

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAKTERİYEL SELÜLOZ ESASLI TIBBİ TEKSTİL MALZEME
ÜRETİMİ**

Nur KILINÇ

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Dicle ÖZDEMİR KÜÇÜKÇAPRAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2019**



© 2019 [Nur KILINÇ]

TEZ ONAYI

Nur KILINÇ tarafından hazırlanan " **Bakteriyel Selüloz Esaslı Tıbbi Tekstil Malzeme Üretimi** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

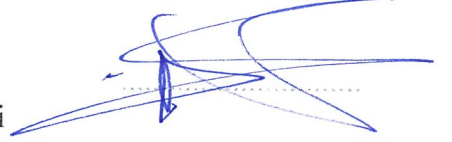
Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Dicle ÖZDEMİR KÜÇÜKÇAPRAZ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç.Dr. Zeynep EKMEKÇİ
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Nur KILINÇ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Teknik Tekstiller	3
2.2. Teknik Tekstillerin Uygulama Alanları.....	3
2.2.1. Tıbbi ve hijyenik tekstiller	4
2.3. Tıbbi Tekstil Üretiminde Kullanılan Yüzey Üretim Yöntemleri	6
2.4. Biyopolimerlerin Özellikleri Ve Sınıflandırılması	7
2.5. Tıbbi Tekstillerde Kullanılan Biyopolimerler	10
2.5.1. PLA.....	10
2.5.2. PGA.....	10
2.5.3. Aljinat.....	11
2.5.4. Polisakkaritler	11
2.5.4.1. Kitin ve kitosan.....	12
2.5.4.2. Selüloz.....	12
2.6. Bakteriyel Selülozun Yapısı ve Özellikleri	14
2.7. Bakteriyel Selüloz Eldesinde Kullanılan Kültür Ortamları	18
2.8. Bakteriyel Selüloz Biyosentez Mekanizması	19
2.9. Bakteriyel Selüloz Üretim Yöntemleri.....	20
2.9.1. Statik kültür.....	21
2.9.2. Karıştırmalı kültür	22
2.9.3. Dönen disk reaktörü yöntemi.....	23
2.9.4. Hava asansörü reaktörü	24
2.10. Statik Kültür ile Karıştırmalı Kültür Yöntemlerinin Karşılaştırılması	24
2.11. Bakteriyel Selüloz Üretimini Etkileyen Parametreler.....	25
2.11.1. Karbon kaynakları.....	25
2.11.2. Azot kaynakları.....	27
2.11.3. Sıcaklık, pH ve oksijen etkisi	27
2.12. Bakteriyel Selüloz Üretimi Sonrası Yapılması Gereken İşlemler	28
2.12.1. Bakteriyel selüloz temizleme işlemi.....	28
2.12.2. Bakteriyel selüloz kurutma işlemi	29
2.12.2.1. Oda sıcaklığında kurutma yöntemi.....	29
2.12.2.2. Dondurarak kurutma yöntemi	30
2.12.2.3. Süperkritik kurutma yöntemi	30
2.13. Bakteriyel Selüloz Genel Kullanım Alanları.....	30
2.14. Bakteriyel Selülozun Tıbbi Kullanım Alanları	34
2.14.1. Yara tedavisi.....	37
2.14.2. Yapay kan damarı.....	41
2.14.3. İlaç uygulamaları	42

2.14.4. Kemik dokusu mühendisliği.....	43
2.14.5. Kıkırdak dokusu.....	43
2.14.6. Beyin cerrahisi uygulamaları.....	44
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	45
3.1. Materyal.....	45
3.2. Yöntem.....	46
3.2.1. Statik kültür yöntemiyle bakteriyel selüloz esaslı numunelerin hazırlanması	47
3.2.2. Karıştırmalı kültür yöntemiyle bakteriyel selüloz esaslı numuneleri hazırlanması.....	47
3.2.3. Bakteriyel selüloz oluşumunda pH ve kalınlık tayini.....	48
3.2.4. Bakteriyel selüloz tabakasının temizlemesi ve kurutulması.....	48
3.2.5. Bakteriyel selüloz tabakası ağartma işlemi.....	49
3.2.6. Bakteriyel selüloz kompozit yapıların hazırlanması.....	50
3.2.7. İçi boşluklu bakteriyel selüloz yapı oluşturma.....	51
3.2.8. Bakteriyel selüloz tabakasının su alımı ve kaybı sonrası boyut .. değişimi analizi.....	52
3.2.9. BS ve BS kompozit yapıların porozite analizi.....	53
3.2.10. BS ve BS kompozit yapıların su tutma kapasitesi analizi.....	54
3.2.11. Toz geçirgenliği analizi.....	55
3.2.12. SEM ve EDS analizi	55
3.2.13. FT-IR analizi.....	56
3.2.14. Termal analiz.....	56
3.3. BS Esaslı Tıbbi Tekstil Malzemelerin Performans Testleri.....	56
3.3.1. Mukavemet testi	57
3.3.2. Sürtünme direnci.....	57
3.3.3. Eğilme açısı.....	58
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	59
4.1. Statik Kültür Yöntemiyle Bakteriyel Selüloz Esaslı Numunelerin Hazırlanması	59
4.2. Bakteriyel Oluşumunda pH ve Kalınlık Tayini Bulguları	59
4.3. Temizleme ve Kurutma İşlemi Sonrası BS Yapısı	61
4.4. Bakteriyel Selüloz Tabakası Ağartma İşlemi	61
4.5. İçi Boşluklu Bakteriyel Selüloz yapı Oluşturma Bulguları	61
4.6. Bakteriyel Selüloz Tabakasının Su Alımı ve Kaybı Sonrası Boyut Değişimi Analizi Bulguları	62
4.7. BS ve BS Kompozit Yapıların Porozite Analizi Bulguları	64
4.8. BS ve BS Kompozit Yapıların Su Tutma Kapasitesi Analizi Bulguları	66
4.9. Toz Geçirgenliği Analizi Bulguları	68
4.10. SEM ve EDS Analizi Bulguları	69
4.11. FT-IR Analizi Bulguları	74
4.12. Termal Analiz Bulguları	79
4.13. Mukavemet Testi Bulguları	80
4.14. Sürtünme Direnci Bulguları.....	82
4.15. Eğilme Açısı Bulguları.....	82
5. SONUÇ	84
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ.....	102

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAKTERİYEL SELÜLOZ ESASLI TIBBİ TEKSTİL MALZEME ÜRETİMİ

Nur KILINÇ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Dicle ÖZDEMİR KÜÇÜKÇAPRAZ

Bu tez çalışmasında, statik kültür ortamında *Acetobacter xylinum* bakterisi kullanılarak kombü çayı kültüründe bakteriyel selüloz (BS) yapılar üretilmiştir. Tıbbi amaçlı kullanılmak üzere üretilen bakteriyel selüloz yapılar ve çeşitli dokusuz yüzeyler kullanılarak kompozit yapılar elde edilmiştir. Ham BS yapıların özellikleri ile hidrojen peroksit ve sodyum hidroksit uygulanmış olan bakteriyel selüloz yapılarının özellikleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, kombü çayı kültürü ile BS oluşturulması amacı ile BS üretiminin optimum pH değerleri belirlenmiştir.

Elde edilen bakteriyel selüloz yapıların su tutma, boyut değişimi, porozite, toz tutma, eğilme açısı, sürtünme direnci, mukavemet, FT-IR, SEM, EDS ve DSC analizleri yapılmıştır. Bunun yanı sıra, bakteriyel selüloz yapılarından içi boşluklu yapıda üretimin yapılabilirliği araştırılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde özellikle hidrojen peroksit ve sodyum hidroksit uygulamasından geçmiş olan bakteriyel selüloz ve bakteriyel selüloz kompozit yapıların tıbbi amaçlı olarak kullanılabilecek özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bakteriyel selüloz yapılarından içi boşluklu yapıda üretim sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bakteriyel selüloz, statik kültür, tıbbi tekstiller, kompozit yapılar

2019, 102 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

BACTERIAL CELLULOSE BASED MEDICAL TEXTILE MATERIAL PRODUCTION

Nur KILINÇ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Dicle ÖZDEMİR KÜÇÜKÇAPRAZ

In this thesis, bacterial cellulose structures were produced in kombucha tea by using *Acetobacter xylinum* bacteria in static culture medium. Composite structures were obtained by using bacterial cellulose (BS) structures and various nonwovens made for medical purposes. The properties of the raw BS structures and the properties of the BS structures which were applied hydrogen peroxide and sodium hydroxide were compared. In addition, pH values of BS production were investigated for the purpose of determining the optimum pH values in kombucha tea culture.

Water retention, size change, porosity, dust retention, bending resistance, rubbing resistance, strength, FT-IR, SEM, EDS and DSC analysis of the bacterial cellulose structures were done. In addition, the feasibility of production in hollow structure from bacterial cellulose structures was investigated.

As a result of the analyzes, it has been determined that the bacterial cellulose and bacterial cellulose composite structures, which have undergone the application of hydrogen peroxide and sodium hydroxide, have properties which can be used for medical purposes. Hollow structure production has been provided from bacterial cellulose structures.

Keywords: Bacterial cellulose, static culture, medical textiles, composite structures

2019, 102 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca değerli zamanını bana ayıran, karşılaştığım zorluklarda tecrübesiyle bana yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Dicle ÖZDEMİR KÜÇÜKÇAPRAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca bana göstermiş olduğu ilgi ve katkılarından dolayı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nün değerli hocalarından Sayın Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL'e, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Arş. Gör. Kader POTURCU'ya ve Yüksek Tekstil Mühendisi Hülya KESİCİ GÜLER'e teşekkürü bir borç bilirim.

FYL-2018-6842 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca destek ve sevgilerini esirgemeyen canım annem Emine ÇAK ve babam Kenan ÇAK'a, çalışmamın her aşamasında desteğini ve sevgisini her zaman hissettiren sevgili eşim Öğretim Görevlisi Mehmet KILINÇ'a, sevgisiyle her zaman yanımda olduğunu hissettiren ve bana her zaman güç veren kızım Zeynep Ela KILINÇ'a sonsuz teşekkür ederim.

Nur KILINÇ
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. 2012-2022 yılları arasında ürün bazında Avrupa tıbbi tekstil pazarı.	6
Şekil 2.2. Tıbbi tekstillerin yüzey üretim yöntemleri.....	6
Şekil 2.3. Biyomedikal polimerlerin kullanım alanları	9
Şekil 2.4. (a)Selülozun kimyasal yapısı, (b)Glikojenin kimyasal yapısı.....	11
Şekil 2.5. Selülozun mikro yapısı	13
Şekil 2.6. Bakteriyel selülozun kimyasal yapısı.....	15
Şekil 2.7. Bakteriyel selüloz fibril çapının doğal ve yapay liflerle karşılaştırılması	17
Şekil 2.8. Kombu çayı ve kültürü	19
Şekil 2.9. Bakteriyel selülozun biyosentez mekanizması	20
Şekil 2.10. Statik kültür yöntemi ile üretilmiş BS yapı	21
Şekil 2.11. Dönen disk reaktör şematik gösterimi	23
Şekil 2.12. (a) Belmondo beauty yüz maskesi, (b) Sony kulaklık (c) Dermafill yara örtüsü.....	33
Şekil 2.13. BS esaslı yara örtüsü.....	37
Şekil 3.1. BS üretiminin işlem basamakları	47
Şekil 3.2. Temizleme işlemi basamakları	49
Şekil 3.3. Sandviç kompozit yapısı şematik gösterim	50
Şekil 3.4. (a) BS37NP, (b) BS37H, (c) BS52NP, (d) BS52H (e) BSPH, (f) BSPNP Kompozit yapılar.....	51
Şekil 3.5. İçi boşluklu yapı şematik gösterim.....	52
Şekil 3.6. Vakumlu desikatörde vakumlama işlemi.....	54
Şekil 3.7. Sürtünme haslığı test cihazı.....	58
Şekil 4.1. 14 gün sonunda Bs kültürü	59
Şekil 4.2. Kültür ortamının pH değişimi	60
Şekil 4.3. Bs kültürünün kalınlık değişimi.....	60
Şekil 4.4. Bs tabakasının kurutma ortamı ve kurumuş hali	61
Şekil 4.5. (a)BSY, (b) BSN, (c) BSNP BS tabakası görüntüleri.....	61
Şekil 4.6. BSHW üretim ortam düzeneği üstten görünüşü, (b) BSHW üretim ortam düzeneği yandan görünüşü, (c) BSHW üstten görünüşü, (d) BSHW cam baget üzerindeki görünüşü.	62
Şekil 4.7. Boyut değişimi analizi işlem basamakları sonucunda alınan görseller (a) 14BSY,(b) 14/6BSK,(c) 6/1BSY,(d) 1/16BSK, (e) 16/6BSY, (f) 6/16BSK, (g) 16/12BSY, (h) 12/16BSK	63
Şekil 4.8. BS Porozite % grafiği	65
Şekil 4.9. Su tutma değerleri % grafiği	67
Şekil 4.10. 100 mikrondan küçük, 100-200 mikron arası ve 200 mikrondan Büyük kömür tozları mikroskop altında 60x, 120x ve 200x büyütme sonrası SEM görüntüleri.....	68
Şekil 4.11. (a)500x, (b)1000x, (c)10000x kat büyütülmüş ham BS yapısının SEM görüntüleri	69
Şekil 4.12. (a)1000x, (b)5000x, (c)10000x, (d)20000x,(e)50000x Kat büyütülmüş sodyum hidroksit uygulaması sonrası BS SEM görüntüleri	70
Şekil 4.13. (a)1000x, (b)5000x, (c)50000x Büyütülmüş Hidrojen Peroksit Uygulaması Sonrası BS Yapısının SEM görüntüleri.....	70
Şekil 4.14. (a)1000x, (b)10000x, (c)20000x, (d)50000x Kat Büyütülmüş Ham	

BS-Pamuk Tlbent Kompozit SEM Görüntüleri.....	71
Şekil 4.15. (a)1000x, (b)5000x Kat Büyütülmüş Hidrojen Peroksit Uygulaması Sonrası BS- Pamuk Tlbent Kompozit SEM Görüntüleri.....	72
Şekil 4.16. (a)500x, (b)1000x Kat Büyütülmüş Kömür Tozu ve (c)200x, (d)500x zerine Kömür Serpilmiş ve Vakumlanmış BS SEM Görüntüleri.....	72
Şekil 4.17. Ham BS yapısının EDS analizi bulguları.....	73
Şekil 4.18. İşlem görmemiş pamuk elyaf EDS verileri.....	74
Şekil 4.19. P, BSK, BSN ve BSPNP kodlu numenelere ait FT-IR analizi.....	76
Şekil 4.20. BSK, BS52H ve BS52NP kodlu numenelere ait FT-IR analizi.....	76
Şekil 4.21. BSK, BSPH, BSPNP kodlu numenelere ait FT-IR analiz.....	77
Şekil 4.22. BSK, BS37H, BS37NP kodlu numenelere ait FT-IR analiz.....	77
Şekil 4.23. lignin, selüloz, hemiselüloz FT-IR analiz.....	78
Şekil 4.24. Bakteriyel selüloz TGA grafiği.....	79
Şekil 4.25. Bakteriyel Selüloz DSC grafiği.....	80
Şekil 4.26. Çeneler arasında test sonrası kopmuş pamuk kompozit yapı.....	81
Şekil 4.27. Pamuk kompozit yük/uzama grafiği.....	81
Şekil 4.28. (a) Sürtünme ncesi ham BS 120x, (b) Sürtünme sonrası ham BS 120x.....	82
Şekil 4.29. BS, BS kompozit yapılar ve dokusuz yüzeylerin eğilme davranışı	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Tıbbi ve hijyenik tekstillerin genel sınıflandırılması	5
Çizelge 2.2. Doğal ve sentetik biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması	8
Çizelge 2.3. Tıbbi uygulamalarda kullanılan biyopolimerler	9
Çizelge 2.4. Bakteriyel selüloz üreten bazı mikroorganizmalar ve selülozun yapısı	15
Çizelge 2.5. Bakteriyel selülozun özellikleri	16
Çizelge 2.6. Statik kültür ile karıştırılmalı kültür ortam özelliklerinin karşılaştırılması	24
Çizelge 2.7. Çeşitli karbon kaynaklarının selüloz verimi üzerine etkileri	26
Çizelge 2.8. Bakteriyel selüloz genel kullanım alanları.....	34
Çizelge 2.9. BS'den üretilen ve biyomedikal amaç ile kullanılan ticari ürünler	35
Çizelge 2.10. Bakteriyel selüloz esaslı patentler.....	36
Çizelge 2.11. Yara sargı malzemeleri için genel gereksinimlere göre bakteriyel selülozun karakteristiğine genel bakış	39
Çizelge 3.1. Analizlerde kullanılan numunelerin kodları ve gördükleri işlemler.....	46
Çizelge 3.2. Su alım-kaybı uygulamasının işlem basamakları ve kısaltmaları...	53
Çizelge 4.1. Boyut değişimi analizi işlem basamakları sonucunda meydana gelen boyut ve ağırlık değişimleri	63
Çizelge 4.2. Numunelerin vakum öncesi ağırlık, vakum sonrası ağırlık ve hacim değerleri.....	65
Çizelge 4.3. Numunelerin Yaş, Kuru Ağırlıkları ve Su Tutma Değerleri.....	66
Çizelge 4.4. FT-IR analizi bağ, dalga sayısı eşleştirilmesi	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BS	Bakteriyel selüloz
CMC	Karboksimetil selüloz
CO	Pamuk
DI	Deiyonize
DP	Polimerizasyon derecesi
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
EPTFE	Politetrafloroetilen
EDS	Enerji dağılım spektrometresi
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GX	Gluconacetobacter Xylinum
GYC	Glikoz,maya özütü ve karbonat kültür ortamı
HS	Hestrin Schramm kültür ortamı
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
NaOH	Sodyum Hidroksit
Nm	Nanometre
PEG	Polietilen glikol
PET	Polietilen teraftalat
PGA	Poliglikolik asit
PHA	Polihidroksi asit
PLA	Polilaktik asit
PP	Polipropilen
PVA	Polivinil alkol
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TGA	Termogravimetrik analiz
VI	Viskoz
~	Yaklaşık

1.GİRİŞ

Canlı varlığının ilk yıllarından bu yana insanoğlu birçok ihtiyacının karşılanması amacıyla ile yün, ipek, deri ve pamuk gibi doğal polimerik malzemelerden yararlanmıştır. Sentetik polimerik yapıların 1800’lü yıllarda bulunması ile birlikte doğal polimerik yapılara olan ilgi doğal polimerik yapıların sentetiklere oranla daha az ulaşılabilir olmasından ve pahalı olmasından kaynaklı olarak artmıştır (Besergil, 2019). Ancak tamamı sentetik olan polimerik yapıların eldesinde kullanılan petrol ve türevlerinin dünyada gün geçtikçe azalmasından ve bu oranda ekonomik olarakta pahalılaşmasından kaynaklı olarak doğal polimerik yapılara yönelinmiştir. Doğal polimerik yapılar biyoteknoloji gelişene kadar bitkilerden yahut hayvanlardan elde edilen ürünlerle sağlanmaktaydı. Ancak bitkilerden ya da hayvanlardan elde edilen doğal polimerik yapıların ihtiyacı karşılamaması ve ayrıca özellikle bitkisel kaynaklı selüloz ve benzeri ürünlerin elde edilmesinde ağaç ve türevlerinin çok fazla tüketilmesi mikroorganizmalar yolu ile polimerik malzeme üretimi araştırmalarını arttırmıştır. (Basnett ve Roy, 2010).

Biyoteknolojik çalışmaların ilerlemesi ile birlikte bilim insanlarının mikroorganizmalara ve üretmiş oldukları ürünlere olan ilgisi artarak devam etmiş ve bu organizmalardan biyopolimerik yapılar elde edilmeye ve bu malzemelerin tıp alanı olmak üzere birçok alanda kullanılmaya başlaması sağlanmıştır. Organizmalardan elde edilen ürünlere örnek olarak bakterilerden doğal boyar madde elde edilmesi, polyester yapısında olan polihidroksibütirat eldesi ve bakteriyel selüloz eldesi verilebilir (Bielecki vd., 2000; Basnett ve Roy, 2010; Venil vd., 2013). Biyopolimerik yapıların yenilenebilme, parçalanma, insan vücudu ile uyumlu olması ve hatta yenilebilme özellikleri olan yapıları barındırması, tamamı sentetik olan polimerlere göre üstün özellikleridir. Bunun yanı sıra sentetik ürünler kadar mukavemetli olmaması ve kolay işlenme özelliklerinin olmaması az miktarda üretiminin sağlanması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ancak bu dezavantajlar, bilimin ilerlemesi ile birlikte ilerleyen yıllarda çözülebileceğine yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır (Özdemir ve Erkmen, 2013; Gümüş, 2016).

Bu çalışmada, *Acetobacter xylinum* bakterisi kullanılarak bakteriyel selüloz ve bu bakteriyel selüloz tabakaları ve dokusuz yüzeyler birleştirilerek elde edilen kompozit

yapıların tıbbı tekstiller alanında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Litaratürde yapılmış çalışmalarda tıbbi tekstil ürünü olarak BS ve dokusuz yüzeyler ile elde edilmiş kompozit yapılara rastlanmamıştır. Bu yüzden çeşitli kompozit yapılarda üretim çalışmaları yapılmıştır. Üretimi sağlanan BS ve BS kompozit yapılara su tutma, boyut değişimi, porozite, toz tutma, eğilme açısı, sürtünme direnci, mukavemet, FT-IR, SEM, EDS ve DSC analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunun yanısıra litaratürde statik kültürde reaktör tasarımı ile üretilmiş içi boşluklu yapıya alternatif olarak farklı bir yöntemle içi boşluklu yapı üretilmesine dönük çalışmalar yapılmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde, teknik tekstiller, biyopolimerlerin sınıflandırılması ve özellikleri, bakteriyel selülozun özellikleri, üretim yöntemleri, üretim parametreleri ve kullanım alanları hakkında literatürde bildirilen çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Teknik Tekstiller

Tekstil denildiği zaman genellikle kumaş ya da giysiler gibi geleneksel tekstiller akla gelmektedir. Fakat günümüzde tekstil çok çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Tekstilin temel fonksiyonu olan örtünme ve dış etkenlerden korunmanın dışında günümüzde birçok ülkede değişik fonksiyonlara sahip, değişik alanlarda kullanılabilecek tekstil ürünleri üretebilmek için Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır.

Özellikle son otuz yıl içerisinde yapılan yoğun araştırmalar teknik tekstillerin ne kadar önemli bir alan olduğunu göstermektedir. Günümüzde tekstil materyalleri kullanılan lif çeşitliliği ve elde edilen yapıların çeşitliliği sebebiyle klasik tekstil kullanımının dışında tıp, tarım, taşımacılık, inşaat gibi alanlarda oldukça yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Pazar taleplerinin artması ve yeni uygulama alanlarının bulunması teknik tekstil sektörünün hızlı bir şekilde gelişmesi için önemli bir faktör olmuştur (Mecit vd., 2007; Bryson ve Ronayne, 2014).

2.2. Teknik Tekstillerin Uygulama Alanları

Teknik tekstiller maliyeti çok düşük ve basit bir üründen (örn. sargı bezi), katma değeri yüksek özel bir ürüne (örn. yapay organ) kadar geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Teknik tekstiller kullanım alanlarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

- Taşımacılık Teknik Tekstilleri (Mobiltech),
- **Tıbbi ve Hijyenik Teknik Tekstiller (Medtech),**
- Jeotekstiller (Geotech),
- Endüstriyel Tekstiller (Indutech),
- Koruyucu Giysiler (Protech),

- Bina ve İnşaat Teknik Tekstilleri (Builtech),
- Tarım Teknik Tekstilleri (Agrotech),
- Aktif Spor ve Boş Zaman Teknik Tekstilleri (Sporttech),
- Ev Teknik Tekstilleri (Hometech),
- Ambalaj Teknik Tekstilleri (Packtech),
- Giyim Teknik Tekstilleri (Clothtec),
- Ekolojik ve Çevre Teknik Tekstilleri (Oekotech) (Emek, 2004).

2.2.1. Tıbbi ve hijyenik teknik tekstiller

Tıbbi ve hijyen tekstileri, teknik tekstiller arasında hızla büyüyen ve geniş ürün çeşitliliğine sahip alanlardan biridir. Toplumların refah seviyelerindeki artış ile birlikte tıbbi ve hijyen tekstillerine eğilim artmaktadır.

Üretilen tekstil ürünleri mukavemet, esneklik, hava geçirgenliği, antibakteriyel olma gibi özellikleri sayesinde tıbbi ve cerrahi uygulamalarda kullanılabilmektedir. Üretim için genellikle liflerde dahil olmak üzere monofilament veya multifilament iplikler, dokuma, örme, kompozit yapılı veya dokusuz yüzey kumaşlar tercih edilmektedir (Akter vd., 2014). Bunlardan yaklaşık % 70'i yok edilebilir ve % 30'u tekrar kullanılabilir. Tıbbi tekstil alanında yapılan üretimler, temizlik bezinden kemik naklinde kullanılan kompleks kompozit yapılara kadar çok geniş bir uygulama alanına sahiptir (Özdemir, 2006).

Özellikleri tıbbi amaçlı kullanımlar için geliştirilmiş tekstil lif ve yüzeyleri, ameliyathane işlerinde hastaların ve personelin hijyeni, yara tedavisi, hasar görmüş organ ve dokuların tedavisinde kullanılabilmektedir (Emek, 2004).

Lifler, biyolojik olarak parçalanabilme veya parçalanamama, doğal ya da sentetik olma gibi özelliklere sahip olabilmektedir. Kullanılan liflerin; toksik, alerjik veya kanserojen olmamaları ve ayrıca fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişme olmaksızın sterilize edilebilmeleri gerekmektedir (Mecit vd., 2007). Tıp ve hijyen uygulamaları için kullanılan tekstil malzemeleri, genel olarak dört grupta

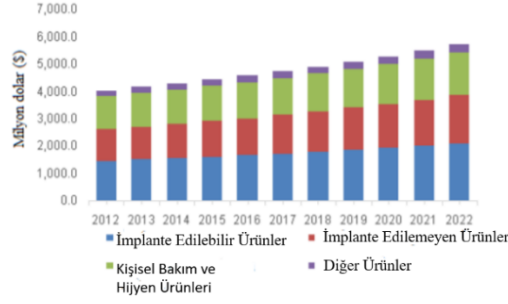
incelenmektedir. Çizelge 2.1’de tıbbi ve hijyenik tekstillerin genel sınıflandırılması gösterilmiştir.

- **İmplant edilebilen (vücut içine yerleştirilebilen) ürünler:** ameliyat iplikleri, damar greftleri, yapay kornea ve kalp kapakçıkları vs.
- **İmplant edilemeyen (vücut içine yerleştirilemeyen) ürünler:** yara sargıları, bandajlar, emici pedler vs.
- **Vücut dışı (ekstrakorporal) aletler:** karaciğer, yapay böbrek ve akciğer
- **Bakım/ hijyen ürünleri:** yatak örtüleri, bebek bezleri, ameliyat önlükleri, perdeler vs. (Mecit vd., 2007a ,b).

Çizelge 2.1. Tıbbi ve hijyenik tekstillerin genel sınıflandırılması (Rigby ve Anand, 1997)

İmplant Edilebilir Materyaller	İmplant Edilemeyen Materyaller
Ameliyat İplikleri	Yara Sargıları
Yumuşak Doku İmplantları	Bandajlar
Ortopedik İmplantlar	Flasterler
Kardiyovasküler İmplantlar	Sargı Bezleri
Bakım ve Hijyen Ürünleri	Gazlı Bezler
Cerrahi Giyecekler	Tamponlar
Yatak Örtüleri	Vücut dışı (ekstrakorporal) aletler
Yetişkin Bezleri /Örtüleri	Yapay Böbrek
Kumaşlar/ Temizlik Bezleri	Yapay Akciğer
Cerrahi Çoraplar	Mekanik Akciğer

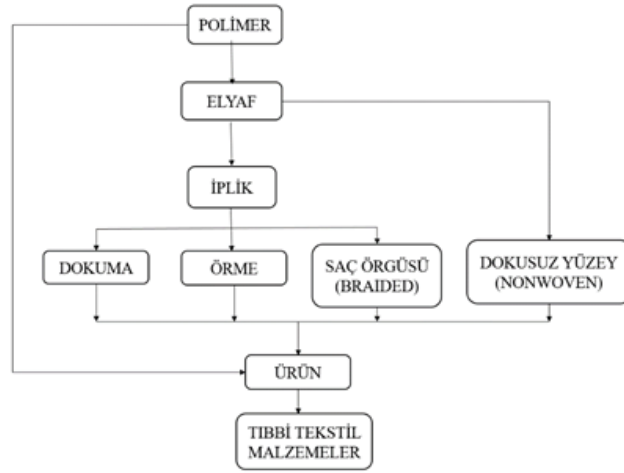
Tekstil ürünleri tıbbi uygulamalarda uzun yıllardan beri kullanılıyor olmasına rağmen günümüzde yeni kullanım alanları ortaya çıkmaya devam etmektedir. Yeni ve var olan liflerle, kumaş imalat teknikleri ile ilgili araştırmalar tıbbi tekstillerde de gelişmelere yol açmaktadır. Esneklik, emicilik, mukavemet veya biyolojik çözünebilirlik özelliklerinin kazandırıldığı lifleri üreten üreticiler ön planda yer almaktadır (Özdemir, 2006). Şekil 2.1’de 2012-2022 yılları arasında ürün bazında Avrupa tıbbi tekstil pazarına ait grafik gösterilmiş ve 2022 yılına kadar Avrupa’da tıbbi tekstil pazarına gösterilen ilgide artış olacağı gözlenmektedir.



Şekil 2.1. 2012-2022 yılları arasında ürün bazında Avrupa tıbbi tekstil pazarı (Grand view research, 2019)

2.3. Tıbbi Tekstil Üretiminde Kullanılan Yüzey Üretim Yöntemleri

Pazardan gelen talepler doğrultusunda tekstil materyallerinin mukavemet, esneklik, porozite gibi özelliklere sahip olması, onları tıbbi ürün kullanımlarında uygun kılmaktadır. Kullanılan materyaller monofilament veya multifilament iplikler, dokuma, örme, dokusuz yüzey ve kompozit yapılı kumaşlardır (Zong, 2014). Şekil 2.2’de tıbbi tekstillerde kullanılan yüzey üretim yöntemleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Tıbbi tekstillerin yüzey üretim yöntemleri (Özdemir, 2006)

2.4. Biyopolimerlerin Özellikleri Ve Sınıflandırılması

Biyopolimerler canlı organizmalar tarafından sentezlenen, yenilenebilir doğal kaynaklardan üretilen, çoğunlukla biyolojik olarak parçalanabilen ve toksik olmayan çevre dostu polimerlerdir (Kumar, 2007; Karthik ve Rathinamoorthy, 2017). Biyopolimerler biyolojik sistemler (mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar) tarafından üretilirler veya biyolojik başlangıç malzemelerinden (şekerler, nişasta, doğal yağlar veya yağlar, vb.) kimyasal olarak sentezlenebilirler (Kumar, 2007).

Günümüzde bakteriyel fermantasyon, ileri genetik mühendislik uygulamaları ve nanoteknoloji gibi modern biyoteknolojik yöntemler ile doğal polimerlere istenilen özellikleri verebilmektedir. Bununla birlikte yaygın olmayan biyopolimerler ve bunların türevleri için kullanım potansiyeli oluşturabilmektedir (Onar, 2004).

Biyopolimerler polisakkaritler (nişasta, selüloz, kitin, aljinat, hyaluronat vb.), proteinler (kolajenler, jelatinler, kazeinler, albüminler), sentetik ve biyobozunur polimerler (Polivinil alkol (PVA), Polilaktik asit (PLA), Polihidroksi asit (PHA) vb.) olarak gruplandırılabilir. Çizelge 2.2’de doğal ve sentetik biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması gösterilmektedir (John ve Thomas, 2008). Özellikle tıbbi uygulamalar için PLA, Poliglaktolik asit (PGA), kitin, kitosan, selüloz, aljinat ve bunların türevleri gibi biyopolimerlerin kullanılmasına odaklanan çalışmalar yapılmaktadır. Dünyada en bol bulunan biyopolimerler sırasıyla selüloz ve kitindir (Onar, 2004; Ekiert vd., 2015; Yoruç ve Uğraşkan, 2017).

