-weight bacterial cellulose in lithium chloride/N, N-dimethylacetamide solution. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, 49(5), 1012-1018.
- Shim, E., & Kim, H. R. (2019). Coloration of bacterial cellulose using in situ and ex situ methods. *Textile Research Journal*, 89(7), 1297-1310.
- Singhsa, P., Narain, R., & Manuspiya, H. (2018). Physical structure variations of bacterial cellulose produced by different *Komagataeibacter xylinus* strains and carbon sources in static and agitated conditions. *Cellulose*, 25(3), 1571-1581.
- Song, J. E., Su, J., Noro, J., Cavaco-Paulo, A., Silva, C., & Kim, H. R. (2018). Bio-coloration of bacterial cellulose assisted by immobilized laccase. *Amb express*, 8(1), 1-11.



- Sperotto, G., Stasiak, L. G., Godoi, J. P. M. G., Gabiatti, N. C., & De Souza, S. S. (2021). A review of culture media for bacterial cellulose production: complex, chemically defined and minimal media modulations. *Cellulose*, 1-25.
- Tang, K. P. M., Kan, C. W., Fan, J. T., & Tso, S. L. (2017). Effect of softener and wetting agent on improving the flammability, comfort, and mechanical properties of flame-retardant finished cotton fabric. *Cellulose*, 24(6), 2619-2634
- Tang, K. P. M., Kan, C. W., Fan, J. T., & Tso, S. L. (2017). Effect of softener and wetting agent on improving the flammability, comfort, and mechanical properties of flame-retardant finished cotton fabric. *Cellulose*, 24(6), 2619-2634.
- Ul-Islam, M., Khan, S., Ullah, M. W., & Park, J. K. (2015). Bacterial cellulose composites: Synthetic strategies and multiple applications in bio-medical and electro-conductive fields. *Biotechnology journal*, 10(12), 1847-1861.
- Ul-Islam, M., Khan, S., Ullah, M. W., & Park, J. K. (2019). Comparative study of plant and bacterial cellulose pellicles regenerated from dissolved states. *International journal of biological macromolecules*, 137, 247-252.
- Villarreal-Soto, S. A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchard, J. P., & Taillandier, P. (2018). Understanding kombucha tea fermentation: a review. *Journal of food science*, 83(3), 580-588.
- Villarreal-Soto, S. A., Bouajila, J., Beaufort, S., Bonneaud, D., Souchard, J. P., & Taillandier, P. (2021). Physicochemical properties of bacterial cellulose obtained from different Kombucha fermentation conditions. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 27(1), 183-190.
- Visanko, M., Liimatainen, H., Sirvio, J., Hormi, O., & Illikainen, M. (2016, March). Functionalized nanocelluloses and their use in barrier and membrane thin films. In *Abstracts of Papers of The American Chemical Society* (Vol. 251). 1155 16th St, Nw, Washington, Dc 20036 Usa: Amer Chemical Soc.
- Wandscheer, L. C., Maciel, D. M. H., & Novelli, D. (2021). Bacterial fabric: introductory studies on the application of biomimetics in the bacterial fermentation process. *J Textile Eng Fashion Technol*, 7(2), 46-49.
- Wang, J., Tavakoli, J., & Tang, Y. (2019). Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods—A review. *Carbohydrate polymers*, 219, 63-76.

- Wang, S., Jiang, F., Xu, X., Kuang, Y., Fu, K., Hitz, E., & Hu, L. (2017). Super-strong, super-stiff macrofibers with aligned, long bacterial cellulose nanofibers. *Advanced Materials*, 29(35), 1702498.
- Watanabe, K., Tabuchi, M., Morinaga, Y., & Yoshinaga, F. (1998). Structural features and properties of bacterial cellulose produced in agitated culture. *Cellulose*, 5(3), 187-200.
- Wong, S. S., Kasapis, S., & Tan, Y. M. (2009). Bacterial and plant cellulose modification using ultrasound irradiation. *Carbohydrate Polymers*, 77(2), 280-287.
- Wood, D., Liu, H., & Salusso, C. J. (2015, November). Production and characterization of bacterial cellulose fabrics. In *International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings (Vol. 72, No. 1)*. Iowa State University Digital Press.
- Wu, H. L., Bremner, D. H., Wang, H. J., Wu, J. Z., Li, H. Y., Wu, J. R., ... & Zhu, L. M. (2017). Fabrication and investigation of a biocompatible microfilament with high mechanical performance based on regenerated bacterial cellulose and bacterial cellulose. *Materials Science and Engineering: C*, 79, 516-524.
- Yanti, N. A., Ahmad, S. W., & Muhiddin, N. H. (2018, December). Evaluation of inoculum size and fermentation period for bacterial cellulose production from sago liquid waste. In *Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1116, No. 5, p. 052076)*. IOP Publishing.
- Yim, S. M., Song, J. E., & Kim, H. R. (2017). Production and characterization of bacterial cellulose fabrics by nitrogen sources of tea and carbon sources of sugar. *Process Biochemistry*, 59, 26-36.
- Yoshinaga, F., Tonouchi, N., & Watanabe, K. (1997). Research progress in production of bacterial cellulose by aeration and agitation culture and its application as a new industrial material. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 61(2), 219-224.
- Zeng, M. (2014). Bacterial cellulose: fabrication, characterization and biocompatibility studies. *Universitat Autònoma de Barcelona*.
- Zeng, X., Small, D.P., and Wan, W., 2011, Statistical optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by acetobacter xylinum bpr 2001 from maple syrup, *Carbohydrate Polymers*, 85(3), 506-513pp.

- Zhang, C., Liu, R., Xiang, J., Kang, H., Liu, Z., & Huang, Y. (2014). Dissolution mechanism of cellulose in N, N-dimethylacetamide/lithium chloride: revisiting through molecular interactions. *The Journal of Physical Chemistry B*, 118(31), 9507-9514.
- Zhong, Z., Liao, Z., & Lu, L. (2016). The influence of LiCl/DMAc microdissolution treatment on tensile property of hemp/cotton blended yarn. *Journal of Natural Fibers*, 13(5), 578-584.
- Zywicka, A., Peitler, D., Rakoczy, R., Konopacki, M., Kordas, M., & Fijalkowski, K. (2015). The effect of different agitation modes on bacterial cellulose synthesis by *Gluconacetobacter xylinus* strains. *Acta Scientiarum Polonorum. Zootechnica*, 14(1).