Çizelge 2.2. Doğal ve sentetik biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması (John ve Thomas, 2008)

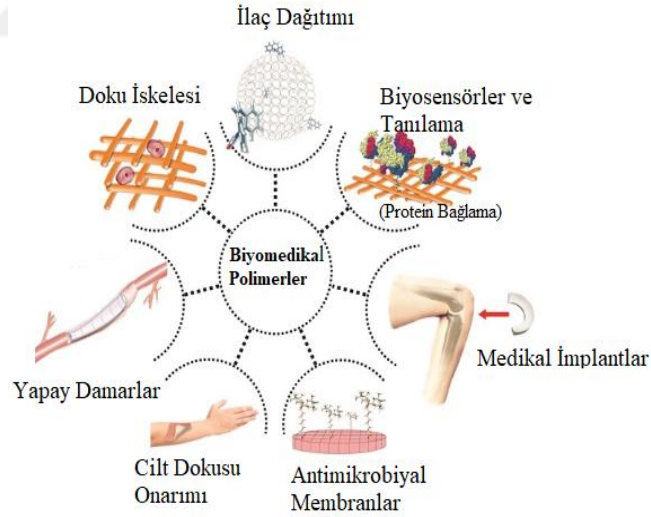
Doğal Polimerler	Sentetik Polimerler
1-Polisakkaritler Selüloz Kitosan Kitin	1-Poliamidler 2-Polianhidritler 3-Poliamid-enaminler 4-Polivinilalkol 5-Polivinilasetat
2-Proteinler Kolajen/Jelatin İpek Albümin Fibrinojen Kazein	6-Polyesterler Poliglikolik asit (PGA) Polilaktik asit (PLA) Poliortoesterler Polikaprolaktan
3-Polyesterler Polihidroksialkanatlar	7-Polietilen Oksitler 8-Polifosfazenler
4-Diğer Polimerler Lignin Lipitler Şellak Doğal Kauçuk	

Polimerik biyomalzemelerin biyomedikal uygulamalarda ilaç taşıyıcı, doku mühendisliği, yara örtüsü, gastrointestinal sistem ve böbrekler, ortopedik cihazlar ve diş, çene cerrahisi gibi kullanımları mevcuttur. Çizelge 2.3’de tıbbi uygulamalarda kullanılan biyopolimerlerin uygulama alanları gösterilmiştir. Kullanım alanlarının geliştirilmesi için özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir ve mevcut kullanım alanları ile medikal sektör için biyopolimerlerin umut verici materyaller olduğu görülmektedir (Saha vd., 2011).

Çizelge 2.3. Tıbbi uygulamalarda kullanılan biyopolimerler (Kumar, 2007; Ji vd., 2013)

Uygulama	Polimerler
Yara Bakımı	polietilen glikol ve agar, Ksantan, metil selüloz, karboksimetil selüloz, aljinat, hiyalüronan ve diğer hidrokolloidler
İlaç Taşınımı ve Farmasötik	nişasta, poliakrilik asit, kitosan, polivinilpirolidon, akrilik asit
Diş Malzemeleri	hidrokolloidler
Doku Mühendisliği, İmplantlar	hiyalüronan, kolajen, kitosan, selüloz
Enjekte Edilebilir Polimerik Sistem	polipeptitler, kitosan
Hemostaz	kitosan ve poli asetil glukozamin jelleri
Sütür	kolajen, katgüt, poliglaktin, polidioksanon poliglolik asit, polimetilen karbonat

Şekil 2.3’de biyomedikal polimerlerin kullanım alanları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Biyomedikal polimerlerin kullanım alanları (Technologytimes, 2019)

2.5. Tıbbi Tekstillerde Kullanılan Biyopolimerler

2.5.1 PLA

Umut vadeden biyobozunur biyolojik olarak emilebilen polimerlerden biridir. Mısır nişastası, pirinç, patates gibi doğal kaynaklardan elde edilebilir. PLA iyi mekanik özellikleri sahiptir. Çekme dayanımı, young modülü, eğilme direnci polipropilen(PP), polietilen (PE) gibi geleneksel polimerlere göre daha yüksektir. Ayrıca sentetik polimerlere göre daha düşük maliyet avantajına sahiptir (Mukherjee vd., 2011).

PLA'nın lif potansiyeli 1950'lerde keşfedilmiş olup, biyolojik olarak parçalanabilir ve absorbe edilebilir ameliyet iplikleri üretilmiştir. PLA polimeri lif ve dokusuz yüzey uygulamalarında konvensiyonel sentetikler ve pamuk, ipek gibi doğal lifler arasında köprü oluşturmaktadır. Bu yüzden eriyikten işlenebilir doğal esaslı bir lif olarak birçok özelliği kombine edebilir. PLA dökümlülük, düşük nem absorpsiyonu, UV dayanımı ve rezilyans gibi özelliklere sahiptir (Onar, 2004; Bergstroem ve Hayman 2016). Potansiyel medikal uygulamalarının doku mühendisliği, yara örtüsü, ilaç dağıtımı ve ortopedik cihazlar gibi alanlar da olduğu vurgulanmıştır (Hamad vd., 2015).

2.5.2 PGA

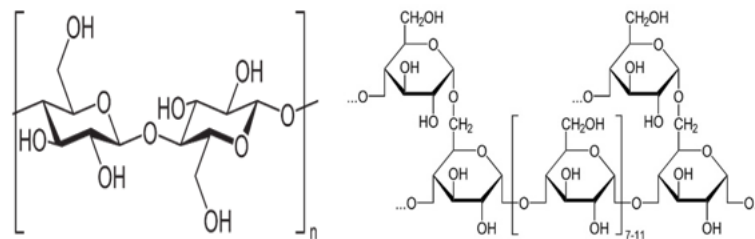
Poliglikolik asit (PGA), biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan biyobozunur ve biyoemilebilir bir polyesterdir. İlk olarak 1970'lerde biyobozunur sütürler için uygun bir materyal olarak tanıtılmıştır. PGA iyi bir mekanik güce sahiptir ve tahmin edilebilir bir biyoemilebilirliğe sahiptir. Doku onarımı ve yenilenmesi için kullanılan yapı iskelelerinde polimerde ilk dayanımı ve hızlı bozunma özellikleri önemlidir. PGA sütürleri hidrofilik yapılarına bağlı olarak vücutta yaklaşık 2 ile 4 hafta içinde emilebilmektedir (Zhong., 2013).

2.5.3. Aljinat

Aljinat kahverengi deniz yosunlarından üretilmektedir (Küçükçapraz vd., 2016). Biyobozunur, biyoyumlu, düşük toksisite ve nispeten düşük maliyet gibi özellikleri olan bir biyopolimerdir. Aljinat, ortamın nem seviyesini sabit tutar, yara enfeksiyonunu azaltır ve yara iyileşmesini kolaylaştırır. Bu nedenle, yara sargı malzemesi olarak kullanılabilir. Bunun yanı sıra aljinat, ilaç salınımı, in vitro hücre kültürü ve doku mühendisliği alanında kullanılabilir (Lee, 2012; Percival, 2015).

2.5.4 Polisakkaritler

Polisakkaritler, nişasta, glikojen, pektin, selüloz, kitin ve kitosan da dahil olmak üzere dünyadaki en yaygın doğal polimerlerdir. Bunlar, glikozidik bağlarıyla birbirine bağlanan glikozu temel alan, $(C_6H_{10}O_5)_n$ genel formülüne sahip uzun süreli tekrarlayan monosakkarit zincirlerinden oluşan polimerik karbonhidrat molekülleridir. Selüloz, doğrusal zincirlerden oluşan polisakkaritlere bir örnektir; glikojen ise dallanmış zincirlerden oluşan polisakkaritlere örnektir (Zeng, 2014). Şekil 2.4 (a) selülozun kimyasal yapısı ve doğrusal zincirlerden oluştuğu gösterilmiştir. Şekil 2.4 (b) glikojenin kimyasal yapısı ve dallanmış zincirlerden oluştuğu gösterilmiştir



Şekil 2.4. (a) Selülozun kimyasal yapısı, (b) Glikojenin kimyasal yapısı (Wikipedia, 2018; Zeng, 2014)

Doğal polisakkaritler, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve canlı dokularla uyumluluğu nedeniyle umut verici bir gelecek sunmaktadır. Dahası, bunlar

yenilenebilir ve tükenmezdir. Polisakkaritler iki ana fonksiyonel polisakkarit olarak sınıflandırılmaktadır. Bunlar depolama polisakkaritleri (örneğin nişasta ve glikojen) ve yapısal polisakkaritler (örneğin kitin ve selüloz) olarak adlandırılmaktadır (Zeng, 2014).

2.5.4.1. Kitin ve kitosan

Kitin ve kitosan, çeşitli hayvanlar ve bitkilerden elde edilen polisakkaritlere dayanan, biyobozunur doğal polimerlerdir. Kitin omurgasızların dış iskeletleri, mantarlar, küfler ve kütikülerdeki bazı mikroorganizmalar hücre duvarlarında yaygın olarak bulunur. Kitosan doğal olarak sadece birkaç mantar türünde bulunur. Kitin ve en önemli türevi olan kitosan, yüksek mukavemet, biyolojik bozunabilirlik ve toksik olmama gibi özelliklere sahiptir (Onar, 2004; Zhong, 2013).

Kitin medikal olarak yanık tedavisinde yapay deri, antibakteriyel hastane giysileri, kontak lensler ve yapay kan damarları gibi uygulamalarda kullanılabilir (Zong, 2013). Ayrıca yapay deri olarak kullanımı sonrası büyük ölçüde iyileşmeyi hızlandırır ve ağrıyı azaltır (Onar, 2004).

Kitosan, su emiciliği, oksijen geçirgenliği ve biyouyumlu bir film oluşturması sebebiyle yara iyileştirici tedavide bandaj ve dikişlerde kullanılabilir. Doku onarımını hızlandırmak için kullanılabilir ve yanıkları tedavi etmek için doğrudan sulu bir çözelti halinde uygulanabilir. Yüksek oksijen geçirgenliği nedeniyle, kitosan, kontakt ve göz içi lensleri için bir materyal olarak kullanılır. Ayrıca kitosanın kanın pıhtılaşmasını hızlandığı da tespit edilmiştir (Zhong, 2013; Kumar, 2007).

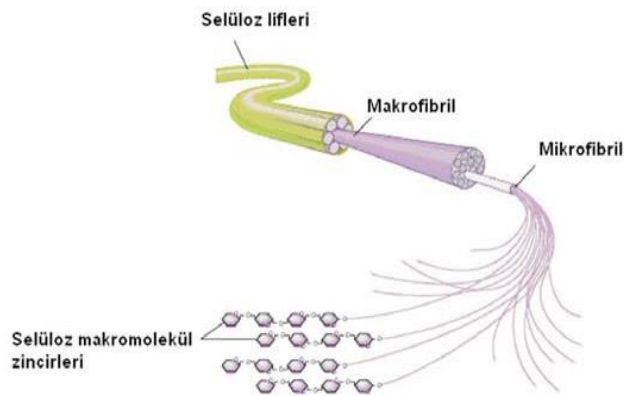
2.5.4.2 Selüloz

Selüloz 1830'lu yıllarda, Fransız kimyager Anselme Payen tarafından çeşitli bitki dokularından izole edilerek keşfedilmiştir (Zeng, 2014). Bitkisel liflerin kimyasal yapısının yoğun bir kısmını oluşturan selüloz, genel formülü $(C_6H_{10}O_5)_n$ olan bir polisakkarittir. Pamuk, %94'ün üzerinde selüloz içermektedir. Odun ise %50'nin üzerinde selüloz içermektedir (Keshk, 2014).

Selüloz dünyada en yaygın bulunan ve kolayca temin edilebilen ucuz bir karbonhidrat polimeridir (Esa vd., 2014). Bu polimerin önemini ekonomik olarak vurgulamak amacıyla dünya çapında yapılan bir tahmine göre her yıl 10^{14} ton selüloz hamurunun üretildiği varsayılmaktadır (Lin vd., 2014).

Bitkilerde selüloz, fiziksel ve kimyasal olarak birbirine bağlanan lignin polimerleri, hemiselülozlar gibi karbonhidratlar ve selülozdan oluşan kompozit bir formda bulunur (Zeng, 2014). Hemiselüloz ve ligninin uzaklaştırılması ve selülozun saflaştırılması için sert alkali ve asit ile kimyasal işlem den geçmesi gerekmektedir (Esa vd., 2014).

Selüloz makromolekülleri birçok (n tane) β -D yapıtaşının 1. ve 4. karbon atomları üzerinden oksijen köprüleriyle birbirine bağlanması sonucu oluşmaktadır. Her bir glikoz yapıtaşında 3 tane hidroksil grubu bulunmasından dolayı selüloz makromolekülleri lif içerisinde yalnız bulunmayıp hidrojen köprüleriyle birbirlerine bağlanmaktadır. Şekil 2.5’de selüloz lifleri, makrofibriller, mikrofibriller ve selülozun içerisinde bulunan makromolekül zincirleri açıkça gösterilmektedir. Hemiselüloz, makrofibrillerden oluşan bitkisel liflerde selüloz fibrillerine hidrojen köprüleri ile bağlıdır. Düşük molekül ağırlığına sahip olmakla birlikte amorf bir yapıya sahiptir. İçerdiği asetil ve hidroksil gruplar sayesinde suda çözünebilmektedir. Hidroksil grupları selüloz lifine hidrofil özellik kazandırmaktadır (Bulut ve Erdoğan, 2011).



Şekil 2.5. Selülozun mikro yapısı (Nutritionresources, 2019)

Selüloz bu özelliklerin yanısıra mekanik sağlamlık, hidrofiliklik, biyouyumluluk, biyobozunurluk, nispi termostabilite, yüksek emme kapasitesi ve değiştirilebilir optik görünüm gibi bazı ümit verici özelliklere sahiptir (Xiaoyun ve Shuwen, 2013; Hu vd., 2014).

Her yıl meydana gelen yangınlar ve diğer nedenler sebebi ile sahip olduğumuz yeşil alanlar gün geçtikçe azalmaktadır. Ormanlık alanlardaki azalma ve son yıllarda biyoteknolojinin hızla gelişmesi sebebi ile araştırmacılar bitkiler olmadan da selüloz üretebilmenin yollarını aramışlardır. Son 30 yılda yapılan araştırmalar, selüloz ürettiği bilinen bakteriler üzerinde yoğunlaşmıştır. Böylece selüloz üretiminde ikinci yöntem olarak selülozun çeşitli mikroorganizmalardan biyosentez yoluyla elde edilmesi üzerinde durulmaktadır (Saxena , 1997; Park vd., 2003).

2.6. Bakteriyel Selülozun Yapısı ve Özellikleri

İlk kez Brown (1886), tarafından sirke fermentasyonu sırasında, sıvı yüzeyde oluşan jelatinimsi yapıdan, tanımlanan *Acetobacter xylinum* strainin, uygun bir ortamda üretildiğinde, yüksek miktarda ekstrasellular jelatinimsi bir yapı sentezlediği belirtilmiştir (Bielecki vd., 2000).

Bugüne kadar yapılmış araştırmalarda, *Acetobacter xylinum* bakterileri de dahil olmak üzere, *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Sarcina* ve *Zoogloea* gibi bakterilerin, *Valonia*, *Chaetomorpha* spp. gibi bazı alglerin ve *Saprolegnia*, *Dictyostelium discoideum* gibi bazı mantarların ve tulumlular olarak adlandırılan deniz canlılarının da farklı amaçlarla saflığı yüksek (%94-98) selüloz sentezleyebildikleri kanıtlanmıştır. Bu yolla sentezlenen selüloz, bakteriyel selüloz (BS) ya da mikrobiyel selüloz olarak isimlendirilmektedir (Chawla vd., 2009; Aydın ve Aksoy, 2015).

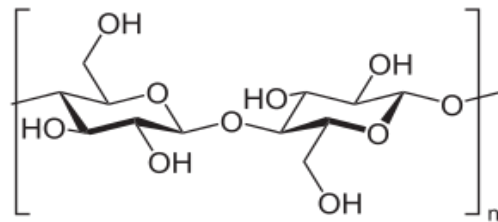
Asetik asit bakterileri içinde en iyi selüloz üreticisinin BS yapıyı sentezlediği bilinen ve aynı zamanda daha önce *Gluconacetobacter Xylinum* (GX) olarak da isimlendirilen *Acetobacter Xylinum*'un en iyi selüloz üreten bakteri olarak bildirilmiştir (Poyrazoğlu, 2007).

Williams ve Cannon (1989), selüloz zerrelerinin, GX'in substrat üzerinde kolonizasyonunu desteklediğini ve yabancı maddelere karşı koruma sağladığını bildirmişlerdir. Selülozun ayrıca *Acetobacter Xylinum*'un opaklığı nedeniyle UV ışıklarının olumsuz etkilerinden korunduğu bilinmektedir (Williams ve Cannon 1989). *Acetobacter* organizmaları haricinde selüloz üretimi yapan başka organizmalarda mevcuttur. Bu organizmalar çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Bakteriyel selüloz üreten bazı mikroorganizmalar ve selülozun yapısı
(Poyrazoğlu, 2007; Rehm, 2010)

Organizma (genus)	Selüloz yapısı	Biyolojik görev
<i>Acetobacter</i>	Ekstrasellüler pellik	Aerobik çevrede tutmak
<i>Achromobacter</i>	Selülozik iplikler	Atık suda flokulasyon
<i>Aerobacter</i>	Selülozik fibriller	Atık suda flokulasyon
<i>Agrobacterium</i>	Kısa fibriller	Bitki dokusuna birleşmiş
<i>Alcaligenes</i>	Selülozik fibriller	Atık suda flokulasyon
<i>Pseudomonas</i>	Belirgin fibril yok	Atık suda flokulasyon
<i>Zoogloea</i>	Belirgin fibril yok	Atık suda flokulasyon
<i>Rhizobium</i>	Kısa fibriller	Birçok bitkiye birleşmiş
<i>Sarcina</i>	Amorf selüloz	Belirsiz

Bakteriyel selülozun polimerizasyon derecesi (DP) bitkisel selülozdan daha yüksektir. Polimerizasyon derecesini yüksek olması daha yüksek çekme dayanıma sahip olduğunu göstermektedir (Hutchens vd., 2006). Qiu ve Netravali (2014), DP'nin en fazla 20.000 e ulaştığını, öte yandan Klemm vd. (2001), bitkisel selülozun DP'sinin sadece 13.000-14.000 arasına ulaşırken, BS'nin DP'nin 16.000-20.000 arasında bulunduğunu belirtmiştir. Şekil 2.6'da bakteriyel selülozun kimyasal yapısı gösterilmiştir.



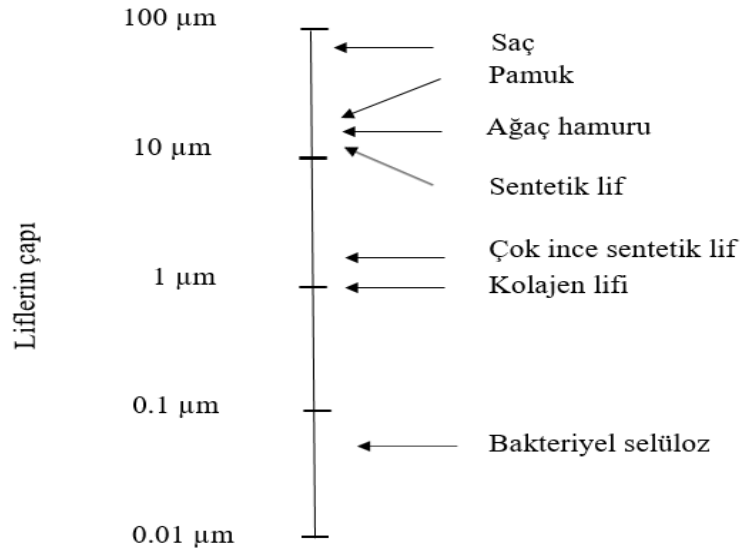
Şekil 2.6. Bakteriyel selülozun kimyasal yapısı (Wikipedia, 2018)

BS insan vücuduna zarar vermez ve çevre dostudur bu özellikleri sebebi ile dünyada BS üretimi gün geçtikçe popülerliğini artırmaktadır (Khalil vd., 2012; Jozala vd., 2016; Han vd., 2019). Çizelge 2.5’de bakteriyel selülozun bazı özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Bakteriyel selülozun özellikleri (Czaja vd., 2004; Klemm vd., 2011; Lin vd., 2013; Fu vd., 2013; Qiu ve Netravali, 2014; Jozala vd., 2016; Han vd., 2019)

Bakteriyel Selülozun Özellikleri
Biyouyumluluk
Toksisite azlığı
Çevre dostu
Yüksek gerilme direnci
Esneklik
Yüksek çekme dayanımı
Yüksek polimerizasyon derecesi
Yüksek saflık
Yüksek mekanik mukavemet
Yüksek su tutma kapasitesi
Biyolojik affinite
İstenilen şekilde büyütülebilme
Yüksek kristallik
Sterilizasyon kolaylığı

Yapılan araştırmalar sonucu BS, kimyasal olarak bitkisel selüloz ile aynı olmasına rağmen, BS’nin moleküler yapısı ve fiziksel özelliklerinin bitkisel selülozdan farklı olduğu kanıtlanmıştır. BS’nin eşsiz bir yapıya sahip olmakla birlikte ultra ince (nano boyutta) liflerden oluşan üç boyutlu bir ağ formunda olduğu bulunmuştur. Şekil 2.7’de bakteriyel selüloz fibril çapının doğal ve yapay liflerle karşılaştırılması gösterilmiştir. BS şerit şeklindeki fibrillerden oluşmaktadır. Şeritin genişliği yaklaşık 100 nm (nanometre) ve kalınlığı 3 ila 8 nm’dir ve her bir şerit, transmisyon elektron mikroskobu ile gözlenebilecek bir dizi mikrofiberden oluşur. (Yoshinaga vd., 1997; Qiu ve Netravali, 2014; Jozala vd., 2016).



Şekil 2.7. Bakteriyel selüloz fibril çapının doğal ve yapay liflerle karşılaştırılması (Yoshinaga vd., 1997).

Bitki selülozunda lignin ve diğer polisakaritler (örneğin hemiselülozlar) bir arada bulunur. Bitkilerden saf selüloz elde etmek kolay değildir, fiziksel ve kimyasal ayırma ve bazı arıtma işlemleriyle izole edilmelidir. Bitki selülozundan farklı olarak, BS saf halde üretilir, lignin, hemiselüloz, pektin veya bitki özü içerisinde bulunan diğer bileşenleri içermez. Selülozun saflığı biyolojik, tıbbi uygulamalarda giderek daha önemli hale gelmektedir (Fu vd., 2013; Zeng, 2014).

Bakteriyel selüloz deri ile benzer görünüm ve kalınlığa sahipken gerilme mukavemetinin deriye göre iki kat daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Yim vd., 2017). Kurutulmamış BS yapısı tıpkı hidrojel bir yapıya benzer. BS'nin su içeriği, kendi ağırlığının % 98'ine tekabül etmektedir. BS lifinin young modülünün 114 GPa olduğu bilinmektedir (Qiu ve Netravali, 2014).

Kurutulmuş BS, bir kağıt tabakasına benzer ve 0,01-0,5 mm kalınlığında olup, yüksek su emme kapasitesinden dolayı iyi bir adsorblama özelliğine sahiptir (Yamanaka vd., 1990; Krystynowicz vd.,1995,1997; Lin vd., 2013). Tüm bu özelliklerinden dolayı gelecek yıllarda bakteriyel selülozun kullanım alanlarının artarak devam edeceği ön görülmektedir.

2.7. Bakteriyel Selüloz Eldesinde Kullanılan Kültür Ortamları

Bakteriyel selüloz eldesinde Hestrin Schramm (HS) kültür ortamı (Meftahi vd., 2015), glikoz,maya özütü ve karbonat (GYC) kültür ortamı (Mamlouk ve Gullo, 2013), kombu çayı özütü kültür ortamı (Goh vd., 2012) kullanılabilmektedir.

Son vd. (2002), yapmış oldukları çalışmada HS kültür ortamı aşağıdaki bileşenler kullanılarak ve 7 gün bekletilerek uygulanabilmektedir. Ayrıca optimum pH değerinin 5,25 olduğu bildirilmiştir.

- 2 g glikoz
- 0,5 g pepton
- 0,5 g maya ekstraktı
- 0,27 g Disodyum Hidrojen Fosfat (Na_2HPO_4)
- 0,15 g sitrik Asit
- 100 ml distile su

Son vd. (2002), yapmış oldukları başka bir çalışmada GYC kültür ortamı aşağıdaki bileşenler kullanılarak ve 5-7 gün bekletilerek uygulanabilmektedir.

- 5 g glikoz
- 1 g maya ekstraktı
- 3 g CaCO_3
- 100 ml distile su

Nam ve Lee, (2016), yaptıkları çalışmada kombu çayı özütü kültür ortamı için oda sıcaklığında aşağıdaki bileşenler kullanılarak ve 7 gün bekletilerek uygulanabilmektedir.

- 14,36 g glikoz
- 2,65 g maya ekstraktı
- 16,8 g asetik asit
- 2 g çay özütü
- 100 ml distile su

Kombu çayı, dünya çapında tüketilen biraz tatlı, hafifçe asitli serinletici bir içecektir. Kombu çayı, çay yapraklarının infüzyonundan, "çay mantarı" oluşturan bakteri ve mayalardan oluşan ortak yaşam kültürünün (simbiyotik yaşam) birleşiminin fermentasyonu ile elde edilir. Kaygan bir selülozik katman (mikrobiyal selülozik zar) ve ekşi sıvı besiyeri kombu çayının iki porsiyonudur (İleri vd., 2010). Şekil 2.8'de kombu çayı ve kültürü gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Kombu çayı ve kültürü

Nguyen vd. (2008), bakteriyel selülozun sıkça çalışılan kaynaklarından biri olan *Gluconacetobacter xylinus*'u kombu çayı özütünden izole etmişlerdir ve statik kültür koşullarında elde edilen selülozun yüksek kristallik ve saflık gibi özelliklere sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca selüloz veriminin ortamdaki bileşenlerin geliştirilmesi ile artırılabilirliğini bildirmişlerdir. Zhu vd. (2014), kombu çayı kültüründen üretilmiş BS'nin in vivo sinir dokuları üzerindeki etkilerini incelemiştir ve BS'nin sinir dokuları üzerinde önemli toksik etkiler göstermediğini bildirmişlerdir. Ayrıca sinir doku mühendisliği uygulamaları için BS'nin umut vadeci bir biyopolimer olduğunu öne sürmüşlerdir.

2.8. Bakteriyel Selüloz Biyosentez Mekanizması

Bakteriyel selüloz biyosentezi, çok sayıda aşamadan meydana gelmektedir. Fazlaca enzim, katalitik kompleksler ve düzenleyici proteinler içermektedir. Bunların birçoğunun yapısı henüz tam olarak analiz edilememiştir. Bu işlem uridin difosfoglikoz (UDPGlc) sentezini de içermektedir. UDPGlc, selüloz sentezinin kılavuz maddesidir (Huang vd., 2013). Daha sonra glikoz polimerize olarak β -1,4-glukan zinciri oluşmaktadır. Olgunlaşmamış bu zincirler bir araya gelerek şerite

durumda asıl amaç istenilene uygun şekil ve özelliklerde maksimum üretime ulaşmaktır (Lin vd., 2013).

2.9.1. Statik kültür

BS, statik ve karıştırmalı kültür ortamlarında sentezlenebilmektedir. Statik kültürde üretim çok basit, düşük teknoloji, maliyeti düşük ve yaygın olarak kullanılmaktadır (Zeng, 2014).

Toplam BS üretim maliyetinde en önemli faktör kültür ortamıdır. Bu nedenle, önemli bir BS üretimindeki en önemli husus düşük maliyetli bir kültürün belirlenmesidir (Jozala vd., 2016). Statik koşullarda BS, hava-sıvı arayüzeyinde kalan kalın bir biyofilm şeklindedir. Şekil 2.10'da statik kültür yöntemi ile üretilmiş BS tabakası gösterilmiştir. Oluşan yapı şerit yapısında olup mikrofibrillerden oluşur ve bakteri hücre yüzeyindeki gözeneklerden doğrusal olarak hücre duvarının dışına doğru büyümektedir. Mikrofibriller, bakterinin genomuna ve sentez koşullarına bağlı olarak değişmekle birlikte kristalimsi ve oldukça uzun bir yapıdadır (Nandgaonkar, 2014).



Şekil 2.10. Statik kültür yöntemi ile üretilmiş BS yapı (Zeng, 2014)

Statik kültür ortam koşullarında yüzey/hacim oranı önemlidir. Araştırmacılar yüzey/hacim oranı için $0,7 \text{ cm}^{-1}$ - $2,2 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki değerleri belirtmişlerdir (Bielecki vd., 2000). Genellikle, fermantasyon süreci 5-14 gün sürmekte, üretilen selüloz miktarı ise kullanılan besiyerine bağlı olmak üzere, $0,1$ - 5 g.l^{-1} aralığında değişmektedir. Selüloz üretim verimi, tüketilen karbon kaynağına bağlı olarak, çoğunlukla $0,1 \text{ g.l}^{-1}$ değerinin altındadır (Mohite vd., 2012).

Statik kültür yönteminde bakteriyel selüloz sentezinin kontrolü oldukça güçtür. Bazı önemli parametrelerin düzenli kontrol edilmesi gerekmektedir. Üretim esnasında keto-glikonik asidin birikmesinden dolayı pH düşmektedir ve uygun pH ortamı kaybolmaktadır (Masaoka vd., 1993). Bu sorunu ortadan kaldırmak için asetik asit kullanılmaktadır. *Acetobacter xylinum* suşu, asetik asidi karbondioksit ve suya parçalamıştır. Sonuçta ortam istenen pH aralığına getirilmiştir (Watanabe vd., 1998; Huang vd., 2013).

2.9.2. Karıştırılmal kültür

Karıştırılmal kültürde yüksek miktarlarda bakteriyel selüloz üretimi gerçekleştirilememektedir. Karıştırılmal kültür koşullarında üretilen bakteriyel selüloz değişik boyutlarda (10 µm- 1mm) ve şekillerde (yuvarlak, elipsoit, şerit şeklinde veya yıldız şeklinde) iyi çözünmüş süspansiyon halinde oluşmaktadır (Johnson ve Neogi, 1989).

Karıştırılmal kültür ortamında hücre sayısı artmasına rağmen statik kültür ortamına kıyasla selüloz verimi düşmektedir. Bu durum başlangıçta karıştırma sebebi ile büyüyen küresel (pellet) toprakların bekleme süresi arttıkça düzensiz topraklar haline gelmesindendir. Topraklar sonuçta selüloz oluşturma yeteneğini kaybeder ve dağınık bir büyüme modeli izler (Nandgaonkar, 2014).

Statik kültür ortamına kıyasla, selüloz oluşumunun hava-sıvı arayüzünde başladığı ve sıvı ortamın merkezine doğru büyümeye devam ettiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, karıştırılmal kültür koşullarında, ortamın çalkalanmasından dolayı selüloz parçaları kültür ortamının iç duvarına bağlanmamaktadır (Czaja vd., 2004).

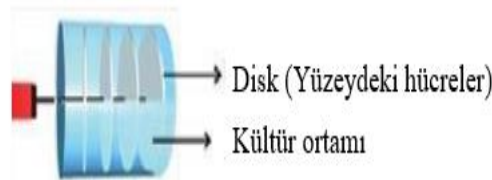
Karıştırılmal kültür koşullarda düşük selüloz veriminin, daha yüksek oksijen içeriği nedeniyle değil, hava-sıvı ara yüzündeki kültür ortamı iç yüzeyine selüloz bağlanmamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Ruka vd., 2012). Karıştırılmal kültür koşullarında üretilen selülozun fibrilleri bükülmüş ve karışık şekildedir. Ayrıca fibriller güçlü değildir (Poyrazoğlu vd., 2008).

Acetobacter genusuna ait strainlerde karıştırılmalı kültür koşullarında yapılan selüloz üretiminde pekçok problemle karşılaşmıştır (Johnson ve Neogi, 1989). Bu problemlerden biri kültür stabilitesinin sağlanmasının güç olmasıdır. Bu stabil olmayan durum, strainlerin selüloz yapma yeteneği zaman geçtikçe azalmaktadır. Strainlerin stabilitesinin bozulmasının nedeni de spontan mutasyonlar ya da selüloz üretmeyen hücrelerin baskın hale geçmesidir. Diğer bir problemde Acetobacter suşlarının glikozu, glikonik aside ve ketoglikonik asite dönüştürmesinden kaynaklı maliyeti yükseltmesidir (Young vd., 1998; Poyrazoğlu, 2007).

Karıştırılmalı kültür ortamında BS üretiminde oksijen transfer kapasitesi ve karıştırma hızı iyi ayarlanmalıdır. BS üretim verimliliğini artırmak için yüksek hacimli karıştırma gücü ve yüksek oksijen kaynağına ihtiyaç vardır. Bu durum yüksek enerji ihtiyacı gerektirmektedir (Kouda vd., 1997).

2.9.3. Dönen disk reaktörü yöntemi

Bu sistem, içinde bir disk düzeniğinin yerleştirildiği inoküle edilmiş ortama sahip bir tepsiden oluşur. Diskler düz ve dairesel olup, ortalanmış bir şafta monte edilmiş ve bir motorla döndürülmektedir. Hücreler büyük olasılıkla ekstrüzyon elyaflarının bir sonucu olarak disklerin yüzeyine yapışır ve disklerin yüzeyinde bir zar oluşturur. BS yapı, dönen bir disk reaktöründe üretilebilmektedir. Normalde 12 saat sonra, neredeyse bütün hücreler besiyerini temiz tutan diskler üzerinde tutulur. Katı diskler üzerinde delikler mevcuttur, çünkü delikler diskler üzerinde daha fazla tutunma sağlar ve bu nedenle daha hızlı ve daha güçlü yapı oluşumu sağlanmaktadır (Zeng, 2014). Bu sistemde sürekli üretim olmaması (kesikli üretim) ve oluşan yapıda meydana gelen kirlenmeler reaktörün dezavantajları arasındadır (Lin vd., 2013).



Şekil 2.11. Dönen disk reaktör şematik gösterimi (Zeng, 2014)

2.9.4. Hava asansörü reaktörü

Düşük güç kaynağı gerektiren hava asansörü reaktörü karıştırmalı kültür yöntemi ile karşılaştırıldığında BS üretimi için başka bir seçenektir. Chao vd. (1997), ilk defa hava asansörü reaktörü ile bakteriyel selüloz üretimi yapılabileceğini bildirmişlerdir. Hava veya oksijen bakımından zengin olan kültür ortamı alttan desteklenmektedir ve sürekli hale getirilmektedir. Bu yöntemde yüksek enerjiye olan gereksinim ve reaktörün kurulumu için geçen süre sistemin dezavantajlarından (Lin vd., 2013).

2.10. Statik Kültür ile Karıştırmalı Kültür Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Statik kültür yöntemi ile ilgili oldukça başarılı çalışmalar yapılmıştır. Karıştırmalı kültür yönteminde ise bazı problemler meydana gelmektedir. Çizelge 2.6'da statik kültür ile karıştırmalı kültür ortamlarının karşılaştırılması gösterilmiştir. Suşların stabil olmaması, bakteriyel selülozun non-Newtonian özellik göstermesi ve özel olarak oksijen tedarik edilmesi karıştırmalı kültür ortamında ortaya çıkan sorunlardır (Czaja vd., 2004; Kaya, 2007).

Çizelge 2.6. Statik kültür ile karıştırmalı kültür ortam özelliklerinin karşılaştırılması
(Watanabe vd., 1998)

	Statik Kültür	Karıştırmalı Kültür
Young Modülü	Yüksek	Düşük
Su Tutma Kapasitesi	45 gBS ⁻¹	170 gBS ⁻¹
Süspansiyon Viskozitesi	0,04 Pa.s	0,52 Pa.s
Polimerizasyon Derecesi (DP)	14400	10900
Kristallenme İndeksi	71%	63%
Kristalitesi	80%	61%
Gerilme Direnci	33,3 N/m ²	28,3 N/m ²

2.11. Bakteriyel Selüloz Üretimini Etkileyen Parametreler

1954'ten beri GX, glukoz, fruktoz ve sükroz gibi farklı karbon kaynaklarından selüloz üretebilmektedir. Çeşitli ortamlar formüle edilmiş ve selüloz üretimini optimize etmek için farklı GX suşları çalışılmıştır. Bir bakterinin selülozu verimli bir şekilde üretebilmesi için, kaynak olan glikozun çeşitli karbon kaynaklarından sentezlenmesi ve daha sonra selüloza polimerize edilmesi gerekir (Nishi vd.,1990; Castro vd., 2012). BS'nin biyosentezinin çevresel koşullar ve büyüme ortamı gibi çeşitli faktörlerden etkilenebileceği bilinmektedir (Zeng, 2014). Yapılan araştırmalarda bakteriyel selüloz üretimimine etki eden en önemli faktörlerin karbon ve azot kaynakları olduğu bulunmuştur (Matsuoka vd., 1996; Battad vd., 2004).

2.11.1. Karbon kaynakları

Bakteriyel selülozun acetobacter suşları ile elde edilmesinde ana karbon kaynağı glikozdur. BS biyosentezi için farklı karbon kaynakları; 5 ve 6 karbonlu monosakkaritler, oligosakkaritler, nişasta, alkol ve organik asitler bildirilmiştir (El Saied vd. 2004).

En yaygın kullanılan karbon kaynağı glikozdur, çünkü A. xylinum'dan en yüksek miktarda hücre dışı selülozu glikoz verir. Galaktoz, ksiloz, sakaroz, melas, fruktoz, mannitol, gliserol, hindistan cevizi suyu, meyve suyu ve pancar pekmezi gibi glikozun yanı sıra alternatif karbon kaynakları olarak bir çok kaynak araştırılmıştır (Keshk vd.,2006; Prashant vd., 2008; Kamarudin vd, 2013).

Çizelge 2.7'de bazı monosakkarit, disakkarit ve polisakkaritler, alkoller, organik asitler ve diğer bileşiklerin bakteriyel selüloz verimliği gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmada en fazla BS üretimi karbon kaynağı olarak glikoz kullanılması ile elde edilmiştir. Yine benzer bir çalışmada, D-ksiloz/D-ksilüloz, D-glikoz ve D-ksiloz içeren besiyerlerindeki BS üretimi incelenmiştir. Kullanılan bakteriler D-ksiloz ile yeterli düzeyde BS üretimi gerçekleştirememiştir ve buna karşılık D-glikoz içeren besiyerinde yüksek oranda BS üretilmiştir (İshihara vd., 2002). BS üretim verimliliğini araştıran başka bir çalışmada en iyi üretiminin sırasıyla fruktoz, maltoz,

sakkaroz ve glikoz içeren besiyerinde gerçekleştiği bulunmuştur (Çakmakçı vd., 2008).

Çizelge 2.7. Çeşitli karbon kaynaklarının selüloz verimi üzerine etkileri (Masaoka vd., 1993)

KARBON KAYNAĞI	SELÜLOZ VERİMİ (%)
Monosakkarit	D-fruktoz 92
	D-galaktoz 15
	D-glikoz 100
	D-mannoz 3
	D-ksiloz 11
	L-arabinoz 14
	L-sorboz 11
Disakkarit	Laktoz 16
	Maltoz 7
	Sükroz 33
Polisakkarit	Nişasta 18
Alkol	Etanol 4
	Etilen glikol 1
	Dietilen glikol 1
	Propilen glikol 8
	Gliserol 93
	Myo-inositol 17
Organic asit	Sitrik asit 20
	L-malik asit 15
	Süksinik asit 12
Diğer	D-glikoz lakton 62

Farklı karbon kaynaklarının BS üretimi üzerine etkilerinin incelendiği diğer bir çalışmada, en fazla ürün verimliliği sırası ile gliserol, glikoz, fruktoz, inositol ve sakkarozdur. Gliserolün yüksek üretim etkenliğinin tüketim hızıyla ilgili olabileceği ileri sürülmüştür (Keshk ve Sameshima, 2005; Esa vd., 2014). Tüm bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, karbonhidrat çeşidinin selüloz üretiminde tek etken olmadığını ve besiyerindeki karbon kaynaklarının tüketim hızının da önemli başka bir etken olduğunu göstermiştir. Aynı çalışmada karbon kaynaklarının selüloz miktarının yanı sıra selülozun özellikleri üzerine de etkili olduğu bulunmuştur (Keshk ve Sameshima, 2005).

2.11.2. Azot kaynakları

Bakteriyel selüloz üreten bakteriler çeşitli azot kaynaklarına gereksinim duymaktadır. Bunun için maya ekstraktı, mısır ıslatma suyu ve kazein hidrolizatları gibi bazı azot kaynakları kullanılmaktadır (Keshk ve Sameshima, 2005).

En çok tercih edilen azot kaynağı, Hestrin ve Schramm (1954)'ın geliştirdiği besi ortamının (HS) temel bileşikleri olan maya özütü ve peptondur (Hestrin ve Schramm, 1954). Maya özütü, baktepepton gibi yüksek fiyatlı besi ortamı bileşiklerinin maliyetleri artırması sebebi ile bu bileşiklerin yerine; beyaz kabak suyu, şeker pancarı atığı veya peynir altı suyu gibi ucuz endüstri atıkları da kullanılabilir (Krystynowicz vd., 2000; Poyrazoğlu, 2007).

2.11.3. Sıcaklık, pH ve oksijen etkisi

Sıcaklık ve pH değeri, en verimli hücre büyümesini ve selülozik üretimi yaratmada önemli faktörlere sahiptir. En iyi büyüme için optimum pH değeri literatürde değişmektedir. Mohammad vd. (2014), *A. xylinum*'un 3,5-7,5 arasında bir pH'da büyüebileceğini ve 4,3'ün en verimli pH değeri olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Fontana vd. (1991), bu değeri daraltmakta ve optimum aralığın pH 4-6 olduğunu söylemektedir. Galas vd.(1999), pH 4-7 aralığının en uygun değer olduğunu göstermiştir. Qiu ve Netravali (2014), fermentasyon aralıklarının pH 4-6'da en uygun olduğunu belirtmektedir.

Yapılan araştırmalarda farklı pH aralıklarında, BS'nin adsorblama özellikleri karşılaştırılmış ve üretimde kullanılan HS ortamı için pH 4,8-6,0 aralığında su tutma kapasitesinin en yüksek olduğu görülmüştür. Polimer üretiminde pH kadar sıcaklık önemlidir. Yapılan çalışmalar sonucunda selülozun DP'nin ve su tutma kapasitesinin en iyi olduğu sıcaklık 28-30 °C olarak bulunmuştur (Poyrazoğlu, 2007).

25 °C ve 35 °C'de üretilen polimer ile 30 °C'deki polimerin DP ve su tutma kapasitesi karşılaştırıldığında; DP'nin en düşük değerinin yaklaşık 10,000; su tutma kapasitesinin de % 164 olduğu bulunmuştur (Poyrazoğlu, 2007).

Statik ve karıştırılmalı kültür koşullarında sıcaklık değişimleri bakteriyel selüloz üretimini farklı şekilde etkilemiştir. Karıştırılmalı derin kültürde 30 °C'deki bakteriyel selüloz üretimi 37 °C'ye göre daha fazla olmuştur. Statik kültürde her iki sıcaklık da bakteriyel selüloz üretimi üzerinde herhangi bir değişiklik meydana getirmemiştir (Jonas ve Farah, 1998).

Birçok çalışmada, 25-30 °C'nin selülozik üretim için optimum sıcaklık olduğunu belirtilmiştir. Evde büyüyen işlemler için, oda sıcaklığı en iyi ortamdır. AL Kalifawi ve Hassan (2013), BS hücrelerinin, nitrojen kaynağı olarak kombu çayı ve siyah çay özütü kullanarak 20-50 °C aralığında büyüebildiğini bildirmiştir. Bununla birlikte, 60-80 °C, kaplarının yüzeyinde bir zar oluşumu yaratmadığını belirtmiştir. Bakteriyel selüloz 25-30 °C dışındaki çeşitli sıcaklıklarda yetiştirilebilsede, dış sıcaklık aralıkları selüloz oluşumunda etkili olmayacaktır (Quijano, 2017).

BS üretim hızının oksijen aktarım hızı ile ilişkili olduğu ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Beslemeli durgun kültürde en yüksek selüloz verimliliği %10 oksijen varlığında sağlanmıştır. Çözünmüş oksijen miktarı ve pH değerinin kontrol altında tutulması bakteriyel selüloz üretim verimi ve miktarı üzerinde etkilidir (Kouda vd.,1997; Hwang vd., 1999).

Bakteriyel selülozun üretilebileceği optimum sıcaklık, oksijen, pH gibi koşulların düzenlenmesine ek olarak ortamda asetik asit bulunmasının da üretime etkili olduğu belirlenmiştir (Toda vd., 1997). Ortama asetik asit eklenmesinin bazı suşların BS üretimlerini ve selülozun su tutma kapasitesini artırdığı bildirilmiştir. Bunların yanı sıra besiyerinde CO₂ miktarının artması ile hücre gelişiminin ve BS üretiminin yavaşladığı (Kouda vd. 1997), ayrıca basıncın artışı ile birlikte BS üretiminin azaldığı tespit edilmiştir (Kato vd., 2007).

2.12. Bakteriyel Selüloz Üretimi Sonrası Yapılması Gereken İşlemler

2.12.1. Bakteriyel selüloz temizleme işlemi

BS yapısının hava/sıvı arayüzünde toplanması sebebi ile, selülozun yanı sıra çok miktarda su, bakteri ve ortamda bulunan diğer bileşenleri içermektedir. Bu nedenle,

içeriğindeki yabancı maddeler temizlenmelidir. İlk olarak, su ile kaynatılmalı ve daha sonra alkali ortamlarda işlem görmelidir. BS yapı, etanol içine batırılmalıdır. Daha sonra deiyonize (DI) suya aktarılmalı ve sürekli karıştırılarak 40 dakika kaynatılmalıdır. Bu temizlemeden sonra, rengin kahverengiden birkaç ton açılarak açık kahveye dönmesi, ortamdaki bakterilerin çoğunun uzaklaştığını göstermektedir (Zeng, 2014).

Alkali muamele, BS yapının bir NaOH(Sodyum Hidroksit) çözeltisine batırılmasından ibarettir. Literatürde birkaç konsantrasyon (% 0,1 ila % 5) NaOH çözeltisi hazırlanmıştır, ancak en uygun koşulların NaOH % 0,5 ve 90 ° C civarında olduğu gözlenmiştir (Liebnel vd., 2010; Kim vd., 2010).

Fermantasyon sonucu elde edilen yapı kaynatılıp ve bu işlemi takiben daha sonra her seferinde 20 dakika boyunca 90 °C'de 0,1 M sulu NaOH içerisinde birkaç kez işlenmesi sonucunda BS'lerin şeffaflıklarının arttığı gözlenmiştir. Son olarak, BS zarları DI su ile nötralize edilmiştir. Düzenli olarak çalkalanma ve pH nötr bir değere ulaşana kadar her 6 saatte bir su yenilenmesi sonrası BS yüzeyler kurutulabilmektedir (Zeng, 2014).

2.12.2. Bakteriyel selüloz kurutma işlemi

Bakteriyel selüloz yapılar üç farklı şekilde kurutulabilmektedir. Seçilen kurutma yöntemleri BS içerisindeki çözücü içeriğini (su veya etanol) buharlaştırmak için farklı fiziksel işlemler sağlar.

2.12.2.1. Oda sıcaklığında kurutma yöntemi

Oda sıcaklığı kurutma yöntemi doğal havayla kurutma yöntemidir. En ucuz ve en kolay kurutma yöntemidir. İşlem yavaş olmakla birlikte hava şartlarına bağlıdır. BS tabakaların tamamen kuruması bir kaç gün sürmektedir (Qijano, 2017).

2.12.2.2. Dondurarak kurutma yöntemi

İkinci yöntem, liyofilizasyon veya kriyodisikasyon olarak da bilinen dondurarak kurutma yöntemidir. Bozulabilir bir malzemeyi korumak veya malzemeyi taşıma için daha uygun hale getirmek için tipik olarak kullanılan bir dehidrasyon işlemidir. BS tabakalar dondurulmuş ve malzemedeki donmuş suyun doğrudan katı fazdan gaz fazına geçmesine izin vermek için basıncın düşürülmesi gerekmektedir. Bu kurutma işleminde iki ana adım vardır: 1.adım dondurma, 2.adım kurutma. Bu yöntem, jel iskeletinin küçülmesine neden olan gözeneklerde büyük ölçüde kılcal gerilimi önler. 1.adımda ıslak BS'ler sıvı azot (sıvı fazdan katı faza) ile dondurulmuştur. 2. aşamada katı su (buz) BS'lerden süblime edilmiştir (Zeng, 2014).

2.12.2.3. Süperkritik kurutma yöntemi

Süperkritik kurutma, bir madde içindeki sıvının, yüzey gerilimi ve kılcal gerilme yokluğunda gaza dönüştürüldüğü ve jelleri aerojellere dönüştürmek için en yaygın olarak kullanılan kurutma işlemidir. Malzemenin hassas nano yapılı gözenek ağını tahrip etmeden katı malzemeyi malzemedan bir gazla izole etmek için süper kritik kurutma gerçekleştirilir (Zeng, 2014).

2.13. Bakteriyel Selüloz Genel Kullanım Alanları

BS, saf ve yüksek mekanik mukavemetli yapısı, yüksek kristalinitesi, gözenekli lifli yapısı ve sıvı emme özellikleri gibi etkileyici fizikokimyasal özellikleri sebebi ile gelişmiş bir biyomateryal olarak ortaya çıkmıştır (Ul Islam, 2015).

BS günümüz endüstrisinde birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Tekstil sektöründe geçici suni deri, yanık ve ülser tedavisinde yara örtüsü olarak ve diğer tekstil ürünlerinde adsorban olarak kullanılmaktadır. Kozmetik sanayinde kremlerin, toniklerin, tırnak cilalarının emilimini kolaylaştırmada kullanılmaktadır. Gıda sanayinde yenilebilir selüloz ve nata de coco tatlı yapımında kullanılmaktadır. Medikal sektörde yapay kıkırdak, yapay menisküs, dental maddesi, suni implantlarda kullanılmaktadır. Orman endüstrisinde çok tabakalı kontraplak, dayanıklı kapların yapımında kullanılır (Shibazaki, 1997; Jonas ve Farah, 1998; Poyrazoğlu, 2008; Lin

vd., 2013). Tekstil alanında bakteriyel selüloz kullanarak bir moda tasarımcısının yaptığı değişik tasarımlar bulunmaktadır (Nam ve Lee, 2016).

Yamanaka ve Watanabe (1994), ilk gıda dışı yüksek değerli uygulama olan akustik transdüserler alanındaki BS ve kompozitlerinin potansiyel ve olası uygulamalarını bildirmiştir. Young modülü olarak ölçülen BS'nin olağanüstü şekil tutma kabiliyeti, malzemenin yüksek iç kaybıyla birleştiğinde hoparlör diyaframları için ideal olduğu belirtilmiştir. Bu diyaframlar iki farklı özellik göstermiştir. Bunlar;

- yüksek ses hızı
- düşük dinamik kayıp

Bu özellikler sebebi ile Sony Corp. tarafından BS hoparlör ve kulaklık olarak pazarlanmıştır (Iguchi ve vd. 2000). Vandamme vd. (1998), BS'nin ses dalgalarını hızlı bir şekilde iletebilmesi sebebi ile akustik membranlar olarak kullanılabileceğini bildirmiştir.

BS kristalimsi nano ve mikro fibril yapısı nedeniyle; mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Bu nedenle, küçük miktarlarda cam, karbon, fenol reçinesi ve silikondan yapılmış kağıt ve elyaflar için bir takviye maddesi olarak çok uygundur (Fragouli vd., 2012).

Stanislaw vd. (2012), BS'nin yüksek su tutma kapasitesi, toksik etkisi ve alerjik yan etkisi olmaması sebebi ile kozmetik sektöründe kullanılabilecek mükemmel bir biyomateryal olduğunu bildirmiştir.

Geçtiğimiz yıllarda, BS'nin ticari uygulamalarına olan ilgi artmıştır. Örnekler arasında proteinler, hücre kültürleri ve mikroorganizmalar, geçici cilt ve doku değiştirme ürünleri (Biofill, Bioprocess ve Gengiflex), filtrasyon membranları, kâğıt katkı maddeleri ve diyet yiyecekleri gibi ticarileştirilmiş ürünleri mevcuttur (Helenius vd., 2006; Lin vd., 2013).

Bakteriyel selüloz işlenmiş gıdalarda kalorisiz katkı maddesi olarak kullanılabilir. Hiçbir yan etkisinin olmaması kullanım oranını artırmaktadır (Chau vd., 2008). Bakteriyel selüloz gıda endüstrisinde ticari olarak ilk kez Filipinlerde “Nata de coco”

olarak kullanılmıştır. Bu ürünün bağırsak kanserine ve kalp damar hastalıklarına karşı koruyucu etkisinin olduğuna ve idrardaki ani glikoz artışını önlediğine inanılmaktadır (Sutherland, 1998).

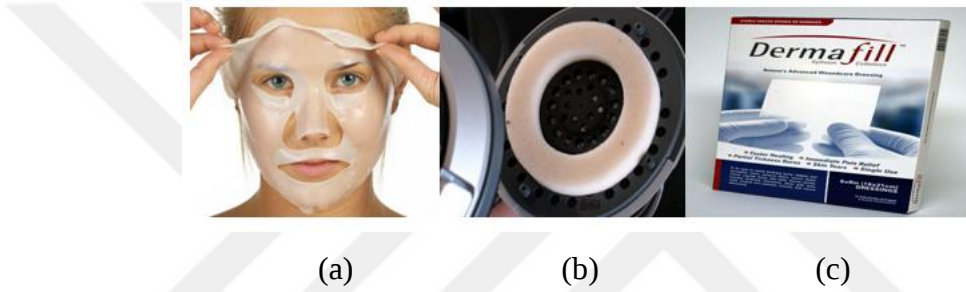
Hayvansal orijinli ürünlerdeki problemlerden dolayı kollagen kaplayıcılar yerine BS içerikli kaplayıcılar günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır ve piyasada birçok ticari ürün bulunmaktadır. Bakteriyel selüloz, kaliteli kağıt üretiminde kullanmak için çok iyi mekanik özelliklere sahiptir. Bakteriyel selüloz içerikli kağıtlar, katkı maddelerini iyi tutabilmelerinin yanısıra aynı zamanda yüksek yanma ve yırtılma direnci, elastik, geçirgen ve yüksek su emme özelliğine de sahiptirler (Iguchi vd., 2000). Johnson ve Neogi (1989), karıştırmalı kültür ortamında üretilmiş BS'nin yüksek kaliteli kağıt üretimi için uygun olduğunu bildirmiştir. Ayrıca cam elyafı, kalsiyum karbonat ve bakır tozu içeren kompozitler geliştirmişlerdir. Yamanaka ve Watanabe (1994), yaptıkları çalışmada parçalanmış BS'nin kağıt hamuruna ilave edilmesi ile daha yüksek gerilme direnci olan kağıt üretilbildiğini bildirmektedir.

Bakteriyel selüloz parçaları kağıt hamurunu güçlendirmek için de etkili bulunmuştur ve katlanma dayanımını arttırmıştır (Iguchi vd., 2000). Kağıt hamuruna % 15 BS ilavesiyle oluşturulan kompozit kağıt dört kat daha yüksek katlama dayanımı göstermiştir. Ayrıca, BS ilavesiyle young modülünün 2,0 GPa'dan 3,5 GPa'a yükseldiği bildirilmiştir. Cheng vd. (2011)'nin yaptığı çalışmada karboksimetil selüloz (CMC)-BS kompozit kağıdının mekanik gücü değerlendirilmiştir ve normal kağıda göre young modülü ve gerilme mukavemeti değerinin yüksek bulunduğu bildirilmiştir.

Filtrasyon materyali olarak BS'nin spesifik uygulaması Takai (1994), tarafından incelenmiştir. Polietilen glikol (PEG), CMC, karboksimetil gibi kitin ve diğer selüloz bazlı polimerler, başlangıç ortamında selüloza basit bir şekilde ilave edilmiştir. Bu polimerlerin bazıları çok yüksek çözünmüş madde reddi göstermişlerdir. Bu sebeple ultrafiltrasyonda ve pervoporasyonda kullanılabileceğini göstermiştir. Shibazaki vd. (1994) yaptığı çalışmada BS özellikleri çerçevesinde filtrasyon amaçlı diyaliz membranını değerlendirmiştir. Rejenere selülozdan üretilmiş ticari bir diyaliz membranı ile BS film tabakası karşılaştırılmıştır. BS film daha yüksek geçirgenlik oranı ve daha büyük molekül ağırlık ayırma sınırına sahip olduğu görülmüştür.

Ayrıca BS rejenere selülozdan farklı olarak daha yüksek mekanik dayanım sağlamıştır. BS'nin karıştırılmalı kültür ortamında, enzim immobilizasyonunda kullanılabilecek yapıda üretildiği belirtilmiştir (Wu ve Lia 2008).

BS kullanılarak üretilen ticari ürünlere bir kaç örnek verilecek olursa Şekil 2.12. (a) kozmetik alanda Belmondo Beauty markasına ait yüz maskesi (Belmondo beauty, 2019), (b) iletişim sektöründe Sony firmasının geliştirmiş olduğu kulaklık (Biotechlink, 2019), (c) medikal sektörde Dermafill firmasının yara örtüsü olarak üretmiş olduğu ürün (Dermafill, 2019), gösterilebilecek örneklerden sadece bir kısmıdır.



Şekil 2.12. (a) Belmondo Beauty yüz maskesi (Belmondo beauty,2019), (b) Sony kulaklık (Biotechlink, 2019), (c) Dermafill yara örtüsü (Dermafill, 2019)

Günümüzde ticari olarak piyasadaki mevcut biyopolimerler içinde bakteriyel selüloz en önemli olanlardan biridir. Selüloz doğal bir polimer olup dünyada çok yaygın kullanılmaktadır. Bu yüzden kağıt ve pamuk sektöründe önemli bir yere sahiptir. Araştırmacılar bitkileri kullanmaksızın selüloz üretmenin yollarını ararken *A.xylinum* adlı bir bakteri türününün bitkisel selüloza göre daha iyi mekanik özelliklere sahip bir selüloz üretebildiğini keşfetmişlerdir. Çizelge 2.8'de bakteriyel selülozun genel kullanım alanları gösterilmiştir. Bu sebeplerden dolayı önümüzdeki günlerde BS'nin tekstil ve tıbbi sektörlerde ham madde olarak kullanımı yüksek oranda artacaktır.

Çizelge 2.8. Bakteriyel selüloz genel kullanım alanları (Lin vd., 2013)

Kullanım Alanı	Tanımı
Akustik hoparlör diyaframı	BS membranı akustik filmleri işlemek için uygulanabilir
Kompozit Kağıt	BS kağıt üretiminde malzeme mukavemetini artırmak için kullanılabilir
Paketleme	Paketlemede kirlenmeyi veya hasarı önlemek için kullanılır
Filtrasyon Malzemesi	Ultra ağsı yapısı sayesinde yabancı maddeleri filtrede kullanılır
Diyaliz membranı	Solüsyonlu veya ozmozlu difüzyon için kullanılabilir.
Yara Örtüsü	Yüksek su tutma, iyi biyoyumluluk ve mükemmel mekanik özellikleri sebebiyle BS yara pansumanında uygulanabilir.
İlaç Taşıyıcı	BS'nin gözenekli yapısı iyi su tutma özelliği göstermesini sağlar Bu özellikleri ile potansiyel bir ilaç taşıyıcısı olabilir.
Yapay Kan Damarı	Bazı peptidlerin kaplanması veya kimyasal işlem yoluyla, doku mühendisliğinde yapay kan damarı oluşumunda kullanılabilir.
Kemik Yenilenmesi	BS, modifikasyon kullanan iyi bir iskeledir. BS'nin gözenekli yapısı hücre çoğalmasını ve hücre yapışmasını teşvik edebilir
Nazal septum perforasyonu	BS'nin iyi biyoyumluluk göstermesi sebebi ile özellikle canlı organizmalarda yumuşak dokulara örneğin nazal septum alternatif olarak kullanılabilir
Hücre bağlamada iskele görevi	Kimyasal modifikasyon veya element katılımında iyi hücre adhezyonu sağlar
Gıda maddesi	Düşük kalorili gıda maddesi olarak kullanılabilir
Enzim İmmobilizasyonu	BS yüzeyinde oluşan kimyasal modifikasyon sayesinde iskele enzim immobilizasyonu sağlar
Elektronik Kağıt	BS nanokarbon, nanoaltın gibi nanopartiküller ile birleştirildiğinde iyi elektrik iletkenliği gösterir
Fotokataliz Uygulamalar	Modifiye edilmiş BS yapıları fotokatalizör olarak kullanılmaktadır.

2.14. Bakteriyel Selülozun Tıbbi Kullanım Alanları

Biyopolimer araştırmalarında son yıllardaki gelişmeler, özellikle bakteriyel selülozda dahil olmak üzere mikroorganizmalar tarafından üretilen biyopolimerlerin çeşitli uygulamalar için önemini ve potansiyelini göstermiştir. Çok yüksek su tutma, yüksek ıslak mukavemet, yüksek elastikiyet, saflık gibi benzersiz özellikleri ile BS biyomedikal alanda biyomateryal olarak kullanılabilmektedir (Klemm vd., 2011).

Doku rejenerasyonu, ilaç dağıtım sistemleri, vasküler greftler, doku mühendisliği için in vitro ve in vivo yapı iskeleleri, sinir cerrahisi için kaplamalar, dura mater protezi (beyin ve omuriliği saran zarların en dışta olanıdır) ve arteriyel stent kaplamalar dahil çeşitli uygulamalar için birçok BS tipi geliştirilmiştir (Czaja vd., 2007; de Azeredo, 2013; Almeida vd., 2014; Barud vd., 2015; Martínez Sanz vd., 2016).

Klemm vd. (2001), yaptığı çalışmada yüksek kalıplanabilirlikten sayesinde boru şeklinde BS üretimi yapılmış olup yapay damar olarak tanımlanmıştır.

BS'nin gözenekli yapıda olması belirli ilaçlarla birlikte yüklenerek, ilaç dağıtım aracı olarak kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır (Amin vd., 2012). Ayrıca, yapılan çalışmalarda BS'nin doku mühendisliğinde in vivo uygulamalar için de kullanılabilir olduğu belirtilmiştir (Peterson ve Gatenholm, 2011; Shi vd., 2012). Rajwade vd., (2015), yapmış oldukları çalışmada BS'den üretilen ve biyomedikal amaç ile kullanılan ticari ürünler Çizelge 2.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.9. BS'den üretilen ve biyomedikal amaç ile kullanılan ticari ürünler
(Rajwade, 2015; Pitcheth, 2017; Dermafill, 2019)

ÜRÜN	Uygulama	Tedavi	Etkileri
Biofill	Geçici cilt yerine	Yanıklar, Ülserler	Ağrı kesici, düşük enfeksiyon, vb.
Gengiflex	Dental implantlar, aşılama malzemesi	Periodontal dokuların geri kazanımı	Azalan inflamatuvar yanıt ve daha az cerrahi adım gerekli.
Prima Cell	Ülser tedavisi için yara örtüsü	Ülserler	Düşük enfeksiyon, hızlı iyileşme
Bioprocess	Yara örtüsü	Yanıklar, Ülserler	Hızlı iyileşme, düşük enfeksiyon
Dermafill	Yara örtüsü	Yanıklar, diyabetik yaralar doku yırtılmaları	Ağrı kesici, düşük enfeksiyon, hemostatik özellik
BASYC	Yapay kan damarı	Hasar görmüş damar değişimi	Toksisite yok

Rajwade vd., (2015) yılında yapmış oldukları çalışmada biyomedikal amaç ile kullanılan BS esaslı patentler Çizelge 2.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.10. Bakteriyel selüloz esaslı patentler (Rajwade 2015)

Uygulama	Ürün
Yapay Dura Malzemesi	Bakteriyel Selüloz Poli (vinil alkol) -bakteriyel selüloz
Yapay Kan Damarı	Karboksimetil selüloz-bakteriyel selüloz kompozit membran
Yapay Cilt Dokusu	Bakteriyel selüloz film
Cilt Dokusu Onarımı	Bakteriyel selüloz film Bakteriyel selüloz kollajen kompozit Gümüş Bakteriyel selüloz kompozit membran Fotokatalitik parçacıklar yüklü bakteri selüloz membranları Bakteriyel Selüloz
Yara Örtü Malzemesi	Bakteriyel selüloz-hyaluronik asit-nano gümüş kompozitler Sıvı yüklü bakteriyel selüloz
Kemik ve bağ dokusu onarımı	Bakteriyel selülozun emilebilir kompozitleri, kollajen ve hidroksiapatit
Kemik dokusu onarımı	Hidroksiapatit ile modifiye edilmiş bakteri selüloz
İskele Matrisi	Bakteriyel selüloz membran Rejenere selüloz ve okside selüloz membranlar
Antikoagülan membranı	Bakteriyel selüloz-heparin kompoziti
In vivo implantlar	Solvent kurutulmuş bakteriyel selüloz
Yumuşak doku değişimi, tıbbi cihazlar	Poli (vinil alkol) -bakteriyel selüloz nanokompozitler
Kişisel temizlik uygulamaları	Bakteriyel selüloz ağı, katyonik polimer
Hava filtreleme yüz maskesi	Bakteriyel selüloz-nano gümüş
Antibakteriyel maske	Bakteriyel selüloz ve gümüş bileşikler
Antivirüs maskesi	PVA ve bakteriyel selüloz
Kan temizliği	Karboksimetil bakteriyel selüloz kompozit
Buz kesesi	Bakteriyel selüloz hidrojel

2.14.1. Yara tedavisi

Sağlık ve ilaç pazarında yüzyıllardır yanıkların ve kronik yaraların tedavisi için yara pansumanları kullanılmaktadır. Doğal veya sentetik bandajlar, gazlı bezler, dokuma ve dokuma olmayan süngerler gibi geleneksel pansumanların temel işlevi bakteriyel enfeksiyonu önlemek ve dışarı sızan sıvıyı emmek için yarayı kuru bir ortamda tutmaktır (Boateng vd., 2008).

Ancak son yıllarda sıcak bir nemli yara ortamının, yara iyileşme sürecini olumlu yönde etkilediği kanıtlanmıştır. Yarayı iyileştirmeyi amaçlayan modern pansuman malzemeleri geliştirilmiştir. Yara tipine, yara iyileşme evresine ve hasta koşullarına bağlı olarak, sargılar istenen özelliklere sahip olmalıdır. İlk olarak kullanılacak ürün mekanik mukavemet, elastikiyet ve uygunluk gibi fiziksel özellikler bakımından deriye benzemek zorundadır. Yara sargısı malzemesi yaranın hidrasyonunu muhafaza edebilmeli ve aynı zamanda bu nem ortamında bakteri enfeksiyonunu önlemelidir. Ayrıca yara sargısı ve diğer deri uygulamalarında kullanılacak ürünlerde gaz alışverişi ve kütle transferi sağlamak için belirli gözeneklilik olması gereklidir. Bunun yanı sıra kullanılacak malzeme sıkı bir fiziksel bariyer oluşturabilmelidir ve yeterli ısı yalıtımını sağlayabilmelidir. Şekil 2.13'te BS esaslı yara örtüsü gösterilmiştir. Kullanılabilir bir yara örtüsü materyali biyolojik olarak emilebilir ve alerjik reaksiyonlara neden olmadan biyolojik olarak uyumlu olmalıdır son olarak malzemenin uygulaması kolay ve ağrısız olmalıdır (Wang vd., 2011; Lin vd., 2013; Sulaeva vd., 2015).



Şekil 2.13. BS esaslı yara örtüsü (Sabbagh vd., 2019)

BS, benzersiz fiziksel ve kimyasal özelliği nedeniyle yaygın olarak yara pansuman malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bir pansuman materyali için gerekli tüm

gereklilikleri yerine getirmektedir. Solway vd. (2011), yaptığı çalışmada BS'nin diyabetik ülserlere uygulanmasının yara iyileşme oranını arttırdığını göstermiştir. Helenius vd. (2006), BS'nin in vivo biyouyumluluk derecesini değerlendirmiş ve BS'ü farelere 1, 4 ve 12 hafta boyunca implante etmişlerdir. İmplant edilen BS kronik doku hasarı, iltihap gibi durumlar ortaya çıkarmamıştır. Ek olarak, BS bu çalışmada konak dokuya çok iyi şekilde entegre edilmiş ve 12 hafta sonra fibroblastlar BS yapısı ile tamamen bütünleşmiştir. Bu çalışma sonucunda BS'nin in vivo uygulamalarda biyouyumlu olduğu kabul edilmiştir.

BS'nin içerisinde bulunan ince nano lifler, birim başına geniş bir yüzey alanına sahip olmakla birlikte 20 ila 100 nm çapa sahiptir. BS'nin hidrofilik yapısı ile birlikte bu özellik, yüksek su emme kapasitesi, daha iyi yapışma ve artan nem içeriği ile sonuçlanır ve bu özellikler sayesinde yara örtü malzemesi olarak kullanılabilir (Fu vd., 2013; Numata vd., 2015).

Islak halde yüksek mekanik dayanım, sıvılar ve gazlar için yeterli geçirgenlik ve cildi tahriş etme oranının düşük olması bakteriyel selülozun geçici yaraların örtülmesinde suni deri olarak kullanılmasına olanak sağlar (Keshk, 2014).

BS'nin çözünmezliği, hızlı biyobozunurluğu, gerilme mukavemeti, elastikiyeti, dayanıklılığı ve toksik olmayan ve alerjenik olmayan özellikleri de dahil olmak üzere, molekülün farklı fiziksel ve mekanik özellikleri ile birleştirildiğinde, BS'i, katma değeri yüksek birkaç ürünün üretimi için ideal kılmaktadır. Çizelge 2.11'de yara sargı malzemeleri için genel gereksinimlere göre bakteri selülozun karakteristiğine genel bakış gösterilmektedir. Yanık ve diğer dermal yaralanmaların tedavisinde yapay deri olarak kullanılabilir (Thompson ve Hamilton, 2001; Rehim vd., 2014; Cakar vd., 2014).

Çizelge 2.11. Yara sargı malzemeleri için genel gereksinimlere göre bakteriyel selülozun karakteristiğine genel bakış (Sulaeve vd., 2015)

Nemli Yara Ortamı	✓
Sıvı Fazlalığının Emilmesi	Ayarlanabilir
Yeterli Gaz Değişimi	✓
Isı Yalıtımı	✓
Enfeksiyon Önleme	✓
Antibakteriyel Aktivite	Ayarlanabilir
Biyouyumluluk	✓
Zehirsiz	✓
Mekanik Stabilite	✓
Cilde Az Yapışma	Ayarlanabilir
Maliyet Etkisi	✓

Statik kültürde üretilen BS uygulandığı bölgede nemli bir yüzey sağlaması steril edilebilir olması ve dokuya uyumlu olması sebebi ile cilt doku onarımı için ideal bir materyaldir (Bielecki vd., 2000).

Yapılan çalışmalar BS'nin geleneksel yara örtülerinden daha üstün özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. BS sağladığı başlıca özellikler hızlı iyileşme, yarada oluşan enfeksiyon oranını azaltma, yarada denetim kolaylığı (yarı saydam olması sebebi ile), yara izi azaltma ve sıvı sızdırmamadır. Hemen hemen her kontur (ortam) için nemlendirici uygulamalarda oldukça iyi ve ideal suyu tutabildiğinden yaranın davranışına göre sıvıyı emerek veya salarak dengeyi sağlayabilmektedir (Petersen ve Gatenholm 2011).

Yapılan çalışmalarda bakteriyel selüloz cilt dokusu onarım ve yara sargısı malzemesi olarak başarı ile uygulanmıştır. Fu vd. (2013), bakteriyel selülozun yara enfeksiyonunu önlemede antimikrobiyal aktivitesi bulunmadığı için gümüş nano parçacıkları ve kitosan ile bakteriyel selülozu kombine etmişlerdir ve böylece antimikrobiyal özellik kazandırmışlardır.

Bakteriyel selüloz Rensselaer Polytechnic Institute (USA)'de yara kapatıcı olarak ülser tedavisinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Asetik asit bakterisinden (acetover xylinum) elde edilen bakteriyel selülozun yaralar üzerindeki iyileştirici

etkisini fareler üzerindeki deneylerle saptanmıştır (Bielecki vd., 2000; Krystynowicz vd., 2000).

Bioprocess, XCell ve Biofill yara tedavisinde deri uygulaması için ticari olarak temin edilebilir ürünlerdir (Petersen ve Gatenholm 2011). Biofill Industries isimli şirket, yara bakımı pazarında bakteriyel selülozu pazarlayan Biofill adlı bir ürün geliştirmiştir. *Acetobacter xylinus* tarafından sentezlenen hücre dışı selülozun jelatinli membranı, yapay cilde benzeyen bir yara sargısına dönüştürülmüştür. Örneğin, ikinci veya üçüncü derece yanık durumunda, Biofill insan derisinin yerine kullanılabilir. Bakteriyel selülozun ıslak fazındaki yüksek mekanik dayanımı ve genel geçirgenliği nedeniyle, sargı bezi olarak kullanıldığında geçici yaraların kapatılmasında daha etkili olduğu gözlenmiştir (Fontana vd., 1991).

İkinci ve üçüncü derece yanıklar, ülserler ve diğer vakalarda insan derisinin geçici ikamesi olarak Biofill başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda, Biofill için 300'den fazla tedavide belli avantajlar belgelenmiştir. Hızlı ağrı kesme, yara yatağı, ameliyat sonrası rahatsızlığı azaltması, enfeksiyonu azaltma oranı, bakteriler için fiziksel bariyer görevi, yara muayenesinde kolaylık (saydamlık), daha hızlı iyileşme, ve gelişmiş eksüda tutma, tedavi ardından kendiliğinden ayrılma, azaltılmış tedavi süresi ve maliyetleri gibi avantajları mevcuttur. Hareketin gerekli olduğu alanlarda (eklemlerde) sınırlı esneklik bu ürün için gösterilen tek dezavantajdır (Keshk ,2014; Lustri vd., 2015).

Veteriner hekimlikte at ve köpeklerde büyük yüzey yaralarının bakteriyel selülozun uygulanması ile tedavi edilebileceği gösterilmiştir (Kawecki vd., 2004). Meftahi vd. (2010), BS ile kaplanmış pamuklu sargı bezi üzerinde çalışmalar yapmıştır. BS ile kaplanmış sargı bezi daha esnektir ve %30 daha fazla su emme kabiliyeti göstermiştir. Yara sargısı için daha uygun olduğu gösterilmiştir. BS malzemesi ile ilgili olarak 1990 yılından itibaren medikal alanda kullanılmak üzere yapay damar, yara örtüsü, iskelet matrisi, implant, yüz maskesi, antimikrobiyal maske gibi çeşitli ürünlerin üretimi sağlanmış ve patentleri alınmıştır (Rajwade, 2015).

2.14.2. Yapay kan damarı

Kardiyovasküler hastalıklar, batı ülkelerinde hem erkek hem de kadınlar için ölümlerin önde gelen nedenidir. Yapılan tahminlere göre her yıl 17,5 milyon insan, dünyadaki tüm ölümlerin % 31'i kardiyovasküler hastalıklardan kaynaklanmaktadır. Bu yüzden yapay kan damarları için birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda vasküler greftlerin uyumluluğunu ve etkinliğini artırmak için birçok strateji uygulanmıştır. Özellikle son yıllarda tüm yenilenebilir ve doğal biyomalzemeler arasında yapay damar bakteriyel selüloz kullanımı eşsiz özellikleri sebebi ile öne çıkmaktadır.

Tıkalı veya sertleşmiş arterlere neden olan durumlarda, baypas işlemlerine genellikle ihtiyaç duyulur. İşlemlerde kullanılan sentetik malzemeler sıklıkla kan pıhtılaşması risklerini içermektedir. Ayrıca, bakteriyel selülozun ümit verici bir yapay kan damarı kaynağı olmasının nedeni kanla iyi temas etmesidir. Bakteriyel selüloz, şu anda bypass işlemlerinde yapay kan damarı olarak kullanılan polietilen teraftalat (PET) veya genişletilmiş politetrafloroetilen (ePTFE) gibi sentetik malzemelerde daha düşük kan pıhtılaşması riski taşır. Bu durum, selülozun kanla çok iyi temas ettiği ve yapay kan damarları için uygun bir alternatif olduğunu gösterir (Keshk, 2014; Fink vd., 2010).

Gerçek kan damarlarında kanın pıhtılaşmamasını sağlayan dahili bir hücre kaplaması vardır. Bu tüpün iç çapı 1 mm, uzunluğu yaklaşık 5 mm ve cidar kalınlığı 0,7 mm'dir. Yani deneysel mikrocerrahi gereksinimleri için bu parametreler yeterlidir. BASYC tüplerin temel özelliklerinden biri olan yeterli mekanik mukavemet, bunların mikrocerrahide kullanımını uygun kılmaktadır. Malzeme vücutta mikrocerrahi hazırlık ve anatomizasyon ve kan basıncı sırasında oluşan tüm mekanik zorlamalara dayanabilir olmalıdır (Keshk, 2014).

Yamanaka ve arkadaşları bakteriyel selüloz fibrillerinin ortası çukur özelliğe sahip olanlarının üreter ve suni kan damarı olarak kullanılabileceğini de önermişlerdir (Yamanaka vd., 1990). Köpeklerde aort ve boyun damarlarının yerine antitrombik özelliğe sahip olan bakteriyel selüloz içeren suni damarlar kullanılmıştır ve

bakteriyel selüloz içeren damarların vücut ile uyumunun başarılı olduğu gözlenmiştir (Bielecki vd., 2000).

Backdahl vd. (2006), BS vasküler greftinin gerilme mukavemetini araştırmışlardır. Domuz karotis arteri (şah damarı) ile BS'den oluşturulan vasküler greft benzer gerilme sonuçları göstermiştir (kopma stresi ve young modülü).

BS ile daha önce yapılan çalışmalarda yabancı cisim reaksiyonunu ve iltihabı azalttığı bildirilmiştir. Geleneksel yöntemlerin zayıf kan akımına neden olması sebebi ile, BS kullanılabilir yeni biyosentetik vasküler greft materyali haline gelmiştir (Klemm vd., 2001; Helenius vd., 2006).

2.14.3. İlaç uygulamaları

Son yıllarda doğal materyallerin ilaç dağıtımı olarak kullanımına ilgi artmaktadır. BS, ilaç dağıtım sistemlerini üretmek için birçok çalışmada kullanılmıştır. BS, ilaç nanoparçacıkları ile etkileşime girebilir, ilaç nanoparçacıklarını emebilir ve yüklenmiş ilacı kontrol altında tutabilmektedir (Klechkovskaya vd., 2008).

Acetobacter xylinum tarafından sentezlenen BS ultra ince nano lifli ağ yapısı, kimyasal stabilite, yüksek çekme dayanımı ve elastik modül, mükemmel su emme kapasitesi gibi özelliklerinden dolayı tıpkı hidrojeller gibi ilaç dağıtım uygulamaları için akıllı adsorptif malzemelerin imalatı için çekici hale gelmektedir (Amin vd., 2012). BS membranları, in vivo yama testinde gösterdikleri iyi cilt toleransı nedeniyle ilaç dağıtımında kullanılabileceği belirtilmiştir (Bodhibukkana vd., 2006). BS ilaç dağıtımında kullanımının avantajlarından biri, selüloz zarının, daralma önleyici ilaçları verme yeteneğine sahip bir ilaç dağıtım sistemi olarak işlev görebilmesidir. Ek olarak, stentin damar duvarına karşı sıkıştırılmasından kaynaklanan endotelial parçaların salınımı ortadan kaldırılabilir çünkü selüloz membranı bu parçaları yerinde tutabilmektedir (Loures, 2004).

2.14.4. Kemik dokusu mühendisliği

Kemik dokusu mühendisliği, dokuların yenilenmesi ve yeniden yapılması için hücrelerin büyümesine destek veren ve aktif maddelerin salınımında depo görevi gören malzemelerin üretiminde araştırmalar yapan umut vadeden multidisipliner bir alandır. Bu amaçla bu alanda 3 boyutlu yapı iskeleleri kullanılmaktadır. Özellikle son on yılda biyomalzeme kaynaklı gözenekli doku iskelesi üretimi üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır (Chan ve Leong, 2008).

Kemik dokusu mühendisliği için kullanılacak olan malzeme birbirine bağlı gözenekli yapıya sahip olmalıdır ve böylece hücrelerin çeşitli aşamalarda gelişimi için yol gösterebilmelidir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda, sentetik ve doğal biyomalzemeler kullanılmıştır. BS yapılar, hem fermentasyon sürecinin kontrol edilebilmesinden, hem de farklı nanopartiküller ile üretim sonrası modifiye edilebilecek özellikler taşıdığından hücre büyümesini desteklemek için doğal matris görevi görebilecek bir malzemedir (Swetha vd., 2010; Burg vd., 2000). Bunların yanısıra, biyoyumluluk, iyi mekanik dayanım, mikro gözeneklilik ve eşsiz yüzey kimyası ile biyolojik olarak parçalanabilirliği içeren BS'nin benzersiz nitelikleri, onu kemik rejenerasyon uygulamaları için ideal kılmaktadır (Torgbo ve Sukyai, 2018).

2.14.5. Kıkırdak dokusu

Hasarlı eklem kıkırdağının iyileşme için çok sınırlı bir potansiyele sahip olduğu ve eklem fonksiyon kaybına neden olduğu iyi bilinmektedir (O'Driscoll, 1998). Yenilenebilme özelliği düşük olan kıkırdak dokusunun bu özelliğinin iyileştirilebilmesi için doku mühendisliği ile üretilmiş olan kıkırdak iskelelerinin yeni büyüyen dokuyu desteklemesi gerekmektedir (Moutos ve Guilak, 2008). Kıkırdak doku mühendisliğinde, 3D ağ yapısı, hücre yapışması ve proliferasyon gibi fiziksel ve biyokimyasal özellikler, kıkırdak onarım sürecindeki iskeleler için çok önemlidir (Cao vd., 2014).

Son on yılda, BS, mükemmel biyoyumluluk nedeniyle kıkırdak doku mühendisliği için çekici bir iskele malzemesi haline gelmiştir. İşlevsel hücrelerle ekilmiş mikro-kanal BS'nin, olumlu hücrelerin yönlendirme kabiliyetiyle menisküs iskelesi potansiyeli olduğu bilinmektedir (Martinez vd., 2012).

2.14.6. Beyin cerrahisi uygulamaları

Sinir dokusu tamiri ve rejenerasyonu, tıp alanında çok büyük ilgi gören bir alandır ve bu alanda sinir rejenerasyonunun sağlanması amacı ile oluşturulan iskele yapılarında polimerik biyomateryaller yaygın olarak tercih edilmektedir. Kitosan, jelatin, kolajen ve aljinat içeren doğal polimerler, çeşitli sinir rejenerasyon yaklaşımlarında çalışılmıştır (Subramanian vd., 2009). Son yıllarda, BS ayrıca nöronal doku mühendisliği'nde iskele olarak kullanılması için ümit verici bir biyomateryal olarak ortaya çıkmıştır. İmplantı silindir şeklinde yapan tübülizasyon, hasar görmüş periferik sinirleri onarmak için en umut verici yöntem olarak kabul edilmiştir. Biyouyumluluk özelliğine sahip olan BS yapılarının, hasar görmüş periferik sinirlerin rekonstrüksiyonu için ideal bir malzeme olduğu araştırmalarda belirtilmiştir. Kowalska Ludwicka vd. (2013), BS rehberlik kanalları geliştirmiş ve sıçanların femur sinirinde in vivo rejeneratif etkinliğini analiz etmişlerdir. Yaptıkların çalışmanın histolojik sonucunda, BS tüplerinin uygulanmasının, nöroma oluşumunu başarıyla azalttığını ve bağ dokusunun aşırı çoğalmasının (% 35), kontrol grubundan (%86,6) oldukça düşük olduğunu göstermişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada yüksek saflıkta selüloz içeriğine sahip olan bakteriyel selüloz esaslı tıbbi tekstil yüzeyi üretimi incelenmiştir. Üretimi sağlanan malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi ve yapılan inceleme sonrası fiziksel ve kimyasal özelliklerin daha önce yapılan çalışmalar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Numuneler bakteriyel selüloz ve çeşitli yapılarla kompozit yapı oluştururak ya da sadece bakteriyel selüloz kullanılarak hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numunelerin özelliklerini anlamak ve geliştirebilmek amacıyla çeşitli testler ve analizler uygulanmıştır. Yapılan analizler ve testlerin sonuçlarına bağlı olarak mevcut üretilmiş BS esaslı tıbbi tekstil yüzeyleri incelenmiş ve üretilen yüzeylerle özellikleri karşılaştırılmıştır.

3.1. Materyal

Kombu kültürü içerisinde bulunan *acetobacter xylinum* bakterisi BS eldesi için kullanılmıştır. Bakteriyel selülozu büyütmek için saf su kullanılmaktadır. Kullanılan su, saflaştırılmalı veya kaynatılmalıdır. Aksi halde *A. xylinum*'u öldürecek olan iyonları ve kimyasalları çıkarmak gerekmektedir (Zeng, 2014).

BS eldesi için gerekli karbon kaynağı glikozdan sağlanmıştır. BS eldesi için gerekli azot kaynağı kombu çayı özütünden sağlanmıştır. BS eldesi için gerekli asidik ortamı sağlamak için asetik asit kullanılmıştır. Elde edilen bakteriyel selülozun temizleme işlemi için sodyum hidroksit (NaOH) ve etanol kullanılmıştır (Chawla vd., 2009). Elde edilen bakteriyel selülozu ağartma işlemi için hidrojen peroksit (H₂O₂) kullanılmıştır (Suryanto vd., 2018). Bakteriyel selüloz ile kompozit yapı oluşturmak yara emiciliğinde yaygın olarak kullanılan hidrofıl pamuk tercih edilmiştir. İçi boşluklu yapı üretmek için 10ml ve 20 ml'lik enjektörler iç içe geçirilerek kullanılmıştır. Bakteriyel selüloz ile kompozit yapı oluşturmak için 52 g/m² %15 pamuk (CO)/25 viskon (VI)/60 polipropilen (PP) dokusuz yüzey kumaş ve 37 g/m² %80 PP/20 VI dokusuz yüzey kumaş kullanılmıştır.

Porozite, su tutma, eğilme açısı, mukavemet, sürtünme direnci, FT-IR ve termal analizde kullanılan numunelerin kodları ve gördükleri işlemler çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Analizlerde kullanılan numunelerin kodları ve gördükleri işlemler

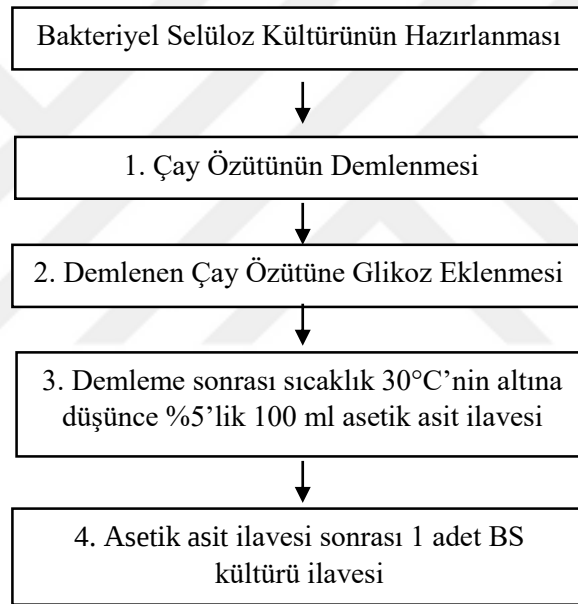
Numune Adı	Numune Kodu	Yapılan İşlem
Ham BS yaş halde	BSY	Herhangi bir işlem görmedi
Ham BS kurutulmuş halde	BSK	Gün ışığında kurutulma yapıldı
NaOH sonrası BS	BSN	Saf suda yıkama sonrası NaOH ile işlem gördü
Peroksit uygulama sonrası BS	BSNP	NaOH ile işlem sonrası H ₂ O ₂ ile işlem gördü
İçi boşluklu ham BS yapı	BSHW	Herhangi bir işlem görmedi
52 g/m ² PP/VI/CO dokusuz yüzey	52DY	Herhangi bir işlem görmedi
52 g/m ² PP/VI/CO dokusuz yüzey ile ham BS kompozit	BS52H	Kullanılan BS'e saf suda yıkama yapıldı
52 g/m ² PP/VI/CO dokusuz yüzey ile peroksit sonrası BS kompozit	BS52NP	Kullanılan BS'e saf suda yıkama, NaOH ve Peroksit ile işlem gördü
Hidrofil pamuk tülbent	P	Herhangi bir işlem görmedi(elyaf)
Hidrofil pamuk tülbent ile ham BS kompozit	BSPH	Kullanılan BS'e saf suda yıkama yapıldı
Hidrofil pamuk tülbent ile peroksit uygulama sonrası BS kompozit	BSPNP	Kullanılan BS'a saf suda yıkama, NaOH ile ve Peroksit ile işlem gördü
37 g/m ² PP/VI dokusuz yüzey	37DY	Herhangi bir işlem görmedi
37 g/m ² PP/VI dokusuz yüzey ile ham BS kompozit	BS37H	Kullanılan BS'e saf suda yıkama yapıldı
37 g/m ² PP/VI dokusuz yüzey ile peroksit sonrası BS kompozit	BS37NP	Kullanılan BS'e saf suda yıkama, NaOH ve Peroksit ile işlem gördü

3.2. Yöntem

Bakteriyel selüloz üretimi ile ilgili çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada düşük teknolojik maliyet, yüksek üretim kapasitesi ve tıbbi tekstil yüzeyi üretilecek olması sebebi ile statik kültür yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca karıştırmalı kültür yöntemi ile BS üretimi yapılmaya çalışılmıştır.

3.2.1. Statik kültür yöntemiyle bakteriyel selüloz esaslı numunelerin hazırlanması

BS kültürü üretiminde ilk aşamada 1 lt kaynatılmış olan saf su içerisine 8,38 gram çayı özütü eklenir ve 15 dk demlenir ve demlenmiş olan çay özütüne 100 gram glikoz ilavesi yapılır ve çözününceye kadar karıştırılır. Elde edilen çay özütüne karışımının sıcaklığı 30 °C'nin altına düştüğünde 100 ml asetik asit ve 1 adet BS kültürü ilave edilir. Karışımın üzeri oksijen alabilecek şekilde kapatılmış ve güneş görmeyen ortamda 14 gün boyunca bekletilmiştir. Uygulama 25,8 °C'de ve %34 nemli ortamda gerçekleştirilmiştir (AL Kalifawi ve Hassan, 2013). Şekil 3.1'de BS üretiminin işlem basamakları verilmiştir.



Şekil 3.1. BS üretiminin işlem basamakları

3.2.2. Karıştırmalı kültür yöntemiyle bakteriyel selüloz esaslı numunelerin hazırlanması

Karıştırmalı kültür ortamında BS kültürü üretiminde statik kültürdeki reçetenin aynısı kullanılmıştır. İlk aşamada 1 lt kaynatılmış olan saf su içerisine 8,38 gram kombu çayı özütü eklenir ve 15 dk demlenir ve demlenmiş olan kombu çayı özütüne 100 gram glikoz ilavesi yapılır ve çözününceye kadar karıştırılır. Elde edilen çay özütüne karışımının sıcaklığı 30 °C'nin altına düştüğünde 100 ml asetik asit ve 1 adet

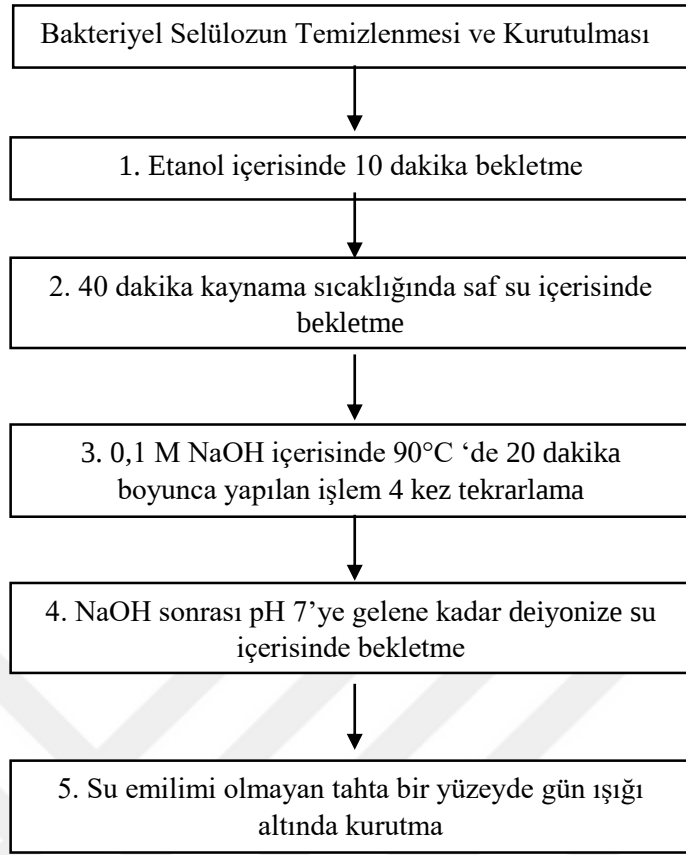
BS kültürü ilave edilir. Uygulama 25,8 °C’de ve %34 nemli ortamda gerçekleştirilmiştir (AL Kalifawi ve Hassan, 2013). Daha sonra tüm bu karışım magnetik karıştırıcı üzerine koyulmuş ve 5 gün boyunca karıştırıcı çalıştırılmıştır. 5 günün sonunda statik kültür ortamında yapılan çalışmalarda ince bir zar tabakası oluşmaya başlamasına rağmen karıştırmalı kültürde herhangi bir yapı oluşumu gözlenmemiştir. Kaynak özetleri bölüm 2.9.2’de anlatıldığı üzere karıştırmalı kültür ortamında görülen problemlerden kültür stabilitesinin zor sağlanması, oksijen transfer kapasitesinin optimum seviyede olması ve karıştırma hızının iyi ayarlanması gibi problemlerden dolayı karıştırmalı kültür ortamında herhangi bir üretim sağlanamamıştır (Kouda vd., 1997; Young vd., 1998). Bu yüzden yapılan çalışmada statik kültür ortamında üretime yoğunlaşılmıştır.

3.2.3. Bakteriyel selüloz oluşumunda pH ve kalınlık tayini

BS üretimi için gerekli hücre büyümesi ve selülozik yapının oluşmasında pH önemli kriterlerden biridir. Bu yüzden literatürde belirtilen optimum pH aralığını görebilmek amacı ile pH analizi yapılmıştır. BS oluşumu için oda sıcaklığında kültür ortamı hazırlandıktan sonra 14 gün boyunca kültür ortamının günlük pH değişimi HANNA HI2002-02 pH metre ile ölçülmüştür. Bunun yanısıra 14 gün boyunca üretimi sağlanan BS tabakasının metre ile kalınlığında meydana gelen değişiklik gözlenerek ölçülmüştür.

3.2.4. Bakteriyel selüloz tabakasının temizlemesi ve kurutulması

14 gün sonrasında elde edilen BS tabakalarının bakterilerden ve mevcut olan diğer yabancı maddelerden uzaklaştırılması amacı ile temizleme işlemi yapılması gerekmektedir. Temizleme işlemi için öncelikle BS tabakaları 10 dakika boyunca etanol içerisinde bekletilmiştir. İkinci işlem olarak 40 dakika boyunca saf su ile kaynama sıcaklığında işleme tabi tutulmuştur. Son işlem basamağı olarak 0,1 M NaOH içerisinde 90 °C’de 20 dakika boyunca 4 kez bekletilmiştir (Zeng, 2014). Şekil 3.2’de BS tabakasının temizleme işleminin basamakları verilmiştir.



Şekil 3.2. BS tabakasının temizleme işlem basamakları

14 gün sonucunda elde edilen ve temizlenen bakteriyel selüloz tabakalarının kurutulması gerekmektedir. Kurutma işleminin yapılabilmesi amacı ile malzeme suyu emmeyen ahşap bir yüzeyde gün ışığı alan bir ortamda kuruyana kadar bekletilmiştir. Birçok kurutma sistemi olmasına karşılık gün ışığında kurutma yapılmasının sebebi dehidrasyonun yavaş gerçekleşmesini sağlamak ve yapının özelliklerini korumaktır (Zeng, 2014).

3.2.5. Bakteriyel selüloz tabakası ağartma işlemi

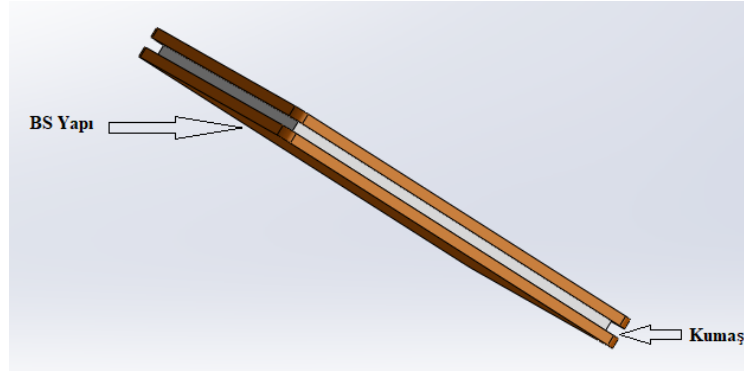
Kombu çayı özütü kullanılarak elde edilen BS yapı kahverengidir. Ürün yara örtüsü amacı ile kullanılmak istenildiğinde özellikle rengi dolayısıyla yara üzerinde oluşan sıvıların (iltihap, kan vb.) gözden kaçmasına sebep olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca ağartma işlemi sonrası beyaz olan BS yapının rengi görsel olarak da öne çıkmaktadır.

Temizleme işlemi sonrası elde edilen BS tabakalarının ağartılması amacı ile 40 ml/l H₂O₂ (%35) pH 7’de 1 saat boyunca kaynama sıcaklığında işleme tabi tutulmuştur (Suryanto vd., 2018).

3.2.6.Bakteriyel selüloz kompozit yapıların hazırlanması

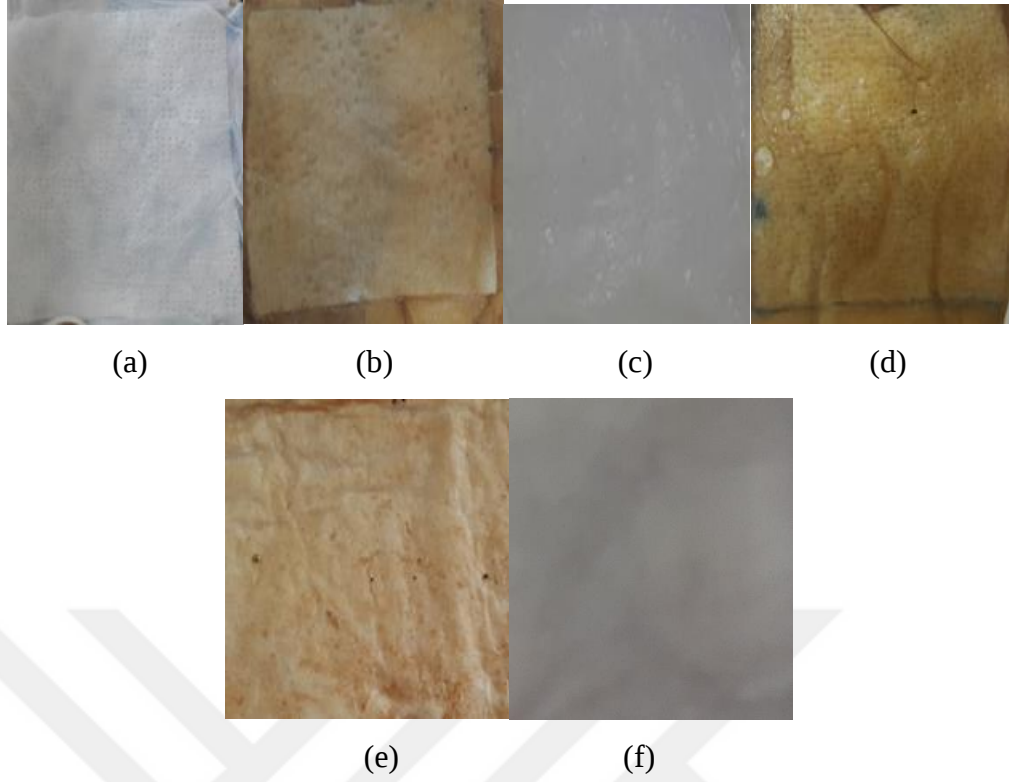
Yara örtüsü tasarımı yapmak amacı ile dış tabakada BS tabakaları, hidrofil pamuk ve biyoyumlu 52 g/m² %15 CO/25 VI/60 PP ve 37 g/m² %80 PP/20 VI dokusuz yüzeyleri iç tabakada kalacak şekilde sandviç kompozit yapısı oluşturulmuştur. Kompozit yapılarda kullanılan dokusuz yüzeylerin içeriği sebebiyle üretilen numunelerin özelliklerine olumlu yönde katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kullanılan kompozit yapıların içeriğinde PP’nin düşük maliyet, kolay işlenebilirlik, düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve mükemmel kimyasal dayanım (Zhu ve Yang, 2006) gibi özellikleri sebebiyle yüksek PP oranlı dokusuz yüzeyler kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan dokusuz yüzeylerin içeriğinde pamuk ve viskon bulunmasının esas sebebi yara örtüsü tasarımında gerekli özelliklerden olan yüksek su emme kabiliyetidir. Şekil 3.3’de kompozit sandviç yapının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.3. Sandviç kompozit yapısı şematik gösterimi

Sandviç yapının dış tabakasında ham ve temizleme, ağartma işlemi uygulanmış olmak üzere iki farklı BS tabakası son ürün özelliklerinde değişikliğin gözlemlenebilmesi amacı ile kullanılmıştır. Şekil 3.4’de kompozit yapıların ham ve peroksit sonrası halleri gösterilmiştir.

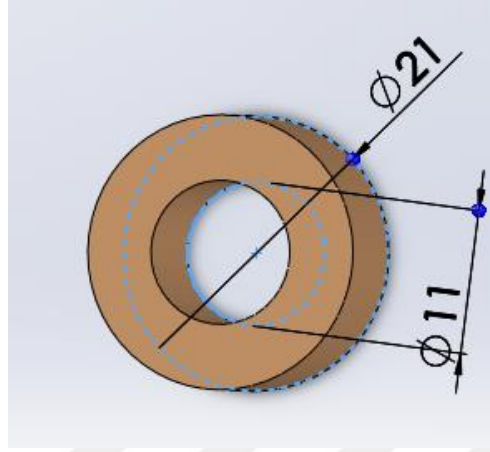


Şekil 3.4. (a) BS37NP, (b) BS37H, (c) BS52NP, (d) BS52H (e) BSPH, (f) BSPNP
Kompozit yapılar

3.2.7. İçi boşluklu bakteriyel selüloz yapı oluşturma

Bakteriyel selüloz tabakasından içi boşluklu yapı (BSHW) elde edilmesi ve bu yapıların implante edilerek kullanılabilmesi amacı ile yapılmış olan çalışmalar literatürde bulunmaktadır (Keshk, 2014). Literatürde uygulanan yöntemler dışında daha basit yapılı ve düşük maliyetli bir tasarım ile üretim yapılmaya çalışılmıştır. Bunun için kullanılabilecek en uygun materyalin enjektör olduğu düşünülmüştür. Yapılan tez çalışmasında statik kültür ortamında içi boşluklu yapı şeklinde bakteriyel selüloz oluşturulması amacı ile 10 ve 20 ml'lik enjektörler uçları kesilip içi içe gelecek şekilde kültür ortamına önce 20 ml'lik enjektör ve daha sonra içerisine 10 ml'lik enjektör yerleştirilmiştir. 20 ml'lik enjektör kültür ortamına koyulmadan önce enjektörün askıda kalması amacı ile kültür ortamının ağzı streç film ile kaplanmıştır ve 20 ml'lik enjektörün geçebileceği bir delik açılarak enjektörün askıda kalması sağlanmıştır. İkinci işlem olarak, 10 ml'lik enjektör 20 ml'lik enjektörün içersinden geçirilmiş ve 14 gün boyunca statik ortamdaki BS tabakası oluşumu sağlanmıştır. Elde edilen BS yapının iç çapı 11 mm, dış çapı 21 mm yüksekliği 12 mm'dir. Şekil

3.5’de elde edilen içi boşluklu yapının şematik gösterimi mevcuttur. Tez içerisindeki bu bölümün amacı ileride yapılacak bakteriyel selüloz esaslı damar çalışmalarına kaynak oluşturmaktır.



Şekil 3.5. İçi boşluklu yapı şematik gösterim

3.2.8. Bakteriyel selüloz tabakasının su alımı ve kaybı sonrası boyut değişimi analizi

BS yapı yara uygulamalarında kullanıldığında deformasyon olan yüzeyde oluşan sıvıların (kan, iltihap vb.) durumuna göre boyut değiştirme durumunu analiz etmek amacı ile uygulanmıştır. BS yapıyı kaldırmaksızın boyut değişimi takip edilerek deformasyonun devam edip etmediği tespit edilebilir.

İlk işlem olarak ham BS tabakası kültür ortamından alındıktan sonra ağırlığı ve boyutları ölçülmüş ve daha sonrasında kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra sırası ile 1 saat saf suda bekletilip kurutulmuş, 6 saat saf suda bekletilip kurutulmuş, 12 saat saf suda bekletilip kurutulmuş, hem yaş hemde kuru ağırlık ve boyutları alınarak boyutsal değişim gözlenmeye çalışılmıştır. Yapılan tüm işlemlerde aynı BS tabakası kullanılmıştır ve işlemler ard arda yapılmakla birlikte yapılan Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Su alım-kaybı uygulamasının işlem basamakları ve kısaltmaları

Numune Kodu	Kuruluk Durumu(İşlemÖncesi)	Suda Bekleme Süresi	Kurutma Süresi
14BSY (Kültür ortamından 14 gün sonra alınan numune)	Yaş	-	-
14/6BSK (6 gün, gün ışığında kurutulmuş olan BS tabakası)	Kuru	-	6 gün
6/1BSY (Kurutma işlemi sonrası 1 saat boyunca saf suda bekletilen BS tabakası)	Yaş	1 saat	-
1/16BSK (1 saat saf suda bekletilip ölçüleri alınan ve daha sonra 16 saat boyunca kurutulan BS tabakası)	Kuru	-	16 saat
16/6BSY (16 saat kurutma işlemi sonrası 6 saat boyunca saf suda bekletilen BS tabakası)	Yaş	6 saat	-
6/16BSK (6 saat saf suda bekletilip ölçüleri alınan ve daha sonra 16 saat boyunca kurutulan BS tabakası)	Kuru	-	16 saat
16/12BSY (16 saat kurutma işlemi sonrası 12 saat boyunca saf suda bekletilen BS tabakası)	Yaş	12 saat	-
12/16BSK(12 saat saf suda bekletilip ölçüleri alınan ve daha sonra 16 saat boyunca kurutulan BS tabakası)	Kuru	-	16 saat

3.2.9. BS ve BS kompozit yapıların porozite analizi

Özellikle vücut içi uygulamalarda porozite, ana bileşenlerden biridir. Porozitesi yüksek yapıların kullanılması uzun vadede iyileşme hızını artırmaktadır. Malzeme vücut içine implante edildikten sonra protezin dokuya tam bağlanabilmesi ve hücre geçişlerine izin vermesi için porozif bir yapıya ihtiyaç vardır (Özdemir, 2006). Ayrıca deri uygulamalarında nefes alabilir bir yapıya ihtiyaç olduğu için porozite son derece önemlidir.

Kuru ağırlığı alınan BS, BS kompozit numuneler daha sonra 10 ml saf su içinde 2 saat bekletilmiştir. Bu işlem sonrasında tüm gözeneklerin suyla dolması amacıyla 1 saat vakumlu desikatörde vakumlanmıştır. İkinci işlem olarak, numunelerin ıslak ağırlığı ve hacmini hesaplanmak amacıyla ıslak halde boyutları ölçülmüştür. Saf suyun özgül ağırlığı (ρ_{su}) 1 g/cm³ olarak kabul edilmiş ve aşağıdaki denklem kullanılarak porozite sonuçları elde edilmiştir (Özdemir, 2006). Şekil 3.6'da vakumlama işlemi gösterilmiştir.

Birinci basamak: (3.1)

Gözenekleri dolduran suyun ağırlığı = Numune ıslak ağırlığı – Numune kuru ağırlığı
 $\rho_{su} = \text{Ağırlık} / \text{Hacim}$

$1 \text{ g/cm}^3 = \text{Gözenekleri dolduran suyun ağırlığı} / \text{Gözenekleri dolduran suyun hacmi}$

İkinci basamak: (3.2)

Gözenekleri dolduran suyun ağırlığı = Gözenekleri dolduran suyun hacmi
olduğu düşünülürse;

Üçüncü Basamak: (3.3)

$\% \text{ Porozite} = (\text{Numune ıslak ağırlığı} - \text{Numune kuru ağırlığı}) / \text{Islak numune hacmi}$
şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 3.6. Vakumlu desikatörde vakumlama işlemi

3.2.10. BS ve BS kompozit yapıların su tutma kapasitesi analizi

Tıbbi tekstil malzemesi olarak kullanılan yara örtülerinde olması gereken özelliklerden biri de sıvı tutma kabiliyetidir, yarada meydana gelen enfeksiyon kaynaklı iltihap sıvısı, kan vb. sıvıların tutulmasında bariyer görevi görmesi beklenilmektedir. Ayrıca hasarlı dokunun nemli tutulması gereklidir (Langenhove, 2007). Günümüzde BS yapılar yara örtüsü olarak kullanılabilmektedir. Değişik

içeriklerden oluşan dokusuz yüzeylerle birleştirilip elde edilen kompozit BS yapılarında su tutma kapasitesi incelenmiş olup farklı içerikte kompozit yapıda ürünlerin geliştirilmesine fayda sağlayacağı düşünülmüştür.

Numunelerin su tutma kapasitesinin analizi için numunler 1 saat suda bekletildikten sonra ıslak ağırlıkları alınmıştır. Daha sonra oda sıcaklığında 24 saat kurumaya bırakılmış ve kuru ağırlıkları alınmıştır. Su tutma kapasitesi analizi aşağıda verilen denklem ile gerçekleştirilmiştir (Seiferd vd., 2004).

$$\text{Su Tutma Kapasitesi \%} = (\text{Islak Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}) / (\text{Islak Ağırlık}) * 100 \quad (3.4)$$

3.2.11. Toz geçirgenliği analizi

Vücudumuzda bulunan en büyük organ olan derideki dokuların hasar görmesiyle birlikte hasarlı doku bir veya daha fazla türde mikroorganizmanın istilasına uğramaktadır. Çeşitli enfeksiyonlara sebebiyet veren mikroorganizmaların boyutlarının 100 µ'dan çok küçük (0,5-2 µm) olduğu bilinmektedir (Bakteriler, 2019). Ayrıca mikroskopik toprak parçası, cam parçası, küçük taşlar gibi yabancı cisimler dokuda reaksiyona yol açarak iyileşmeyi geciktirebilmektedir. Enfeksiyona sebep olabilecek veya iyileşmeyi geciktirebilecek yabancı cisimleri simüle edebilmek amacıyla kömür tozları 100 mikrondan(µ) küçük, 100-200 µ ve 200 µ'dan büyük boyutlarda elenmiştir. Yara örtüsü olarak kullanılabilirliği araştırılan BS yapılarının yara içerisine toz, mikroorganizma geçişinin olmaması amacı ile elenen kömür tozları BS yapısı üzerine aktarılmıştır. Daha sonra 1 saat vakumlama işlemi uygulanmıştır. Numune içerisine kömür tozlarının geçip geçmediğinin analizinin yapılabilmesi için mikroskop altında fotoğraf makinası ile 60x, 120x, 200x büyütme yapılarak görüntüleri alınmıştır.

3.2.12. SEM ve EDS analizi

Elde edilen BS yapı içerisindeki lifsi yapıyı, kimyasal uygulamalar sonrası yüzeyde oluşacak değişiklikleri ve temizleme işlemi sonrası bakterilerden arınma durumunun incelenmesi için SEM analizi yapılmıştır. EDS analizi ise BS'nin elemental kimyasal bileşiminin tespiti için yapılmıştır.

SEM ve EDS analizi Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezinde (YETEM) mevcut olan Fei Quanta 250 Feg markalı makina ile yapılmıştır. BS numunelerinin morfoloji analizi için düşük vakum ortamında taramalı elektron mikroskopunda (SEM) 15-20 kV arası bir ayar düzeni uygulanarak görüntüsü alınmıştır.

3.2.13. FT-IR analizi

Çalışmada üretilen bakteriyel selüloz yapıların kimyasal yapısını incelemek için FT-IR (Fourier Transform Infrared Spektroskopisi) analizi yapılmıştır. FT-IR analizi Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezinde (YETEM) mevcut olan Perkin Elmer Spectrum BX cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler oda sıcaklığında, KBr pellet tekniği ile 4 cm^{-1} çözünürlükte, $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ orta infrared bölgesinde 2 cm^{-1} aralıklar ile 16 tarama sayısı ile yapılmıştır.

3.2.14. Termal analiz

Elde edilen ürünlerin yapılarına bağlı olarak ısıl bozulma özelliklerindeki değişimler daha sonraki kurutma gibi ısıl işlemlerde uygulanacak maksimum sıcaklığın tespiti amacıyla termal analiz incelenmiştir. Termal analiz için, Perkin Elmer Instruments, diamond TG/DTA/DSC kullanılmıştır. Oda sıcaklığında kurutulmuş ham bakteriyel selüloz ve peroksit işlem uygulanmış bakteriyel selülozun termal özellikleri; $10\text{ }^{\circ}\text{C/dak}$ ile $25 - 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında azot ortamında yapılarak belirlenmiştir. Analizler S.D.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Laboratuvarı tarafından yapılmıştır. TGA (Termogravimetrik analiz) ve DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) eğrisi ise MS Excell Ofis programı kullanılarak hazırlanmıştır.

3.3. BS Esaslı Tıbbi Tekstil Malzemelerin Performans Testleri

Performans testleri kapsamında malzemelerin tıbbi tekstil alanında kullanılabilmesi için gerekli belli mekanik özelliklerinin analizi amaçlanmıştır. Performans testleri kapsamında, mukavemet testi, sürtünme direnci testi ve eğilme açısı testi yapılmıştır.

3.3.1. Mukavemet Testi

Yara örtüsü olacak kullanılacak yapının kullanım yerine göre değişmekle birlikte belirli bir mukavemete sahip olması gerekmektedir. Kaynak özetinde de görüldüğü üzere BS'nin mukavemeti son derece yüksektir. BS'nin sağlamlığını analiz etmek için mukavemet testi yapılmıştır. Mukavemet testi S.D.Ü. Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında yapılmıştır. Analizler Llyod marka mukavemet cihazı ile yapılmıştır. Loadcell 5 kN'dur. Çeneler arası mesafe 4 cm olarak ayarlanmıştır. Tam kuru ve yaş numunelerde gerçek mukavemet ölçümü için gerekli olan kondisyonlama yapılmamıştır. Kondisyonlama ortam şartları, sıcaklık $20^{\circ}\text{C} \pm 2$, bağıl nem $\%65 \pm 4$ dır .

3.3.2 Sürtünme direnci

Yara örtüsü tasarımında sürtünmeden kaynaklanan yara oluşumu ve cilt bütünlüğünde bozulma riski her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. BS'nin yara örtüsü olarak kullanımında sürtünme direnci değerlendirilmiştir.

Mukavemet testi S.D.Ü. Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında yapılmıştır. Manuel olarak sürtünme haslığı test cihazı kullanılarak simüle edilmiştir. 9 newtonluk ağırlık altında makinanın 1 cm'lik yüzeyi pamuklu dokuma kumaş ile kaplanmıştır ve BS yapı üzerine koyulmuştur. Şekil 3.7'de sürtünme haslığı test cihazı gösterilmiştir. Başlığın 100 hareketi sonunda test sonlandırılmıştır. Sürtünme öncesi ve sonrası yapının mikroskop altında 60x ve 120x büyütülerek görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3.7. Sürtünme haslığı test cihazı

3.3.3 Eğilme Açısı

Yara örtüsünde kullanılabilirliği bilinen BS için önemli özelliklerden birisi de eğilme açısıdır. Yara örtüsünün hasarlı dokuyu tam kaplayıp kaplayamadığı ve hareketli bölgelerdeki davranışı dokunun iyileşmesi için son derece önemlidir. BS'nin yara örtüsündeki eğilme davranışı için 2 cm eninde kesilmiştir. BS tabakalarının üzerine aynı miktarda ağırlık konulmuş ve 90° lik açı yapacak şekilde yüzeyden aşağıya sarkıtılmış ve eğilme davranışı gözlenmiştir. Eğilme açısı için BSY, 37DY, 52DY, BSPH, BS37NP, BS52NP kodlu numunelerin davranışı incelenmiştir.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Statik Kültür Yöntemiyle Bakteriyel Selüloz Esaslı Numunelerin Hazırlanması

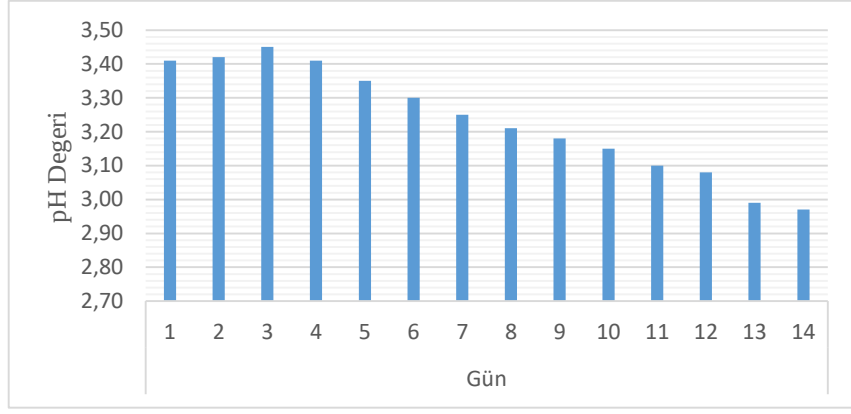
Hazırlanmış olan kültür ortamında 14 gün sonra bakteriyel selüloz tabakası eldesi sağlanmıştır. Sağlanmış olan BS tabakası ve kültür ortamı Şekil 4.1’de verilmiştir. Bekletilme süresi artırıldığında özellikle ortam sıcaklığı 35 °C’nin üzerinde olduğunda yapının üzerinde kurtlanmalar (sirke sineği) meydana gelmektedir. Bu yüzden üretilen numuneler kültür ortamında 14 gün bekletilmiştir



Şekil 4.1 14 gün sonunda BS kültürü

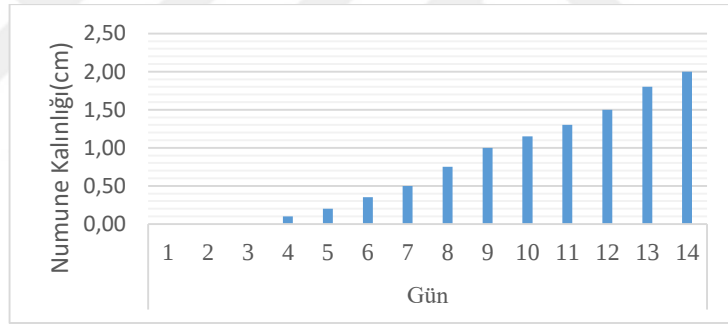
4.2. Bakteriyel Oluşumunda pH ve Kalınlık Tayini Bulguları

14 gün boyunca bakteriyel selüloz tabakalarında kalınlık ve bakteriyel selüloz ortamında pH değişimi gözlemlenmiştir. Kalınlık değişimi grafiği şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kültür ortamının pH değışimi

Şekil 4.2’de verilen değerlerdede görüldüğü üzere pH değeri gün geçtikçe düşmektedir. Bu değışimin sebebi ise BS kültürünün büyüme ortamında bulunan asetik asit bakterilerinden kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir (Zahan vd., 2015). Kültür ortamının kalınlık değışimi grafiğı ise şekil 4.3’de verilmiştir.



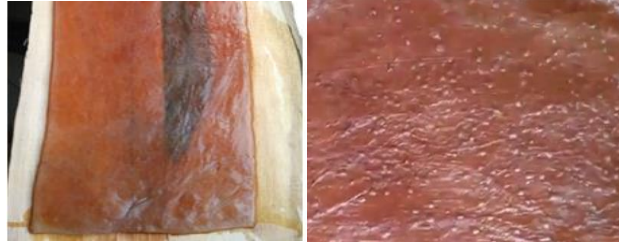
Şekil 4.3. BS kültürünün kalınlık değışimi

Şekil 4.3’de verilen kalınlık değerlerindende anlaşılabileceğı gibi ilk üç gün herhangi bir tabaka oluşumu gözlemlenmezken 4 ile 14 günlük süreç içerisinde kalınlık artışı meydana gelmiştir. Bu kalınlık artışının sebebi selüloz oluşumundan kaynaklanmaktadır.

4.3. Temizleme ve Kurutma İşlemi Sonrası BS Yapısı

BS tabakasının kurutulması işlemi sonrası alınan görüntü şekil 4.4’de verilmiştir. Kurutma işlemi sonrası yapının gözenekleri arasında hava kabarcıkları olduğu

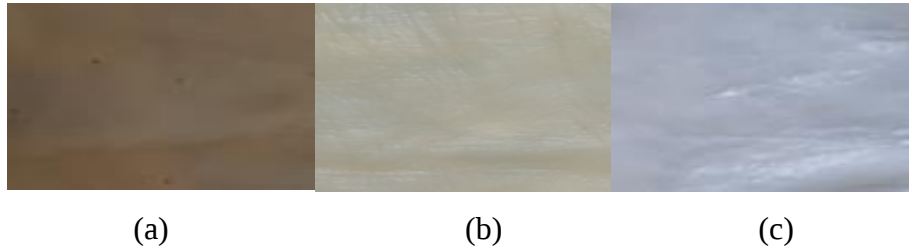
gözlemlenmektedir. Bunun yanısıra BS tabakaları kuruma işlemi sonrası esnek ve daha rigid bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.4. BS tabakasının kurutma ortamı ve kurumuş hal

4.4. Bakteriyel Selüloz Tabakası Ağartma İşlemi

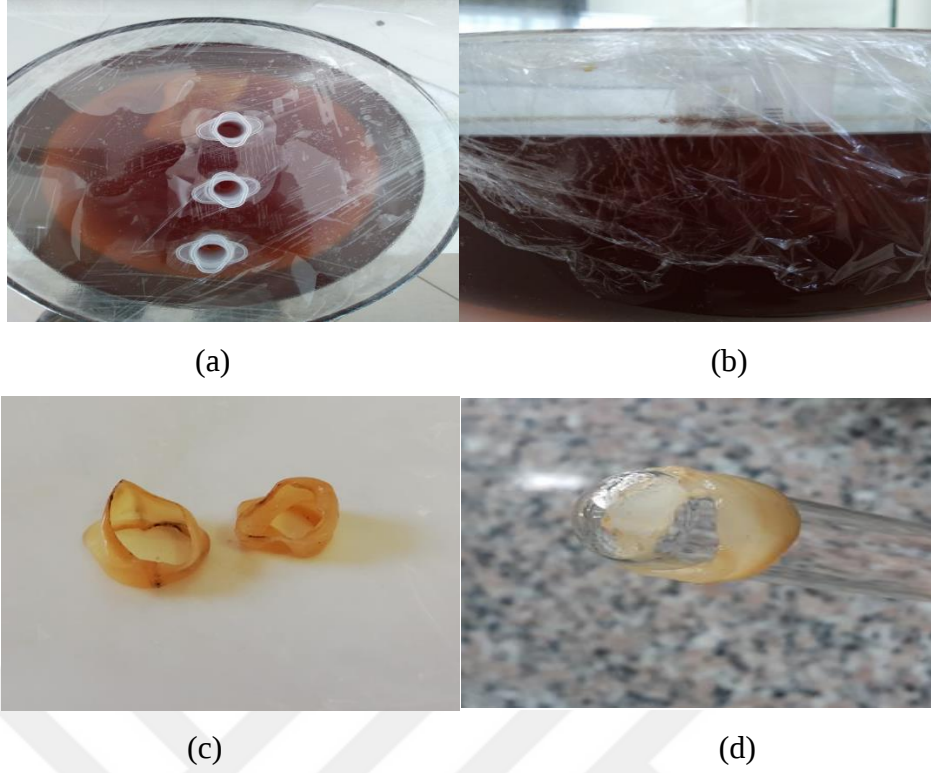
Temizleme işlemi sonrası yapılan ağartma işleminin sonucu olarak BS yapısı pamuk elyafında olduğu gibi beyaz bir hale gelmiştir. Ham BS tabakasının rengi kahverengi iken ağartma işlemi sonrası renk beyaza dönüşmüştür. Temizleme işlemi (NaOH) sonrası ise BS yapıları kirli beyaz bir renkte bulunmaktadır. Şekil 4.5’de ham, temizleme işlemi ve ağartma işlemi sonrası elde edilen BS yapılarının renk değişimi net olarak görülmektedir.



Şekil 4.5. (a)BSY, (b) BSN, (c) BSNP tabaka görüntüleri

4.5. İçi Boşluklu Bakteriyel Selüloz Yapı Oluşturma Bulguları

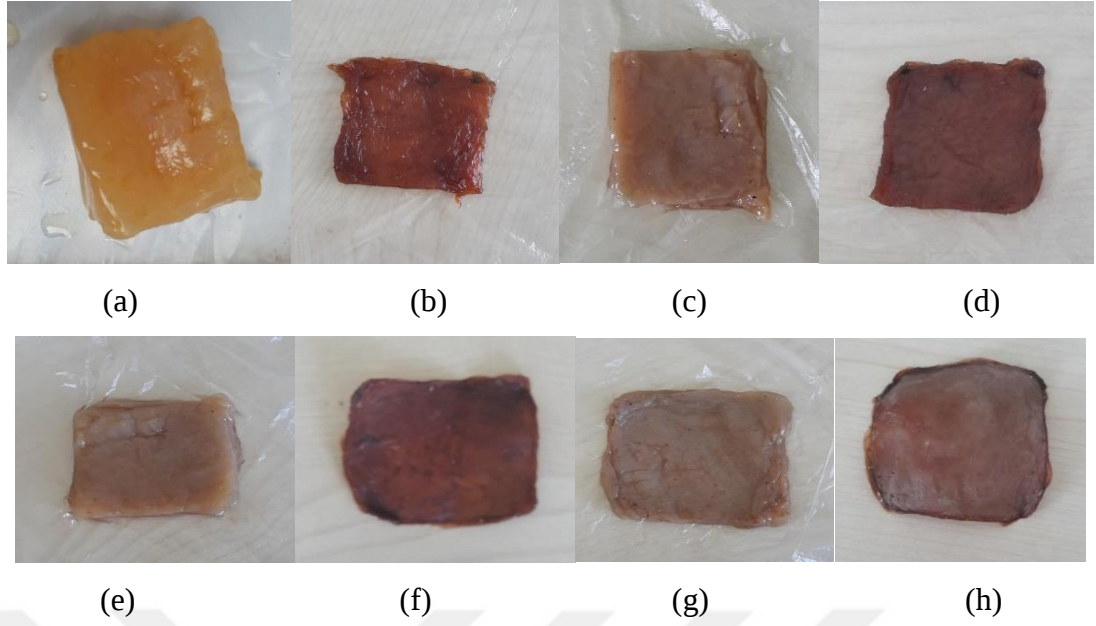
14 gün sonrasında hazırlanan düzenek yardımı ile BS içi boşluklu yapı (BSHW) üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda BSHW kalınlığının ve çapının farklı enjektörler kullanılarak değiştirilebileceği gözlemlenmiştir. Şekil 4.6 içi boşluklu yapı şeklinde BS üretimi (BSHW) için hazırlanan düzenek ve üretim sağlanan BS yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.6. (a)BSHW üretim ortam düzeneği üstten görünüşü, (b)BSHW üretim ortam düzeneği yandan görünüşü, (c)BSHW üstten görünüşü, (d)BSHW cam baget üzerindeki görünüşü

4.6. Bakteriyel Selüloz Tabakasının Su Alımı ve Kaybı Sonrası Boyut Değişimi Analizi Bulguları

Bakteriyel selüloz tabakasının su alımı ve kaybı sonrası boyut değişiminin gözlenmesi amacı ile yapılan analize ait resimler şekil 4 .7' de verilmiştir.



Şekil 4.7. Boyut değişimi analizi işlem basamakları sonucunda alınan göreseller (a) 14BSY, (b)14/6BSK, (c)6/1BSY, (d)1/16BSK, (e)16/6BSY, (f)6/16BSK, (g) 16/12BSY, (h)12/16BSK

Boyut değişimi analizinin en, boy, kalınlık, ağırlık ve hacimsel olarak değerlendirmesi çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Boyut değişimi analizi işlem basamakları sonucunda meydana gelen boyut ve ağırlık değişimleri

Ürün Kodu	Kalınlık (cm)	Boy (cm)	En (cm)	Ağırlık (g)	Hacim (cm ³)	Hacim (%)
14BSY	1,9	4,5	4,5	32,970	38,475	100
14/6BSK	0,3	4,1	4,1	4,132	5,043	13,1
6/1BSY	0,6	4,5	4,5	13,061	12,15	31,6
1/16BSK	0,3	3,9	3,9	3,716	4,563	11,9
16/6BSY	0,8	4,3	4,3	14,707	14,792	38,5
6/16BSK	0,1	4	4	0,817	1,6	4,2
16/12BSY	0,4	4	4	4,790	6,4	16,6
12/16BSK	0,1	3,9	3,9	0,288	1,521	3,9

Şekil 4.7 ve çizelge 4.1 incelendiğinde kurutma ve saf su alımı sonrası her işlem basamağında bir diğer su almış ve bir önceki kuru ağırlığına göre azalma

gözlemlenmiştir. Bunun yanısıra 6 saat saf suda bekletilip, 16 saat kurutma uygulanması sonrası numune ile, bir diğer işlem olan 12 saat suda bekletme ve 16 saat kurutulmuş numune ile aynı kuru ağırlığa sahip olduğu gözlenmektedir. Meydana gelen bu eşitliğin, 6 saat saf suda bekletme sonrası elde edilen numune içerisindeki safsızlıkların tamamı ile temizlendiğinden dolayı meydana geldiği düşünülmektedir. BS tabakalarının %98'inin su olduğu düşünüldüğünde yapılmış olan 16 saatlik kurutmanın numunenin kuruması için yeterli olmadığı gözlenmiştir. Hacim yüzdelere bakıldığında ilk durumda 14 gün sonunda kültür ortamından alınan yaş BS yapının hacminin %100 olduğu düşünüldüğünde son durumda yani 12/16BSK'da hacminin %3,9 olarak kaldığı gözlenmiştir. Art arda yapılmış suda bekletme ve kurutma işlemi sonucunda BS yapının hacminin %96,1'ini kaybettiği görülmüştür.

Numunelerin kuru ağırlığının kurutma işlemi öncesi yaş ağırlığına göre daha az olması malzemenin gözenekli yapıya sahip olduğunda ispatlamaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda BS yapının vücut içinde kullanılacağı durumlarda yaş halde paketlenmesi gerektiği görülmektedir. Aksi halde kuru BS yapının boyut değişimindeki düzensizliklerin kontrol edilebilmesi son derece zordur.

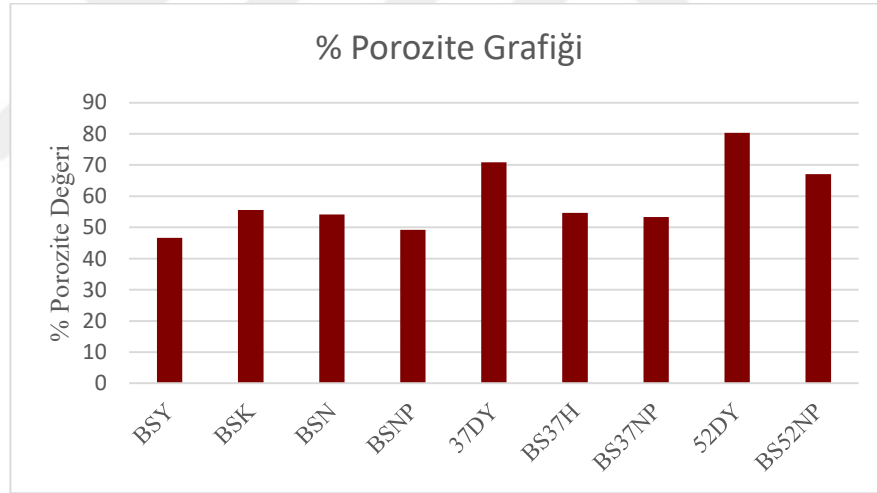
4.7. BS ve BS Kompozit Yapıların Porozite Analizi Bulguları

BS tabakalarının ve BS kompozit yapıların vakumlama işlemi öncesi ağırlığı ve vakumlama işlemi sonrası ağırlık, hacim ve porozite değerleri çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. BS tabakalarının ve BS kompozit yapıların vakum öncesi ve sonrası ağırlık, hacim, porozite değerleri

Numune Kodu	İlk ağırlık	Vakum Sonrası ağırlık	Vakum Sonrası hacim	% Porozite
BSY	0,197	0,267	0,15	46, 7
BSK	0,13	0,165	0,063	55, 6
BSN	0,186	0,29	0,192	54,2
BSNP	0,256	0,389	0,27	49,3
37DY	0,145	0,23	0,12	70,9
BS37H	0,267	0,385	0,216	54,7
BS37NP	0,694	0,854	0,3	53,3
52DY	0,274	0,396	0,152	80,3
BS52NP	0,642	0,89	0,37	67

BS tabakalarının ve BS kompozit yapıların % porozite grafiği şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. BS tabakalarının ve BS kompozit yapıların % porozite grafiği

Yaş BS yapılarının içerisinde su olmasından kaynaklı olarak kuru BS yapılarına oranla daha az poroziteye sahip oldukları görülmektedir. Sodyum hidroksit işlemi sonrası elde edilen BS yapılarının hidrojen peroksit işlemi sonrası elde edilen BS yapılarına göre poroziteleri fazladır. Bunun nedeninin kullanılan NaOH miktarının H_2O_2 'ye göre daha az olması sebebiyle BS'nin kimyasal yapısına daha az zarar vermektedir. Ayrıca H_2O_2 'nin diğer ağartma kimyasallara göre yapıya daha az zarar verdiği bilinmekle birlikte porozite sonuçlarında da görüldüğü üzere yapıya bir

miktar zarar vermiştir (Suryanto vd., 2018). Dokusuz yüzeylere ait olan porozite sonuçları BS yapılarının porozite sonuçlarına göre fazla olmasının sebebi mevcut birim alandaki dokusuz yüzey alanının daha geniş olmasından ve BS yapılarına oranla daha hacimli yapılara sahip olmasından kaynaklanmaktadır. 37 g/m² 80/20 PP/VI dokusuz yüzey- ham BS kompozit yapısının ham BS yapısından porozitesinin fazla olması dokusuz yüzeyin kompozit yapısının porozitesini arttırıcı etki etmesinden kaynaklanmaktadır.

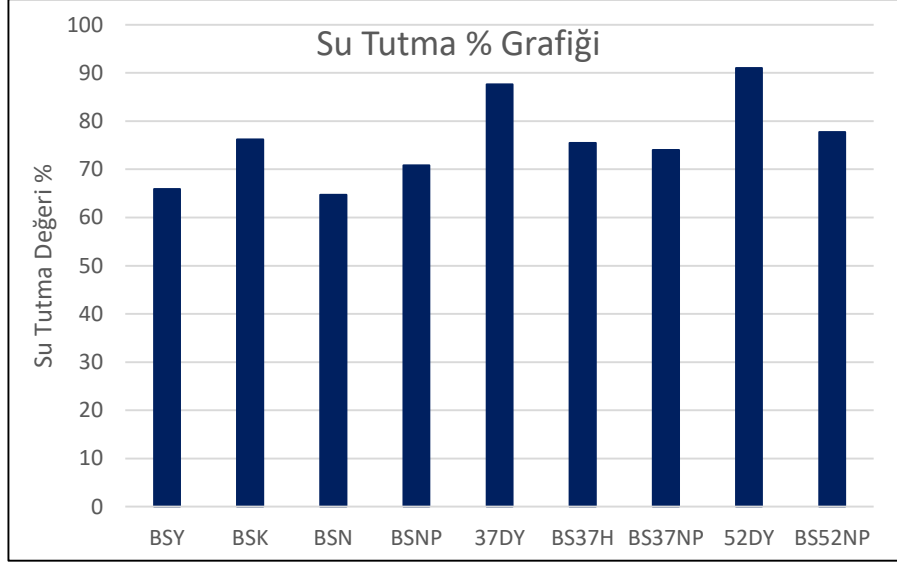
4.8. BS ve BS Kompozit Yapıların Su Tutma Kapasitesi Analizi Bulguları

BS tabakasının ve BS-kompozit yapıların su tutma kapasitesinin ölçülmesi için yapılmış olan analiz sonucu yaş, kuru ağırlık ve su tutma kapasiteleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Numunelerin Yaş, Kuru Ağırlıkları ve Su Tutma Değerleri

Numune Kodu	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Su Tutma Değeri %
BSY	0,264	0,09	66
BSK	0,126	0,03	76,2
BSN	0,17	0,06	64,8
BSNP	0,24	0,07	70,8
37DY	0,105	0,013	87,6
BS37H	0,159	0,039	75,5
BS37NP	0,223	0,058	74
52DY	0,19	0,017	91,1
BS52NP	0,31	0,069	77,8

Şekil 4.9’de BS tabakasının ve BS-kompozit yapıların su tutma değerleri grafiği verilmiştir.

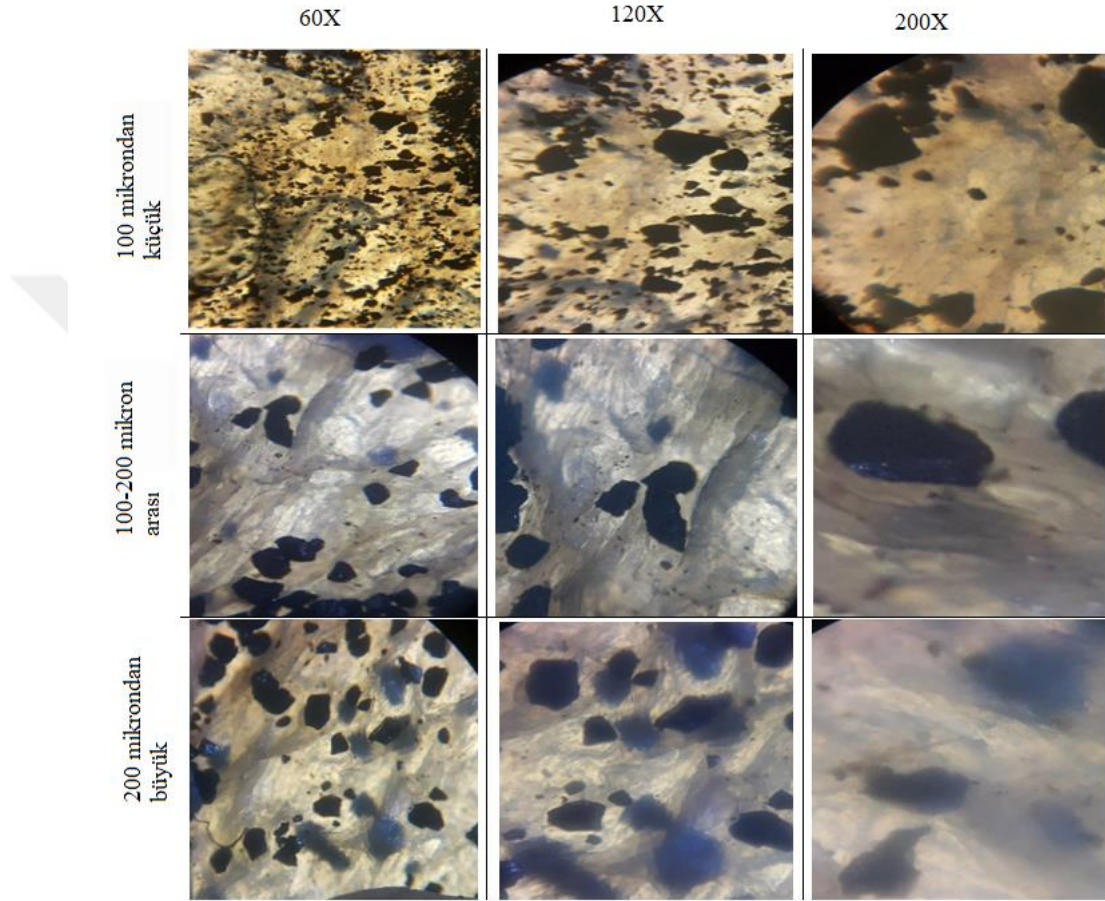


Şekil 4.9. Numunelerin % su tutma grafiği

Şekil 4.9 ve çizelge 4.3'e bakıldığında ham, NaOH ve H₂O₂ işlemi sonrası elde edilen BS tabakalarında en fazla su tutma kapasitesine ham BSK yapısının sahip olduğu gözlenmektedir. Sodyum hidroksit ve hidrojen peroksit işlemi ise yapının su tutma kapasitesini düşürmüştür. Porozite sonuçları da bu sonuçları destekler niteliktedir. Yapılan bu işlemler sonucu porozitenin azalması ile bağlantılı olarak BS yapısının su tutma kapasitesi de düşmüştür. 37 g/m² 80/20 PP/VI dokusuz yüzey, 37 g/m² 80/20 PP/VI dokusuz yüzey- ham BS kompozit ve 37 g/m² 80/20 PP/VI dokusuz yüzey -hidrojen peroksit sonrası BS kompozit yapıların su tutma kapasiteleri incelendiğinde en yüksek su tutma kapasitesinin dokusuz yüzeye ait olduğu gözlenmektedir. Bunun sebebi dokusuz yüzeyin su ile temas eden alanının BS yapılara göre daha fazla olmasından ve BS yapıların kuruma işlemi sonrası daha sık ve hacimsiz bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak 37 g/m² 80/20 PP/VI dokusuz yüzey ile yapılan kompozit yapılar incelendiğinde, ham ve hidrojen peroksit işlemi sonrası BS yapılarının dokusuz yüzeyi sarmaları sebebi ile, dokusuz yüzey içinde bulunan viskoz elyafının su tutma kapasitesini hidrojen peroksit sonrası BS ve ham BS ye göre arttırdığı gözlemlenmiştir. Aynı etkiler, 52 g/m² PP/VI/CO- Peroksit sonrası BS kompozit yapı içinde gözlenmekle birlikte içerikte mevcut olan viskoz ve pamuk liflerinin su tutma kapasitesinin yüksek olması sebebi ile su tutma kapasitesini arttırdığı gözlenmiştir. Porozite analizi sonuçları bu sonuçları desteklemektedir.

4.9. Toz Geçirgenliği Analizi Bulguları

Toz geçirgenliği analizinde, 100 mikrondan küçük, 100-200 mikron arası ve 200 mikrondan büyük kömür tozları mikroskop altında 60x, 120x ve 200x büyütme oranlarında alınmış olan görüntüleri Şekil 4.10'da verilmiştir

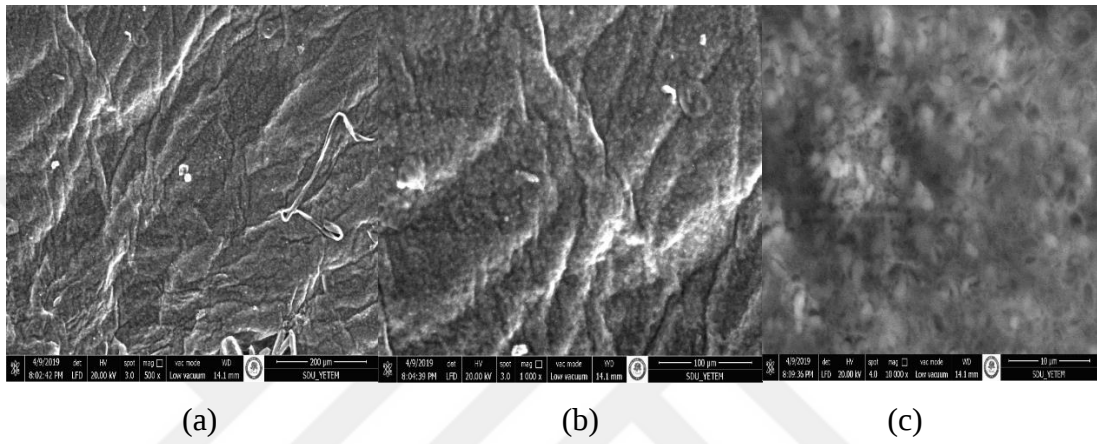


Şekil 4.10. 100 mikrondan küçük, 100-200 mikron arası ve 200 mikrondan büyük kömür tozları mikroskop altında 60x, 120x ve 200x büyütme sonrası SEM görüntüleri

Yukarıda verilen görüntüler incelendiğinde yara örtüsü tasarımında kullanılacak olan BS yapısının vakumlama işlemi sonrası farklı büyüklüklerdeki kömür tozlarını içerisine almadığı görülmektedir. Bu bulgu yara iyileşme süresince yaranın dış etmenlerden korunması ve bariyer görevi görmesi açısından önem arz etmektedir.

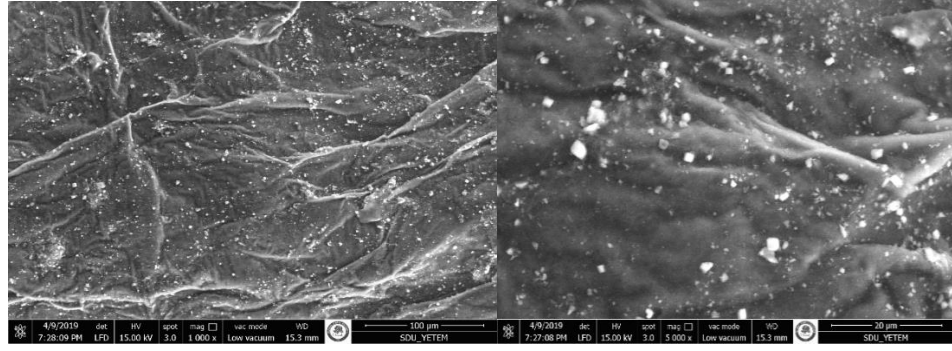
4.10. SEM ve EDS Analizi Bulguları

Ham BS, NaOH sonrası BS, H₂O₂ uygulaması sonrası BS, ham BS-pamuk tülbent kompozit, H₂O₂ uygulaması sonrası BS-pamuk tülbent kompozit, 100-200 mikron arası kömür tozu serpilmiş ve vakumlanmış ham BS ve 100-200 mikron arası kömür tozuna ait farklı bytmelerdeki SEM görüntüleri verilmiştir. şekil 4.11’de ham BS yapının SEM görüntüleri verilmiştir.



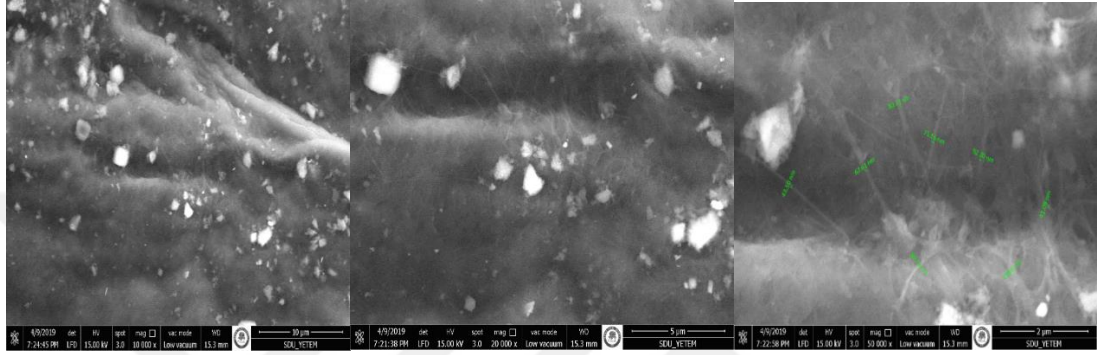
şekil 4.11. (a)500x, (b)1000x, (c)10000x kat büyütülmüş ham BS yapısının SEM görüntüleri

Sodyum hidroksit uygulaması sonrası BS yapının SEM görüntüleri şekil 4.12’de verilmiştir.



(a)

(b)



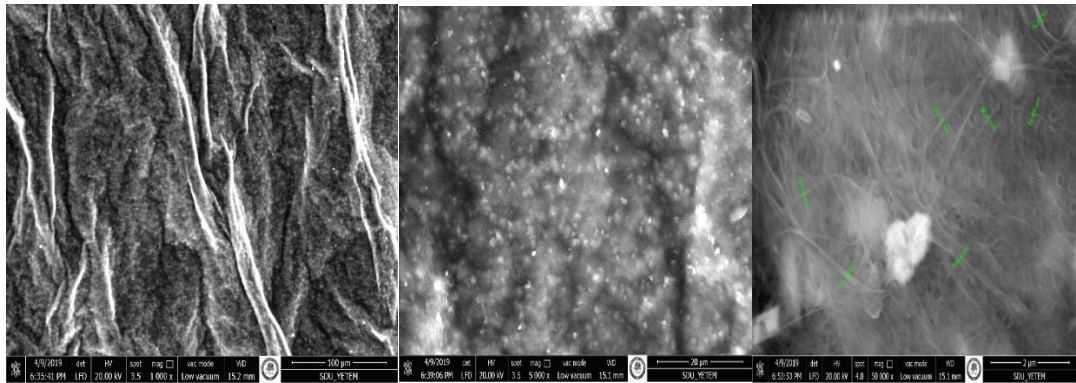
(c)

(d)

(e)

Şekil 4.12. (a)1000x, (b)5000x, (c)10000x, (d)20000x, (e)50000x kat büyütülmüş Sodyum Hidroksit uygulaması sonrası BS SEM görüntüleri

Hidrojen peoksit uygulaması sonrası BS yapının SEM görüntüleri Şekil 4.13’de verilmiştir.



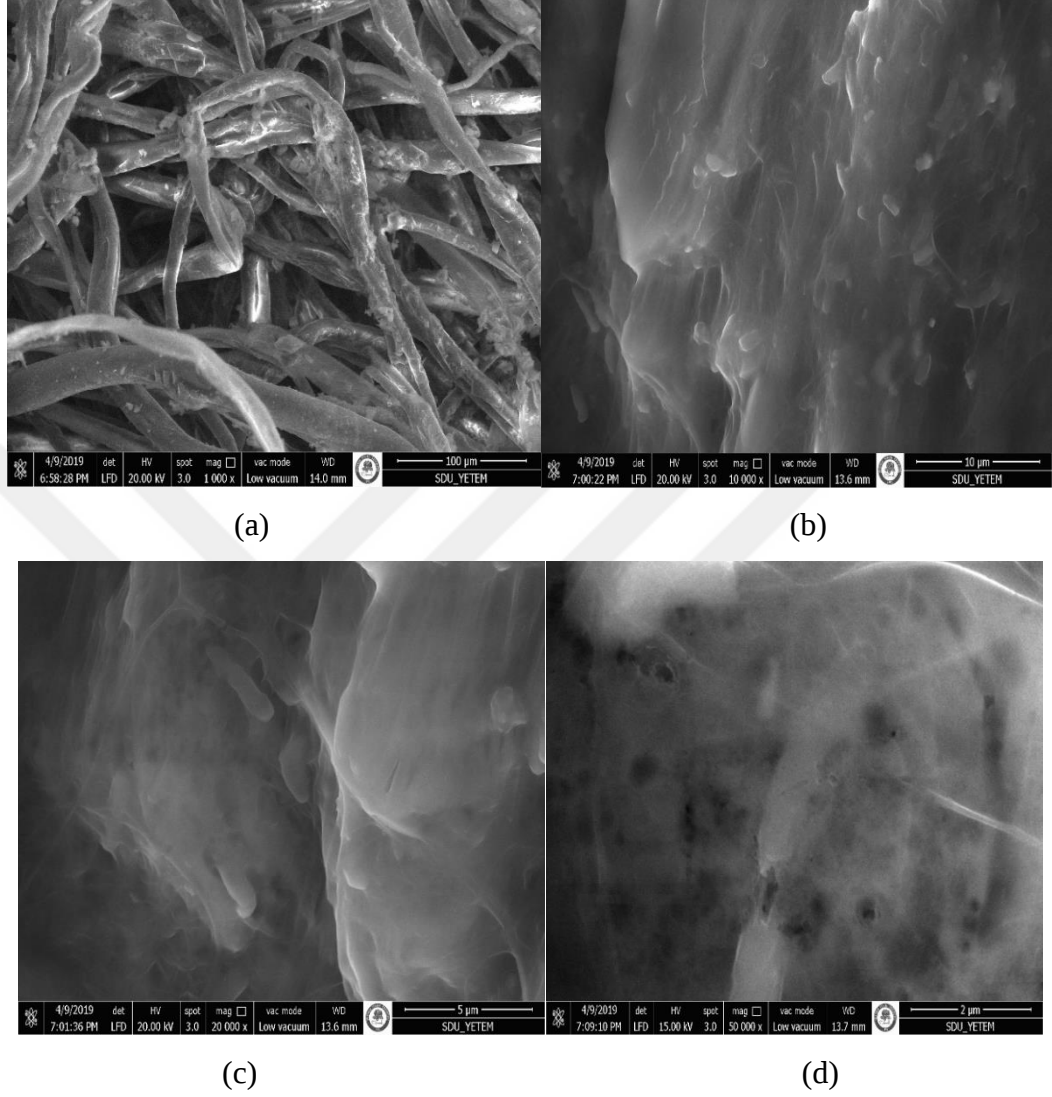
(a)

(b)

(c)

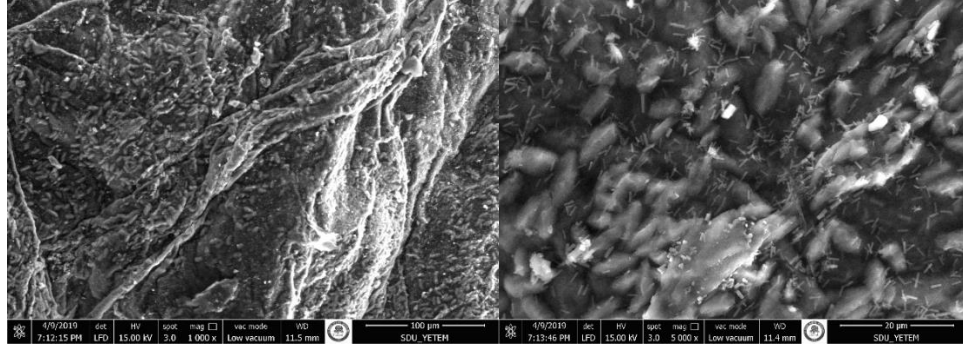
Şekil 4.13. (a)1000x, (b)5000x, (c)50000x kat büyütülmüş Hidrojen Peroksit uygulaması sonrası BS yapısının SEM görüntüleri

Ham BS ile pamuk tlbentden elde edilmiş kompozit yapıya ait SEM görüntüleri şekil 4.14’de gösterilmiştir.



şekil 4.14. (a)1000x, (b)10000x, (c)20000x, (d)50000x kat büyütülmüş Ham BS-Pamuk tülbent kompozit SEM görüntüleri

Ham BS ile pamuk tlbentden elde edilmiş kompozit yapıya uygulanan hidrojen peroksit işlemi sonrasına ait SEM görüntüleri şekil 4.15’de gösterilmiştir.

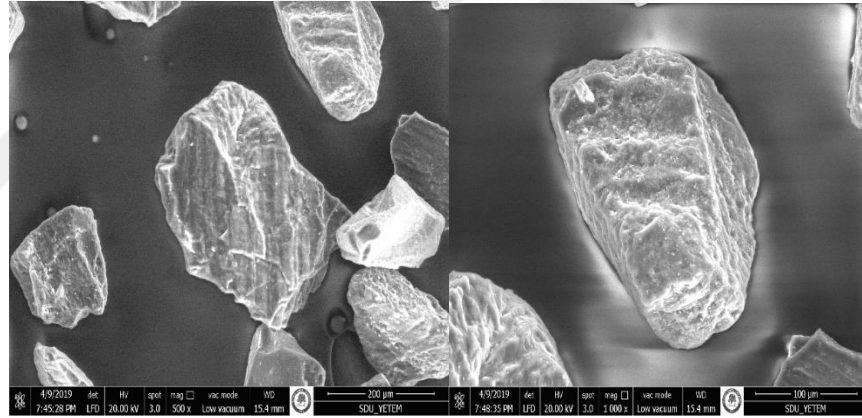


(a)

(b)

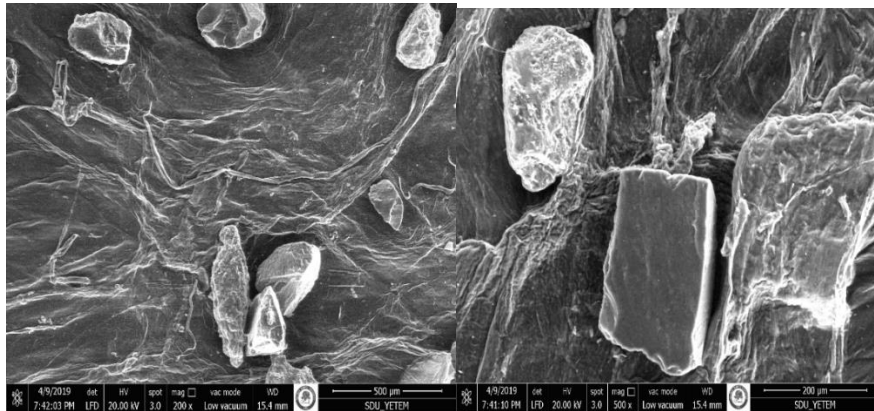
Şekil 4.15. (a)1000x, (b)5000x kat büyütülmüş hidrojen peroksit uygulaması sonrası BS -Pamuk tülent kompozit SEM görüntüleri

Ham BS üzerine kömür serpilmiş ve daha sonra vakumlanmış yapının SEM görüntüleri Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



(a)

(b)

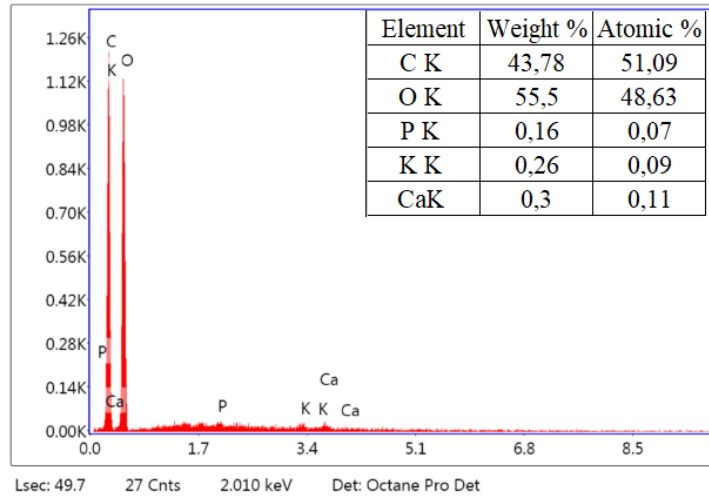


(c)

(d)

Şekil 4.16. (a)500x, (b)1000x kat büyütülmüş kömür tozu ve (c)200x, (d)500x üzerine kömür serpilmiş ve vakumlanmış BS SEM görüntüleri

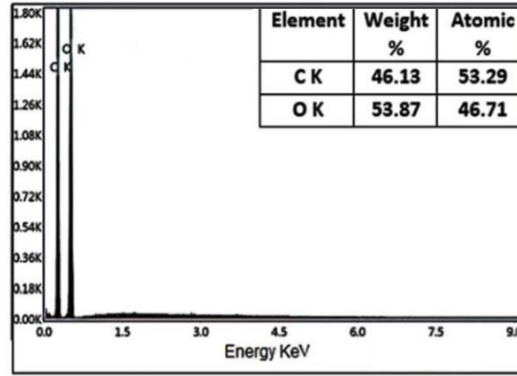
SEM görüntüleri incelendiğinde ham BS yapılarında büyütme oranının artması ile birlikte lif yapıları net bir şekilde görüntülenememektedir. Ancak hidrojen peroksit ve NaOH uygulanmış olan BS ve BS kompozit yapılarında literatürde de belirtildiği gibi nano boyutta selüloz liflere sahip olduğu görüntülenmektedir. Şekil 4.12.e ve 4.13.c’de bulunan görüntülerden ortalama lif çapının ~65 nanometre olduğu ölçülmüştür. Kömür tozunun BS yapı üzerine yapışmış ve enkapsüle olmuş kısımlar olduğu görülmektedir. Yapının kendiliğinden lifli olması vücut içi uygulamalarda doku gereksinimlerine son derece uygundur. Ekstra nanolif üretmeye gerek yoktur, bu durum maliyeti düşürmektedir. Ayrıca organik kirletici kullanılmaması sebebi ile yapıda kimyasalların bulunmayacağı ve daha ekolojik bir ürün elde edileceği düşünülmektedir. Ayrıca görüntülenen nano BS liflerinin boyutsal ölçümleride ilgili görüntülerde hesaplanmıştır. Bu konulara ek olarak 100-200 mikron boyutundaki kömür tozlarının BS yapısından vakumlama işlemi sonrası geçmediğinin tespit edilmesi amacı ile alınan SEM görüntülerinde mikron boyutundaki tozların yüzeyde kaldıkları toz geçirgenliği testinin yanısıra SEM görüntüleri ile de desteklenmiştir. Ham BS yapısından alınan EDS analiz bulguları şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Ham BS yapısının EDS analizi bulguları

Yapılan EDS analizi sonucunda selüloz yapısından dolayı BS yapısında karbon ve oksijen atomları bulunurken BS yapısının oluşumu esnasında glukoz-6 fosfat ve glukoz-1 fosfat yapılarının bulunmasından kaynaklı olarak fosfor atomları görülmektedir. Bunun yanısıra üretim esnasında suda bulunan kalsiyum

atomlarından kaynaklı olarak kalsiyum atonmları analizde görülmesinin yanısıra ölçüm esnasında BS ile insan elinin temas etmesinden kaynaklı olarak potasyum atomları görülmektedir. Şekil 4.18’de işlem görmemiş pamuk elyafın EDS sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.18. İşlem görmemiş pamuk elyaf EDS verileri (İbrahim vd., 2017)

İçeriğin karbon ve oksijenden oluşması pamuğun yapısındaki selülozdan kaynaklanmaktadır. Karbon ve oksijen dışında element olmamasının sebebi pamuğun işlem görmemiş (ham) olmasından ve herhangi bir kirletici etkiye maruz kalmamasından kaynaklanmaktadır.

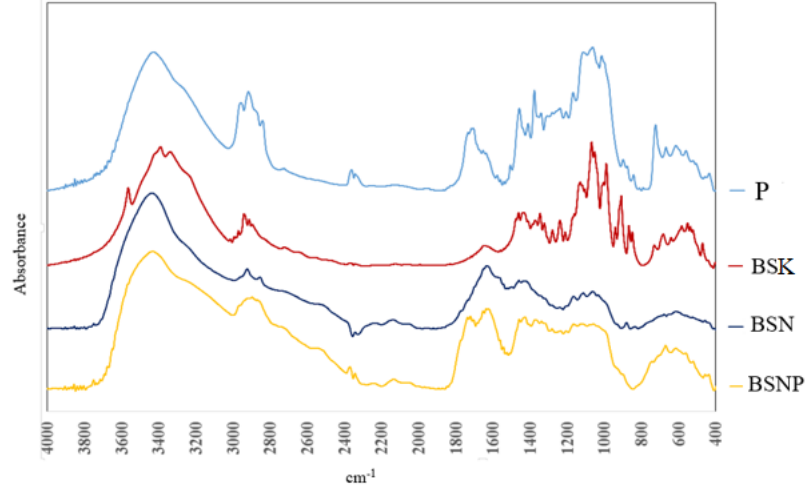
4.11. FT-IR Analizi Bulguları

Yapılan FT-IR analizleri sonucunda ham BS, sodyum hidroksit uygulanmış olan BS, sodyum hidroksit işlemi sonrası hidrojen peroksit uygulaması yapılmış olan BS yapısının, 37 g/m² 80/20 PP/VI dokusuz yüzey- ham BS kompozit ve 37 g/m² 80/20 PP/VI dokusuz yüzey –H₂O₂ sonrası BS kompozit yapılarının, 52 g/m² PP/VI/CO-H₂O₂ sonrası BS kompozit yapı ve 52 g/m² PP/VI/CO- ham BS kompozit yapılarının aralarındaki kimyasal grupların farklılıklarının anlaşılması için yapılmış ve sonucu verilmiştir. Yapıların analizi yapılırken Çizelge 4.4’de verilen bağ, dalga sayısı eşleştirilmesi kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 4.4. FT-IR analizi bağ, dalga sayısı eşleştirilmesi (Schwanninger vd., 2004; Yang vd., 2007; Gea, 2011; Tsalagkas, 2015; Greenriver, 2019)

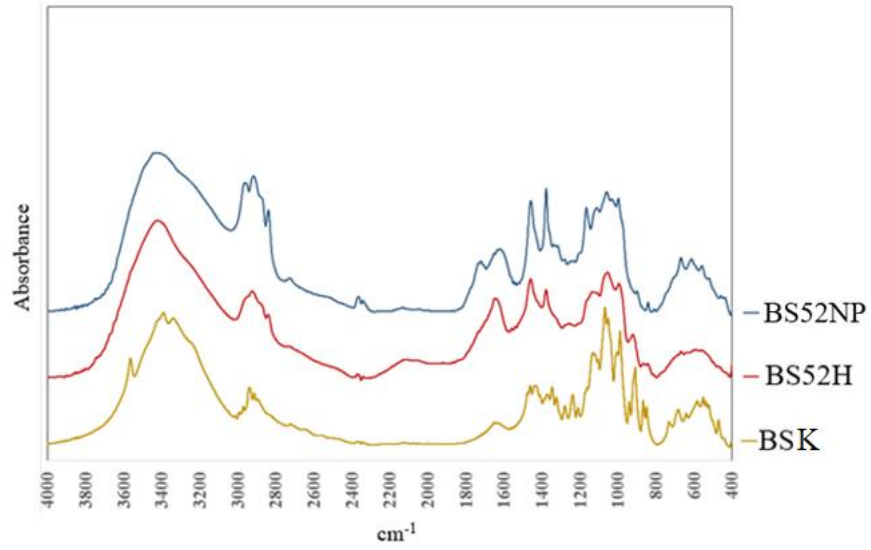
Bağ	Dalga Sayısı cm^{-1}	Referanslar
$\nu(\text{O-H})$ Cellulose II	3495	Gea, 2011
$\nu(\text{O-H})$ Cellulose II	3443	Gea, 2011
$\nu(\text{O-H})$ Cellulose I	3345	Gea, 2011
$\nu(\text{O-H})$ Cellulose I	3278	Gea, 2011
$\nu(\text{C-H})$ Cellulose II	2955	Tsalagkas, 2015
$\nu(\text{C-H})$ Amorf Selüloz	2924-2926	Tsalagkas, 2015
$\nu_a(\text{C-H})$ Selüloz I-II	2853	Tsalagkas, 2015
$\nu(\text{C=O})$ Hidrojen Peroksitten Kaynaklanan Karboksilik asit	1700-1730	Greenriver, 2019
$\nu(\text{C=O})$	1655-1685	Tsalagkas, 2015
$\text{C}(\text{O-H absorbe edilen suya ait})$	1635-1645	Tsalagkas, 2015
Karakteristik Lignin Noktası	1510	Schwanninger vd., 2004
$\text{O-CH}_3(\text{Methoxyl-O-CH}_3)$	1470-1430	Yang vd., 2007
$\delta_d(\text{O-H})$ Selüloz I	1455	Tsalagkas, 2015
$\delta(\text{C-H})$ Selüloz II	1376	Tsalagkas, 2015
$\delta(\text{C-H})$ Selüloz I	1373	Tsalagkas, 2015
$\delta_d(\text{O-H})$	1280	Tsalagkas, 2015
$\delta_d(\text{COH})$ Selüloz I	1236	Tsalagkas, 2015
$\nu_s(\text{COC})$ Glikozit	1205	Tsalagkas, 2015
ν = Gerilmiş ; δ = Eğilmiş ; δ_d = Düzlemsel Eğilmiş ; ν_a = Asimetrik Gerilmiş ; ν_s = Simetrik Gerilmiş;		

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen P, BSK, BSN ve BSNP kodlu numunelere ait analiz sonucu şekil 4.19’da verilmiştir.



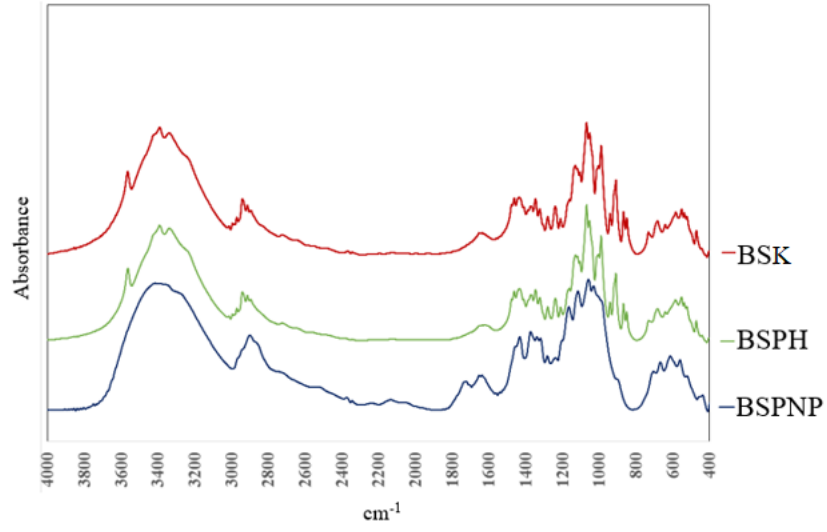
Şekil 4.19. P, BSK, BSN ve BSNP kodlu numenelere ait FT-IR analizi

BSK, BS52H ve BS52NP kodlu numelere ait analiz sonucu, Şekil 4.20’de verilmiştir.



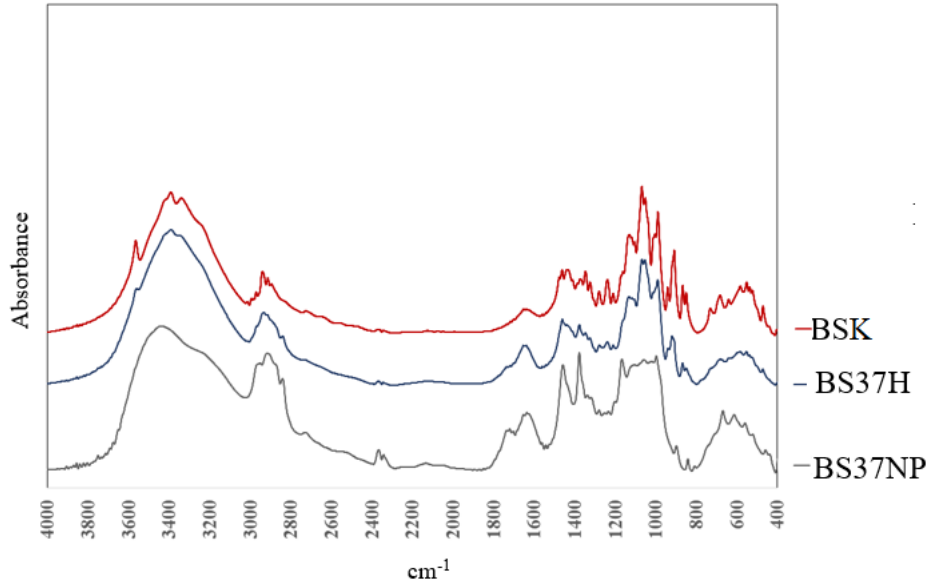
Şekil 4.20. BSK, BS52H ve BS52NP kodlu numenelere ait FT-IR analizi

BSK, BSPH, BSPNP kodlu numelere ait analiz sonucu, Şekil 4.21’de verilmiştir.



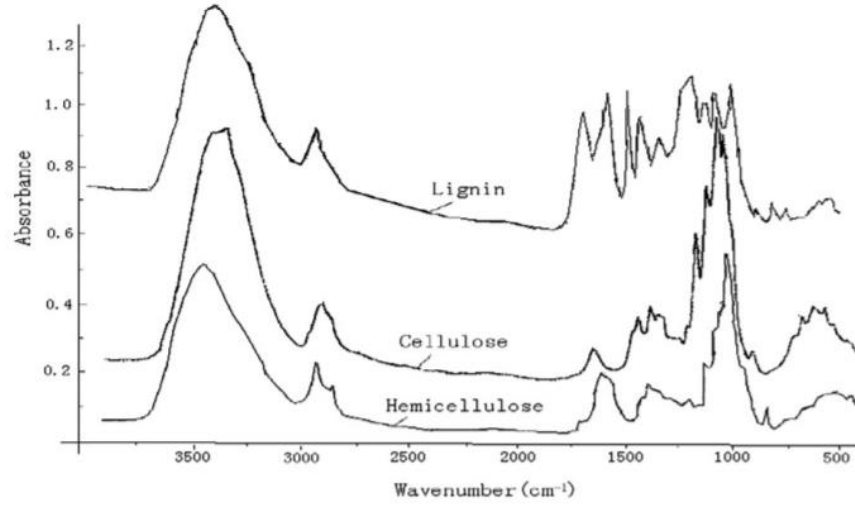
Şekil 4.21. BSK, BSPH, BSPNP kodlu numenelere ait FT-IR analiz

BSK, BS37H, BS37NP kodlu numunelere ait analiz sonuçları Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. BSK, BS37H, BS37NP kodlu numenelere ait FT-IR analiz

Şekil 4.23’de literatürde verilmiş olan lignin, selüloz, hemiselüloz FT-IR analizine (Yang vd., 2007) ait grafik verilmiştir.



Şekil 4.23’de lignin, selüloz, hemiselüloz FT-IR analiz (Yang vd., 2007)

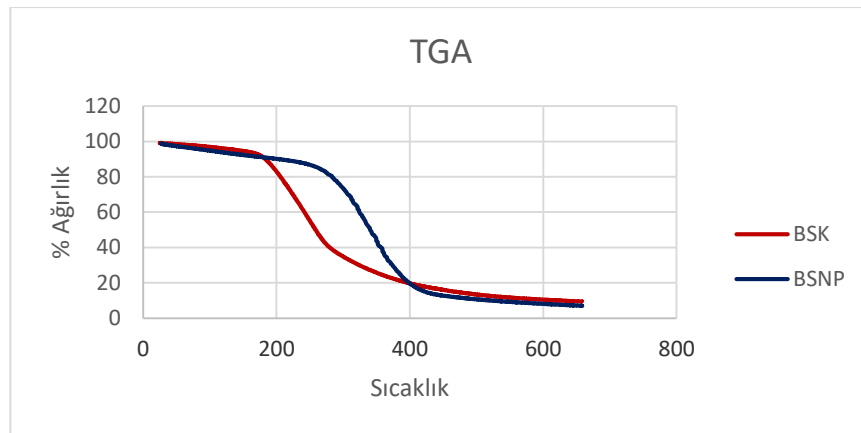
Yöntem kısmında numunelerin açıklaması verilmiştir. P yapısı hidrofil pamuk tülbent, BSK yapısı ham BS, BSN yapısı NaOH işlemi uygulanmış BS ve BSNP yapısı da NaOH işlemi sonrası H_2O_2 uygulaması yapılmış olan BS tabakası olarak belirtilmiştir. Bu dört yapı incelendiğinde nerede ise aynı özelliğe sahip yapılar oldukları şekilden görülmektedir. Ancak BSK yapısının yani ham BS yapısının diğerlerinden farklı olarak 3389 ve 3337 cm^{-1} dalga sayısında gerilmiş O-H selüloz I pikleri verdiği gözlenmektedir. Diğer 3 yapı içerisinde ise selüloz I piklerine karşılık sodyum hidroksit(selüloz I hücrelerinin selüloz II hücrelerine dönüşmesini sağlamaktadır) uygulamasından geçtikleri için bu pikler 3400 cm^{-1} ’lerde tek bir pik olarak görünmekte ve bu piklerinde karşılığı gerilmiş O-H selüloz II olarak bilinmektedir. Buna ek olarak, H_2O_2 uygulaması görmüş olan P ve BSNP yapılarında da H_2O_2 ile selülozik yapının etkileşiminden dolayı $1700\text{-}1730\text{ cm}^{-1}$ dalga sayılarında ortaya çıkan gerilmiş C=O bağlarının yani karboksilik asit gruplarının olduğu gözlenmiştir. P yapısında görülmemekle birlikte BSK, BSN ve BSNP yapılarında $1635\text{-}1645\text{ cm}^{-1}$ dalga sayılarında C(O-H) yani absorbe edilen suya ait O-H grupları görülmektedir ve yani FT-IR analizinde verilmiş olan BS yapılarının tam olarak kurumadığı bu piklerden anlaşılmaktadır. 1510 cm^{-1} ve $1470\text{-}1430$ dalga sayıları civarında BSK, BSN ve BSNP den farklı olarak P yapılarında karakteristik lignin pikleri görüntülenmiştir(Schwanninger vd 2004; Yang vd., 2007). Bu sonuç, BS yapılarının lignin içermediklerinin ispatıdır. 1455 cm^{-1} dalga sayısında selüloz I yapılarında görülen O-H bağları tüm yapılarda gözlenmiştir ve bu sonuçta BS

tabakalara NaOH uygulaması yapılsa dahi tüm selüloz I'lerin selüloz II'ye dönüşmediğini göstermektedir.

Ham BS ile kaplanılmış olan BS52H, BSPH ve BS37H kompozit yapılarının FT-IR analizi yapısı BSK yani ham BS ile aynı özellikleri taşıırken, sodyum hidroksit işlemi sonrası hidrojen peroksit uygulaması görmüş olan BS ile kaplanmış olan BS52HP, BSPNP, BS37NP numunlerinin FT-IR karakteristikleri BSNP ile aynı özelliği taşımaktadır. Bunun yanı sıra tüm BS yapılarında absorbe edilmiş su pikleri görülmektedir. Bu durum BS'nin su ve dolayısıyla sıvı emiciliğinin yüksek olduğunu desteklemektedir.

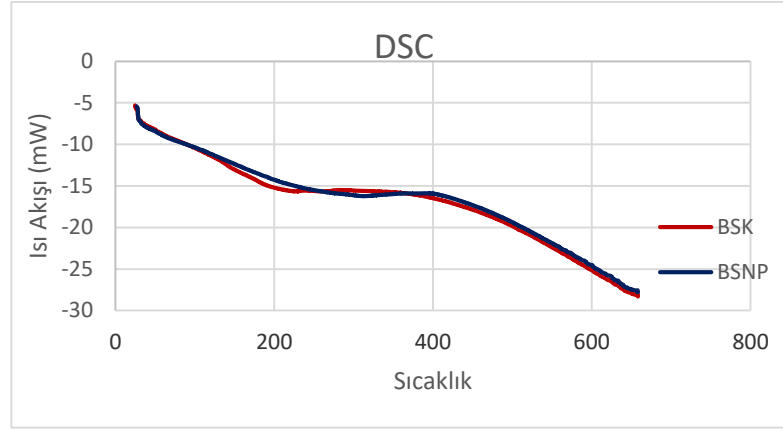
4.12. Termal Analiz Bulguları

Elde edilen yeni ürünlerin yapılarına bağlı olarak ısıl bozulma özelliklerindeki değişimler daha sonraki sterilizasyon ve kurutma gibi ısıl işlemlerde uygulanacak maksimum sıcaklığın tespiti amacıyla termal analiz incelenmiştir. Tg sıcaklık değeri polimer yapıya özgü bir değerdir ve bilindiği gibi polimer yapıların camsı geçiş sıcaklığını ifade eder. Bu değer üzerindeki sıcaklığa maruz kalan polimer yapı erir. Bu sebeple ileriki aşamalarda sterilizasyon, kurutma gibi ısıl işlemlere maruz kalacak olan biyo-polimerin Tg değerinin tespit edilmesi bu çalışma için önem arz etmektedir. Ham bakteriyel selüloz yapı ve sodyum hidroksit işlemi sonrası peroksit tabi tutulmuş bakteriyel selüloz yapı TGA analizi grafiği Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Bakteriyel selüloz TGA grafiği

Ham bakteriyel selüloz yapı ve sodyum hidroksit işlemi sonrası peroksit tabi tutulmuş bakteriyel selüloz yapının DSC analiz grafiği şekil 4.25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Bakteriyel Selüloz DSC grafiği

Şekil 4.24’deki grafik incelendiğinde 180 °C’ye kadar yaklaşık %10 luk ilk kütle kaybı gerçekleşmektedir. Bu durum BS’nin yüzeyinde bulunan nemin uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Numuneler grafikte görüldüğü gibi 2 aşamalı bozunmaya uğramıştır. Sırasıyla başlangıç ve bitiş bozunma sıcaklıkları BSK için 190-375 °C, BSNP için 265-385 °C dir. 600 °C’ye kadar ısıtılan numuneler %5-10 aralığında ısıl karalı haldedirler (Küçükçapraz, 2011).

Şekil 4.25’deki grafik incelendiğinde numunelerde 130 °C civarında su kaybı nedeniyle endotermik bir tepe oluşmuştur. 350 °C civarında her iki numunede de geniş ekzotermik bir tepe görülmektedir. Bunun nedeni susuz glukozlardan karbon veya monoksit karbon veren birimlerin karbonil ve karboksilik bağlara parçalanması nedeni ile kısmi pirolizden kaynaklanmaktadır. Tg değerleri grafikten bakıldığında yaklaşık olarak 220°C dir (Barud vd., 2007).

4.13. Mukavemet Testi Bulguları

5 kN’luk load cell ile yaş ve kuru numunelerde sağlıklı sonuç elde edilememiştir. Yaş BS’nin hidrojel yapıda olması ve termal analiz sonuçlarında da görüldüğü üzere kristalin yapıda olması sebebi ile yük altında bir süre sonra çenelerden kayarak kurtulmuş ve kopma gerçekleşmemiştir. Pamuk kompozit yapı (BSPH) üzerinde

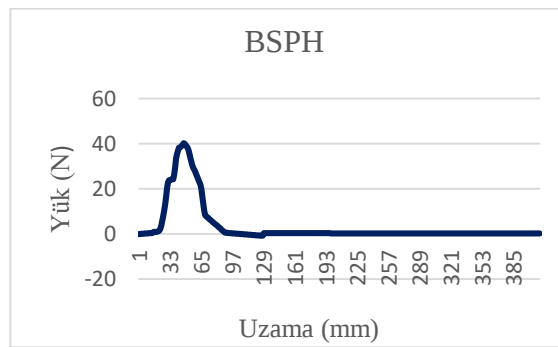
yoğunlaşmış olup yüzeydeki BS katmanlara ayrılmıştır ve pamuk elyaf katmanlara ayrılarak kopma meydana gelmiştir. 15'e yakın deneme yapılmış olup 2cm x 5cm boyutlarında kesilmiştir. Yırtılma mukavemetinde makasla kesilen çentikler sonrası BS yapıda katmanlar halinde sıyrılma gerçekleşmiş ve yırtılma tamamen pamuk kompozit malzemede gerçekleşmiştir.

Çeneler arasına konulan bakteriyel selüloz ile pamuk kompozit yapıda kayma olması ve mukavemetli bir yapı olması sebebi 5 kN'luk yük ile analiz doğru sonuç vermemektedir. Şekil 4.26'da çeneler arasına yerleştirilmiş test sonrası kopmuş pamuk kompozit yapı görülmektedir.



Şekil 4.26. Çeneler arasında test sonrası kopmuş pamuk kompozit yapı

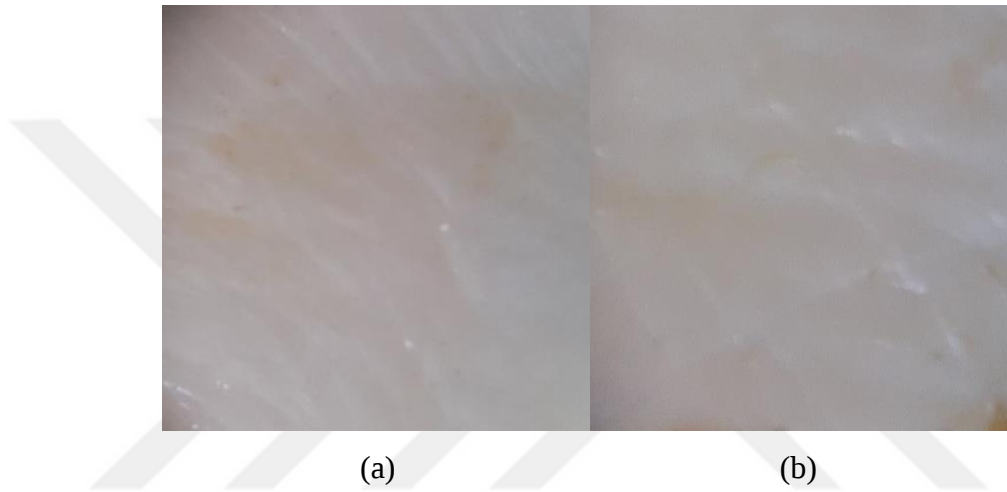
Sağlıklı elde edilen tek grafik şekil 4.27'de gösterilmiş olup, 40 N'dan sonra numune direkt parçalandığı için uzama verileri sağlıklı elde edilememiştir. Malzeme yapısal olarak oldukça kararlı karakterdedir.



Şekil 4.27. Pamuk kompozit yük/uzama grafiği

4.14. Sürtünme Direnci Bulguları

Sürtünme direnci testi sonucunda BS hidrojel ve sağlam bir yapıya sahip olduğu için herhangi bir aşınma veya deformasyon görülmemiştir. Yara örtüsü olarak kullanımında giysiler ile temasında herhangi bir sorun teşkil etmeyeceği görülmekle birlikte, sürtünmeye maruz kalan bölgelerde yara iyileşmesini etkileyecek bir durum oluşturmayacağı saptanmıştır. Şekil 4.28’de sürtünme öncesi ham BS 120x ve sürtünme sonrası ham BS 120x gösterilmiştir.



Şekil 4.28 (a) Sürtünme öncesi ham BS 120x, (b) Sürtünme sonrası ham BS 120x

4.15 Eğilme Açısı Bulguları

Yapılan eğilme açısı testinde dokusuz yüzeylerin eğilme oranının diğer yüzeylere göre daha fazla olduğu görülmüştür. 52DY yapı içerisindeki pamuk ve viskon oranının fazla olmasından dolayı daha fazla eğilmiş olup eğilme açısı düşüktür. BSPH yapı kompozit ve kuru olmasından kaynaklı eğilme açısı daha yüksektir. BSY, BS52NP, BS37NP yapıları yaş olmaları sebebi ile eğilme açıları düşüktür. Yara örtüsü olarak kullanılacak yapılarda eğilme açısının düşük olması beklenmektedir. Bu sayede hareket kabiliyeti yüksek olmaktadır. Şekil 4.29’da numunelerin eğilme davranışı gözlenmiştir.



Şekil 4.29. BS, BS kompozit yapılar ve dokusuz yüzeylerin eğilme davranışı

5. SONUÇ

Son yıllarda yapılan araştırmalar, selüloz ürettiği bilinen bakteriler üzerinde yoğunlaşmıştır. Böylece selüloz üretiminde alternatif bir yöntem olarak selülozun çeşitli mikroorganizmalardan biyosentez yoluyla elde edilmesi üzerinde durulmaktadır (Saxena , 1997; Park vd., 2003) ve araştırmacılar BS üretimi üzerine yönelmiştir. BS insan vücuduna zarar vermez ve çevre dostudur bu özellikleri sebebi ile dünyada BS üretimi gün geçtikçe popülerliğini artırmaktadır (Khalil vd., 2012; Jozala vd., 2016; Han vd., 2019). Biyopolimer araştırmalarında son yıllardaki gelişmeler, özellikle bakteriyel selüloz da dahil olmak üzere mikroorganizmalar tarafından üretilen biyopolimerlerin çeşitli uygulamalar için önemini ve potansiyelini göstermiştir. Çok yüksek su tutma, yüksek ıslak mukavemet, yüksek elastikiyet, saflık gibi benzersiz özellikleri ile özellikle BS biyomedikal alanda biyomateryal olarak kullanılabilir.

Bu çalışma kapsamında 14 gün sonunda kombu çayı kültüründe bakteriyel selüloz eldesi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra BS ve farklı içeriklerdeki dokusuz yüzeyler ile sandviç kompozit yapılar elde edilmiştir. Sandviç kompozit yapı ile üretim literatürde daha önce yapılmamış olup bu çalışmada ilk defa gerçekleştirilmiştir ve özellikle yara örtüsü olarak kullanımında dokusuz yüzeylerin katkılarının olumlu yönde olacağı görülmüştür. Üretimi sağlanmış olan BS tabakalarına temizleme işlemi amacı ile sodyum hidroksit ile muamele edilmesinin yanısıra sarımsak renkte olan BS tabakalarının ağartılması amacı ile hidrojen peroksit işlemi uygulanmıştır. Kompozit yapıların dış tabakalarında ham ve sodyum hidroksit sonrası hidrojen peroksit uygulaması yapılmış olan BS tabakaları kullanılmıştır. Statik kültür ortamında herhangi bir reaktör tasarımına gerek olmaksızın enjektör yardımı ile üretilmiş içi boşluklu yapı daha önce literatürde yapılmamış olup, gelecekte yapay damar üretiminde yapılacak çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

BS ve BS kompozit yapıların kimyasal yapılarının analizi için FT-IR, EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Farklı büyütme oranlarında alınan SEM analizleri ile birlikte üretilen BS yapısının nanolif boyutunda lif üretilip üretilmediği ve uygulaması yapılan ağartma ve temizleme işlemleri sonrası BS yapısında meydana gelen

değişimler belirlenmiştir. Su tutma, boyutsal değişim, porozite ve toz tutma analizleri ile BS yapısının tıbbi amaçlı kullanım özellikleri açısından yeterli olup olmadığına bakılmıştır. Bunların yanısıra kopma mukavemeti ve DSC analizleri de yapılmıştır.

Yapılan FT-IR analizi sonucunda BS yapılarının bitkisel kaynaklı selülozdan farklı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun en önemli ispatı ise bitkisel selülozun yapısında lignin gözlemlenirken BS tabakasında gözlemlenmemiş olmasıdır. Hidrojen peroksit ve sodyum hidroksit uygulaması yapılmış olan BS yapılarının ham BS yapılarında farklı karakteristik özellikler gösterdiği saptanmıştır. Üretimi yapılan BS kompozit yapıların ise en üst tabakada bulunan BS yapısının özelliğini göstermektedir. Tüm BS numunelerinde yapının yüksek su tutma özelliğinden dolayı emilmiş olan suya ait olduğu sonuçlarda gözlenmektedir.

Porozite, su tutma, boyut değişimi sonuçları birbirlerini desteklemektedir. Bunun yanısıra üretimi sağlanmış olan kompozit yapılar içerisindeki dokusuz yüzeyler kompozit yapının su tutma ve porozite değerlerini artırarak yapının özelliklerine katkı sunmaktadır.

SEM analizi ile birlikte temizleme işlemi ve ağartma işlemi görmüş numunelerin içerisindeki nanolif (~65 nanometre) yapılarının varlığı gözlenmiştir. EDS analizleri ile birlikte yapının elemental olarak bitkisel selüloz ile aynı yapıya sahip olduğu gözlenmiştir.

Toz tutma analizi ile birlikte yapının içerisine mikron büyüklüklerdeki tozların giremeyeceğinin belirlenmiş olmasının yanısıra BS yapısının nano lifler içerdiğinin bilinmesi sonucu olarak nano boyuttaki tozlarında yapı içerisine girmeyeceği ön görülmektedir. Sürtünme testi ile malzemenin yapısal olarak sağlam olduğunu ve meydana gelebilecek sürtünmelere karşı dirençli olduğu gözlenmiştir. Eğilme direnci testi ile malzemenin yaş halde eğilme direncinin son derece düşük olduğu ve özellikle yara örtüsü kullanımında hareketli bölgelerde bile dokuyu kaplayabileceği gözlenmiştir.

Yapılan analizlerin sonucunda özellikle temizleme ve ağartma işlemi görmüş olan BS ve BS kompozit yapıların tıbbi tekstil ürünü olarak kullanılmalarının daha uygun

olabileceği, dokusuz yüzeylein kompozit yapıların özelliklerini olumlu yönde etkilediği, üretimi sağlanmış olan ürünleri özellikle yaraların korunması amacı ile kullanılabileceği sonuçları elde edilmiştir.



KAYNAKLAR

- Akter, S., Azim, A. Y. M. A., Al Faruque, M. A., 2014. Medical Textiles: Significance and Future Prospect in Bangladesh. *European Scientific Journal*, ESJ, 10(12), 488-502.
- AL-Kalifawi, E. J., Hassan, I. A., 2013. Factors Influence on the Yield of Bacterial Cellulose of Kombucha (khubdat humza). *Baghdad Science Journal*, 11(3), 1420-1428.
- Almeida, IF., Pereira, T., Silva, NHCS., Gomes, FP., Silvestre, AJD., Freire, CSR., Sousa Lobo, JM., Costa, PC., 2014. Bacterial Cellulose Membranes as Drug Delivery Systems: an In Vivo Skin Compatibility Study. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 86, 332–336.
- Amin, M. C. I. M., Ahmad, N., Halib, N., Ahmad, I., 2012. Synthesis and Characterization of Thermo-and pH-Responsive Bacterial Cellulose/Acrylic Acid Hydrogels for Drug Delivery. *Carbohydrate Polymers*, 88(2), 465-473.
- Aydın, Y., Aksoy, N. D., 2015. Gluconacetobacter Hansenii P2A İle Gerçekleştirilen Bakteriyel Selüloz Üretiminin Kinetik Modellenmesi. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 16(2), 239-247.
- 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.
- Barud, H. O., Barud, H. D. S., Cavicchioli, M., do Amaral, T. S., de Oliveira Junior, O. B., Santos, D. M., de Oliveira, P. F., 2015. Preparation and Characterization of a Bacterial Cellulose/Silk Fibroin Sponge Scaffold for Tissue Regeneration. *Carbohydrate Polymers*, 128, 41-51.
- Basnett, P., Roy, I., 2010. Microbial production of biodegradable polymers and their role in cardiac stent development. *Formatex Research Center*.
- Battad-Bernardo, E., McCrindle, SL., Couperwhite, I., Neilan, BA., 2004. Insertion of an E. coli lacZ Gene in Acetobacter Xylinus for the Production of Cellulose in Whey. *FEMS Microbiology Letters*, 231 (2), 253–260.
- Bakteriler, 2019. Bakterilerin yapısı, türleri ve özellikleri. Erişim Tarihi:23.04.2019. <https://www.bakteriler.gen.tr/bakteri-yapisi.html>
- Belmondo beauty, 2019. Erişim Tarihi: 21.02.2019. <https://www.belmondobeauty.com/bio-cellulose-skin-cares-most-advanced-mask-fabric/>

- Bergstroem, J. S., & Hayman, D., 2016. An Overview of Mechanical Properties and Material Modeling of Polylactide (PLA) for Medical Applications. *Annals of Biomedical Engineering*, 44(2), 330-340.
- Bielecki, S., Krystynowicz, A., Turkiewicz, M., Kalinowska, H., 2000. Bacterial Cellulose. In: Steinbuchel A (Ed), *Biopolymers: Polysaccharides I.*, . Wiley-VCH Verlag GmbH, Munster, Germany, 7, 37-90
- Bilsenbesergil, 2019. Polimerlerin Tarihi. Erişim Tarihi: 20.04.2019.
<http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/polimerlerin-tarihi-polimerteriminin.html>
- Biotechlink, 2019. An Overview of Bacterial Cellulose Applications. Erişim Tarihi: 01.03.2019. <http://www.biotechlink.org/2-2018/article3>
- Boateng, J. S., Matthews, K. H., Stevens, H. N., Eccleston, G. M., 2008. Wound Healing Dressings and Drug Delivery Systems: A Review. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 97(8), 2892-2923.
- Bodhibukkana, C., Srichana, T., Kaewnopparat, S., Tangthong, N., Bouking, P., Martin, G. P., Suedee, R., 2006. Composite Membrane of Bacterially-Derived Cellulose and Molecularly Imprinted Polymer for Use as a Transdermal Enantioselective Controlled-release System of Racemic Propranolol. *Journal of Controlled Release*, 113(1), 43-56.
- Brown, A.J., 1886. An Acetic Ferment Which forms Cellulose. *Journal of the Chemical Society*, 49, 432-439.
- Bryson, J. R., Ronayne, M., 2014. Manufacturing Carpets and Technical Textiles: Routines, Resources, Capabilities, Adaptation, Innovation and the Evolution of the British Textile Industry. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 7(3), 471-488.
- Bulut, Y., Erdoğan, Ü. H., 2011. Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. *Tekstil ve Mühendis*, 18(82), 26-35.
- Burg, K. J., Porter, S., Kellam, J.F., 2000. Biomaterial Developments for Bone Tissue Engineering. *Biomaterials*, 21(23), 2347-2359.
- Cakar, F., Ozer, I., Aytekin, AÖ., Sahin, F., 2014. Improvement Production of Bacterial Cellulose by Semi-Continuous Process in Molasses Medium. *Carbohydrate Polymers*, 106, 7–13.
- Cao, Z., Dou, C., Dong, S., 2014. Scaffolding Biomaterials for Cartilage Regeneration. *Journal of Nanomaterials*, 4, 1-8.
- Castro, C., Zuluaga, R., Álvarez, C., Putaux, J. L., Caro, G., Rojas, O. J., Gañán, P., 2012. Bacterial Cellulose Produced by a New Acid-Resistant Strain of *Gluconacetobacter* Genus. *Carbohydrate Polymers*, 89(4), 1033-1037.

- Chan, B.P., Leong, K.W., 2008. Scaffolding in Tissue Engineering: General Approaches and Tissue-Specific Considerations. *European Spine Journal*, 17, S467-S479.
- Chau, CF., Yang, P., Yu, CM., Yen, GC., 2008. Investigation on the Lipid- and Cholesterol-Lowering Abilities of Biocellulose. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 56, 2291–2295.
- Chawla, P.R., Bajaj, I.B., Survase, S.A., Singhal, R.S., 2009. Microbial Cellulose, Fermentative Production and Applications. *Food Technology and Biotechnology*, 47(2), 107-124.
- Cheng, KC., Catchmark, JM, Demirci, A., 2011. Effects of CMC Addition on Bacterial Cellulose Production in a Biofilm Reactor and Its Paper Sheets Analysis. *Biomacromolecules* 12(3),730–736
- Czaja, W., Romanovicz, D., Brown, R.M., 2004. Structural Investigations of Microbial Cellulose Produced in Stationary and Agitated Culture, *Cellulose*, 11, 403-411.
- Czaja, WK., Young, DJ., Kawecki, M., Brown RM., 2007. The Future Prospects of Microbial Cellulose in Biomedical Applications. *Biomacromolecules*, 8, 1–12.
- Çakmakçı, ML., Karahan, AG., Çakır, İ., Gündoğdu, A., Akoğlu, A., 2008. Selüloz Üretiminde Kullanılacak Mikroorganizmaların İzolasyonu, Moleküler Tanısı ve Mikrobiyel Selülozun Gıda Sanayinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. TÜBİTAK TOVAG 105O156 nolu Proje Raporu.
- de Azeredo, HMC., 2013. Antimicrobial Nanostructures in Food Packaging. *Trends Food Science Technology*, 30, 56–69.
- Dermafill, 2019. Microbial Cellulose Dressing. Erişim Tarihi: 27.02.2019. http://www.dermafill.com/store/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=3
- Ekiert, M., Mlyniec, A., Uhl, T., 2015. The influence of Degradation on the Viscosity and Molecular Mass of Poly (Lactide acid). *Biopolymer*, 16(4), 63-70.
- El Saied, H., Basta, A. H., Gobran, R. H., 2004. Research Progress in Friendly Environmental Technology for the Production of Cellulose Products (Bacterial Cellulose and Its Application). *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 43(3), 797-820.
- Emek A., 2004. Teknik Tekstiller Dünya Pazarı, Türkiye'nin Üretim ve ihrac imkanları. T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, Uzmanlık Tezi, Ankara.

- Esa, F., Tasirin, S. M., Rahman, N. A., 2014. Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 113-119.
- Fink, H., Faxälv, L., Molnar, G. F., Drotz, K., Risberg, B., Lindahl, T. L., Sellborn, A., 2010. Real-time Measurements of Coagulation on Bacterial Cellulose and Conventional Vascular Graft Materials. *Acta Biomaterialia*, 6(3), 1125-1130.
- Fontana, J. D., Franc, V. C., Souza, S. J., Lyra, I. N., Souza, A. M., 1991. Nature of Plant Stimulators in the Production of *Acetobacter Xylinum* ("Tea Fungus") Biofilm Used in Skin Therapy. *Applied Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 61, 1541-1545.
- Fragouli, D., Bayer, I. S., Di Corato, R., Brescia, R., Bertoni, G., Innocenti, C., Athanassiou, A., 2012. Superparamagnetic Cellulose Fiber Networks Via Nanocomposite Functionalization. *Journal of Materials Chemistry*, 22(4), 1662-1666.
- Fu, L., Zhang, J., Yang, G., 2013. Present Status and Applications of Bacterial Cellulose-Based Materials for Skin Tissue Repair. *Carbohydrate Polymer*, 92, 1432-1442.
- Galas, E., Krystynowicz, A., Tarabasz-Szymanska, L., Pankiewicz, T., Rzycka, M., 1999. Optimization of the Production of Bacterial Cellulose Using Multivariable Linear Regression Analysis. *Acta Biotechnologica*, 19, 251-260.
- Gea, S., 2011. Innovative bio-nanocomposites based on bacterial cellulose. Queen Mary University, School of Engineering and Material Science. Doctoral dissertation, 203s, London.
- Greenriver, 2019. IR Absorptions for Representative Functional Groups. Erişim Tarihi: 14.04.2019.
- Goh, W. N., Rosma, A., Kaur, B., Fazilah, A., Karim, A. A., Bhat, R., 2012. Fermentation of black tea broth (Kombucha): I. Effects of sucrose concentration and fermentation time on the yield of microbial cellulose. *International food research Journal*, 19(1), 109.
- Gümüş, H., 2016. Polilaktik asit ve polihidroksibutirat biyopolimer nanokompozit karışımlarının hazırlanması ve karakterizasyonu. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bartın.
- Hamad, K., Kaseem, M., Yang, H. W., Deri, F., Ko, Y. G., 2015. Properties and Medical Applications of Polylactic Acid: A review. *Express Polymer Letters*, 9(5), 435-455.
- Han, J., Shim, E., & Kim, H. R., 2019. Effects of Cultivation, Washing, and Bleaching Conditions on Bacterial Cellulose Fabric Production. *Textile Research Journal*, 89(6), 1094-1104.

- Helenius, G., Bäckdahl, H., Bodin, A., Nannmark, U., Gatenholm, P., Risberg, B., 2006. In Vivo Biocompatibility of Bacterial Cellulose. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 76(2), 431-438.
- Hestrin, S., Schramm, M., 1954. Synthesis of Cellulose by *Acetobacter Xylinum*: Preparation of Freeze Dried Cells Capable of Polymerizing Glucose to Cellulose. *Biochemical Journal*, 58, 345.
- Horrocks, A. R., & Anand, S. C. (Eds.), 2000. *Handbook of technical textiles*. Elsevier.s-148
- Grand view research, 2019. Technical Textile Chemicals Market Analysis By Application (Agrotech, Buildtech, Geotech, Medtech, Miltech, Packtech, Protech, Transtech) And Segment Forecasts To 2020. Erişim tarihi: 01.03.2019. <https://www.grandviewresearch.com/industryanalysis/medicaltextiles-market>.
- Hu, W., Chen, S., Yang, J., Li, Z., Wang, H., 2014. Functionalized Bacterial Cellulose Derivatives and Nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 101, 1043–1060.
- Hutchens, SA., Benson, RS., Evans, BR., O'Neill, HM., Rawn, CJ., 2006. Biomimetic Synthesis of Calcium-Deficient Hydroxyapatite in a Natural Hydrogel. *Biomaterials* 27,4661–4670.
- Hwang, JW., Kook, YY., Hwang, JK., Pyun, YR., Kim, YS., 1999. Effects of pH and Dissolved Oxygen on Cellulose Production by *Acetobacter Xylinum* BRC5 in agitated culture. *Journal Bioscience Bioengineering*, 88(2), 183–188.
- Ibrahim, N. A., Eid, B. M., El Aziz, E. A., Elmaaty, T. M. A., Ramadan, S. M., 2017. Multifunctional cellulose-containing fabrics using modified finishing formulations. *RSC Advances*, 7(53), 33219-33230.
- Iguchi, M., Yamanaka, S., Budhiono, A., 2000. Bacterial Cellulose – a Masterpiece of Nature's Arts. *Journals of Material Science*, 35, 261–270.
- Ishihara, M., Matsunaga, M., Hayashi, N., Tişler, V., 2002. Utilization of D-xylose as Carbon Source for Production of Bacterial Cellulose. *Enzyme Microbiology Technology*, 31, 986–991.
- İleri, T., Taşçı, F., Şahindokuyucu, F., 2010. Kombucha ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Uludağ University Journal of the Faculty of Veterinary Medicine*, 29(1), 69-77.
- Ji, Xin, Cheng Xing, Xueshen Shi, and Jianping Chen. 2013. Modified Starch Material of Biocompatible Hemostasis. In.: Google Patents.

- John M.J., Thomas S., 2008. Biofibres and Biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71, 3, 343–364.
- Johnson, D.C., Neogi, A.N., 1989. Sheeted Products Formed from Reticulated Microbial Cellulose. US Patent, 4863565.
- Jonas, R., Farah, L.F., 1998. Production and Application of Microbial Cellulose. *Polymer Degradation and Stability*, 59, 101-106.
- Jozala, A. F., de Lencastre-Novaes, L. C., Lopes, A. M., de Carvalho Santos-Ebinuma, V., Mazzola, P. G., Pessoa-Jr, A., Chaud, M. V., 2016. Bacterial Nanocellulose Production and Application:a 10-year Overview. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(5), 2063-2072.
- Kamarudin, S., Sahaid, M., Mohd Sobri, T., Wan Mohtar, W. Y., Dayang Radiah, A.B., Norhasliza, H., 2013. Different Media Formulation on Biocellulose Production by *Acetobacter Xylinum* (0416). *Science & Technology*, 21(1), 29-36.
- Karthik, T., Rathinamoorthy, R., 2017. Sustainable Biopolymers in Textiles: An Overview. *Handbook of Ecomaterials*, 1-27.
- Kato, N., Sato, T., Kato, C., Yajima, M., Sugiyama, J., Kanda, T., Mizuno, M., Nozaki, K., Yamanaka, S., Amano, Y., 2007. Viability and Cellulose Synthesizing Ability of *Gluconacetobacter Xylinus* Cells Under High-Hydrostatic Pressure. *Extremophiles*, 11, 693–698.
- Kaushal, R., Walker, T., Drummond, D., 1951. Observations on the Formation and Structure of Bacterial Cellulose. *Biochemical*, 50, 128-132.
- Kawecki M, Krystynowicz A, Wysota K, Czaja W, Sakiel S., 2004. Bacterial Cellulose Biosynthesis, Properties and Applications. *International Review Conference Biotechnology*, Vienna, Austria, 14–18.
- Kaya, A., 2007. *Acetobacter Xylinum*'un Suşlarında Selüloz Üretimi ile Yağ Asidi Kompozisyonunun Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 34s, Ankara.
- Keshk, S. M., Sameshima, K., 2005. Evaluation of Different Carbon Sources for Bacterial Cellulose Production. *African Journal of Biotechnology*, 4(6), 478-482.
- Keshk, S., Razek, T., Sameshima, K., 2006. Bacterial Cellulose Production from Beet Molasses. *African Journal of Biotechnology*, 76, 1519-1523.
- Keshk, S., 2014. Bacterial Cellulose Production and Its Industrial Applications. *Journal of Bioprocessing and Biotechniques*, 4(2), 1-10.
- Khalil, H. A., Bhat, A. H., Yusra, A. I., 2012. Green Composites from Sustainable Cellulose Nanofibrils: A review. *Carbohydrate polymers*, 87(2), 963-979.

- Kim, S., Kim, H. J., Jeon, N. L., 2010. Biological Applications of Microfluidic Gradient Devices. *Integrative Biology*, 2(11-12), 584-603.
- Klechkovskaya, V. V., Volkov, V. V., Shtykova, E. V., Arkharova, N. A., Baklagina, Y. G., Khripunov, A. K., Tkachenko, A. A., 2008. Network model of *Acetobacter Xylinum* Cellulose Intercalated by Drug Nanoparticles. In *Nanomaterials for Application in Medicine and Biology*, pp. 165-177.
- Klemm, D., Schumann, D., Udhardt, U. & Marsch, S., 2001. Bacterial Synthesized Cellulose: Artificial Blood Vessels for Microsurgery. *Progress in Polymer Science*, 26, 1561-1603.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., Bohn, A., 2005. Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie International Edition*, 44, 3358-3393.
- Klemm, D., Kramer, F., Moritz, S., Lindström, T., Ankerfors, M., Gray, D., Dorris, A., 2011. Nanocelluloses: a New Family of Nature-Based Materials. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(24), 5438–5466.
- Kouda, T., Yano, H., Yoshinaga, F., 1997. Effect of Agitator Configuration on the Productivity of Bacterial Cellulose Production. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 83, 371-37.
- Kowalska-Ludwicka, K., Cala, J., Grobelski, B., Sygut, D., Jesionek-Kupnicka, D., Kolodziejczyk, M., Pasieka, Z., 2013. Modified Bacterial Cellulose Tubes for Regeneration of Damaged Peripheral Nerves. *Archives of Medical Science: AMS*, 9(3), 527.
- Krystynowicz, A., Turkiewicz, M., Drynska, E. and Galas, E., 1995. Bacterial Cellulose-Biosynthesis and Application. *Biotechnologia*, 30:120-132.
- Krystynowicz, A., Galas, E., Pawlak, E., 1997. Method of Bacterial Cellulose Production. Polish Patent, P-299907.
- Krystynowicz, A., Czaja, W., Pomorski, L., Kolodziejczyk, M., Bielecki, S., 2000. The Evaluation of Usefulness of Microbial Cellulose as a Wound Dressing Material. 14th Forum for Applied Biotechnology, 213-220. Gent, Belgium, Meded. Fac. Landbouwwet Rijksuniv. Gent, Proceedings Part I.
- Kumar, S. S., 2007. Biopolymers in Medical Applications. Department of Textile Technology, Kumaraguru College of Technology, Coimbatore.
- Küçükçapraz, D. Ö., Üçgöl, İ., Elibüyük, U., 2016. Alginatlar ve Tekstil Uygulamaları. *Anka E-Dergi*, 1(1), 8-16.
- Küçükçapraz, D. Ö., 2011. Biyo-bozunur modifiye kitin polimeri üretimi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 122s, Isparta.

- Langenhove L, V., 2007. Smart Textiles For Medicine and Healthcare: Materials, Systems and Applications”, 27-47.
- Lee, K. Y., 2012. Alginate: Properties and Biomedical Applications. *Progress in Polymer Science*, 37(1), 106-126.
- Liebner, F., Haimer, E., Wendland, M., Neouze, M. A., Schlufte, K., Miethe, P., Rosenau, T., 2010. Aerogels from Unaltered Bacterial Cellulose: Application of scCO₂ Drying for the Preparation of Shaped, Ultra Lightweight Cellulosic Aerogels. *Macromolecular Bioscience*, 10(4), 349-352.
- Lin, D., Lopez-Sanchez, P., Li, R., Li, Z., 2014. Production of Bacterial Cellulose by *Gluconacetobacter Hansenii* CGMCC 3917 Using Only Waste Beer Yeast as Nutrient Source. *Bioresource Technology*, 151, 113– 119.
- 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.
- Lin, W. C., Lien, C. C., Yeh, H. J., Yu, C. M., Hsu, S. H., 2013. Bacterial Cellulose and Bacterial Cellulose–Chitosan Membranes for Wound Dressing Applications. *Carbohydrate polymers*, 94(1), 603-611.
- Loures, B. R., 2004. Endoprosthesis Process to Obtain and Methods Used. Patent WO, 45458, A1.
- Lustri, W. R., de Oliveira Barud, H. G., da Silva Barud, H., Peres, M. F., Gutierrez, J., Tercjak, A., Ribeiro, S. J. L., 2015. Microbial Cellulose Biosynthesis Mechanisms and Medical Applications. In *Cellulose-Fundamental Aspects and Current Trends*. IntechOpen.
- Mamlouk, D., Gullo, M., 2013. Acetic acid bacteria: physiology and carbon sources oxidation. *Indian journal of microbiology*, 53(4), 377-384.
- Martínez, H., Brackmann, C., Enejder, A., Gatenholm, P., 2012. Mechanical Stimulation of Fibroblasts in Micro Channeled Bacterial Cellulose Scaffolds Enhances Production of Oriented Collagen Fibers. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 100(4), 948-957.
- Martinez Sanz, M., Lopez Rubio, A., Villano, M., Oliveira, C. S., Majone, M., Reis, M., Lagarón, J. M., 2016. Production of Bacterial Nanobiocomposites of Polyhydroxyalkanoates Derived from Waste and Bacterial Nanocellulose by the Electrospinning Enabling Melt Compounding Method. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2), 1-14.
- Masaoka, S., Ohe, T., Sakota, N., 1993. Production of Cellulose from Glucose by *Acetobacter Xylinum*. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 75(1), 18-22.

- Matsuoka, M., Tsuchida, T., Matsushita, K., Adachi, O., Yoshinaga, F., 1996. A Synthetic Medium for Bacterial Cellulose Production by *Acetobacter Xylinum* subsp. *Sucrofermentans*. *Bioscience, Biotechnology Biochemistry*, 60(4), 575–579.
- Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T., Tarakçıoğlu, I., 2007A. Technical Textiles and Applications (part 1). *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(2), 79-82.
- Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T., Tarakçıoğlu, I., 2007B. Teknik Tekstiller ve Kullanım Alanları (bölüm 2). *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(3), 154-161.
- Meftahi, A., Khajavi R., Rashidi, A., Sattari, M., Yazdanshenas, ME., Torabi, M., 2010. The Effects of Cotton Gauze Coating with Microbial Cellulose. *Cellulose* 17(1), 199–204.
- Meftahi, A., Khajavi, R., Rashidi, A., Rahimi, M. K., Bahador, A., 2015. Effect of purification on nano microbial cellulose pellicle properties. *Procedia Materials Science*, 11, 206-211.
- Mohammad, S. M., Rahman, N. A., Khalil, M. S., Abdullah, S. R. S., 2014. An Overview of Biocellulose Production Using *Acetobacter Xylinum* Culture. *Advances in Biological Research*, 8(6), 307-313.
- Mohite, B. V., Kamalja, K. K., Patil, S. V., 2012. Statistical Optimization of Culture Conditions for Enhanced Bacterial Cellulose Production by *Gluconoacetobacter Hansenii* NCIM 2529, *Cellulose* 19(5), 1655-1666.
- Moutos, F. T., Guilak, F., 2008. Composite Scaffolds for Cartilage Tissue Engineering. *Biorheology*, 45(3-4), 501-512.
- Nam, C., Lee, Y. A., 2016. RETHINK II: Kombucha shoes for scarlett and rhett. International textile and apparel association annual conference proceedings, 10th November, ABD.
- Nandgaonkar, A. G., 2014. Bacterial Cellulose (BC) as a Functional Nanocomposite Biomaterial. North Carolina State University, Fiber and Polymer Science, Doktora tezi, 230s, North Carolina.
- Nguyen, V. T., Flanagan, B., Gidley, M. J., Dykes, G. A., 2008. Characterization of Cellulose Production by a *Gluconacetobacter Xylinus* Strain from Kombucha. *Current Microbiology*, 57(5), 449-453.
- Nishi, Y., Uryu, M., Yamanaka, S., Watanabe, K., Kitamura, N., Iguchi, M., Mitsuhashi, S., 1990. The Structure and Mechanical-Properties of Sheets Prepared from Bacterial Cellulose . *Journal of Materials Science*, 25(6), 2997-3001.

- Numata, Y., Sakata, T., Furukawa, H., Tajima, K., 2015. Bacterial Cellulose Gels with High Mechanical Strength. *Material Science and Engineering*, 47, 57–62.
- Nutrition Resources, Carbohydrates. Erişim Tarihi: 14.01.2019. <http://nutrition.jbpub.com/resources/chemistryreview9.cfm>.
- O'driscoll, S. W., 1998. Current Concepts Review-the Healing and Regeneration of Articular Cartilage. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 80(12), 1795-1812.
- Onar, N., 2004. Usage of Biopolymers in Medical Applications. Poster Presentation, 3rd Indo-Czech Textile Research Conference, 14th-16th June, Czech Republic.
- Özdemir, D., 2006. Kemiksi Dokuların Polimer Yöntemiyle Üretilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 141s, Isparta.
- Özdemir, N., Erkmen, J. (2013). Yenilenebilir biyoplastik üretiminde alglerin kullanımı. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(8), 89-104
- Park, J.K., Park, Y.H., Jung, J.Y., 2003. Production of Bacterial Cellulose by *Gluconacetobacter Hansenii* PJK Isolated from Rotten Apple. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 8(2), 83–88.
- Percival, S. L., 2015. Silver and Alginates: Role in Wound Healing and Biofilm Control. *Advances in Wound Care*, 4(7), 407-414.
- Petersen, N. and Gatenholm P., 2011. Bacterial Cellulose-Based Materials and Medical Devices: Current State and Perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 91(5), 1277-1286.
- Picheth, G. F., Pirich, C. L., Sierakowski, M. R., Woehl, M. A., Sakakibara, C. N., de Souza, C. F., de Freitas, R. A., 2017. Bacterial Cellulose in Biomedical Applications: A Review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 97-106.
- Poyrazoğlu, E., 2007. Yüzey Kültür Fermentasyon Yöntemi ile Bazı Asetik Asit Bakterilerinden Ekstrasellüler Polisakkarit Üretimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 207s, Aydın.
- Poyrazoğlu Çoban, E., Bıyık, H.H., 2008. Asetik Asit Bakterilerinden Elde Edilen Alternatif Selüloz. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 6(2), 19–26.
- Prashant, R. C., Ishwar, B. J., Shrikant, A. S., Rekha, S. S., 2008. Microbial Cellulose: Fermentative Productions and Applications. *Food Technology and Biotechnology*, 47(2), 107-124.

- Qiu, K., Netravali, A. N., 2014. A Review of Fabrication and Applications of Bacterial Cellulose Based Nanocomposites. *Polymer Reviews*, 54, 598-626.
- Quijano, L., 2017. Embracing Bacterial Cellulose as a Catalyst for Sustainable Fashion. Liberty University, Bitirme Tezi ,40s ,Virginia.
- Rajwade, J. M., Paknikar, K. M., Kumbhar, J. V.İ., 2015. Applications of Bacterial Cellulose and Its Composites in Biomedicine. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(6), 2491-2511.
- Rehim, SA., Singhal, M., Chung, KC., 2014. Dermal Skin Substitutes for Upper Limb Reconstruction. *Hand Clinics*, 30, 239–252.
- Rehm, B., 2010. Bacterial Polymers: Biosynthesis, Modifications and Applications. *Nature Reviews Microbiology*, 8(8), 578.
- Rigby, A., J., Anand, S., C., 1997. Teknik Tekstiller El Kitabı, Faculty of Technology, Bolton Instute, Deare Road, Bolton BL3 5AB, UK,. 446-462.
- Ruka, D.R., Simon, G.P., Dean, K.M.,2012. Altering the Growth Conditions of *Gluconacetobacter Xylinus* to Maximize the Yield of Bacterial Cellulose. *Carbohydrate Polymer*, 89, 613-622.
- Sabbagh, F., Muhamad, I. I., Pa'e, N., Hashim, Z., 2019. Strategies in Improving Properties of Cellulose-Based Hydrogels for Smart Applications. *Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels*, 887-908.
- Saha, N., Saarai, A., Roy, N., Kitano, T., & Saha, P., 2011. Polymeric Biomaterial Based Hydrogels for Biomedical Applications. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 2(01), 85.
- Saxena IM, Brown RM Jr., 1997. Identification of Cellulose Synthase(s) in Higher Plants: Sequence Analysis of Processive α -glycosyltransferases with the Common Motif 'D, D, D35Q(R,Q)XRW. *Cellulose*, 4, 33–49.
- Schramm, M., Hestrin, S., 1954. Factors Affecting Production of Cellulose at the Air/Liquid Interface of a Culture of *Acetobacter Xylinum*. *Microbiology*, 11, 123-129.
- Schwanninger, M., Rodrigues, J. C., Pereira, H., Hinterstoisser, B., 2004. Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. *Vibrational Spectroscopy*, 36(1), 23-40.
- Seifert, M., Hesse, S., Kabrelian, V., Klemm, D., 2004. Controlling the Water Content of Never Dried and Reswollen Bacterial Cellulose by the Addition of Water-Soluble Polymers to the Culture Medium. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 42(3), 463-470.
- Shezad, O., Khan, S., Khan, T., Park, JK., 2010. Physicochemical and mechanical characterization of bacterial cellulose produced with an excellent productivity in static conditions using a simple fed-batch cultivation strategy. *Carbohydrate Polymers* 82(1):173–180.

- Shi, Q., Li, Y., Sun, J., Zhang, H., Chen, L., Chen, B., Wang, Z., 2012. The Osteogenesis of Bacterial Cellulose Scaffold Loaded with Bone Morphogenetic Protein-2. *Biomaterials*, 33(28), 6644-6649.
- Shibazaki, H., Kuga S., Okano, T., 1997. Mercerization and Acid Hydrolysis of Bacterial Cellulose. *Cellulose*, 4, 75–87.
- Shibazaki, H., Kuga, S., Onabe, F., 1994. Mechanical Properties of Papersheet Containing Bacterial Cellulose. *Japan Tappi Journal*, 48(12), 1621-1630.
- Solway, D.R., Clark, W.A., Levinson, D.J. 2011. A Parallel Open-Label Trial to Evaluate Microbial Cellulose Wound Dressing in the Treatment of Diabetic Foot Ulcers. *International Wound Journal*,. 8(1), 69-73.
- Son,C. J., Chung, S. Y., Lee, J. E., Kim, S. J., 2002. Isolation and Cultivation Characteristic of *Acetobacter Xylinum* KJ-1 Producing Bacterial Cellulose in Shaking Cultures. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 12(5), 722-728.
- Song, HJ., Li, H., Seo, JH., Kim, MJ., Kim, SJ., 2009. Pilot-Scale Production of Bacterial Cellulose by a Spherical Type Bubble Column Bioreactor Using Saccharified Food Wastes. *Korean Journal of Chemical*, 26(1), 141–146.
- Stanislaw, B., Halina, K., Alina, K., Katarzyna, K., Marek, Ko., Manu, de G., 2012. Wound Dressings and Cosmetic Materials from Bacterial Nanocellulose. In: *Bacterial Nanocellulose. Perspectives in Nanotechnology*. CRC Press, New York, 157–174.
- Subramanian, A., Krishnan, U. M., Sethuraman, S., 2009. Development of Biomaterial Scaffold for Nerve Tissue Engineering: Biomaterial Mediated Neural Regeneration. *Journal of Biomedical Science*, 16(1), 108-113.
- Sulaeva, I., Henniges, U., Rosenau, T., Potthast, A., 2015. Bacterial Cellulose as a Material for Wound Treatment: Properties and Modifications. A Review. *Biotechnology Advances*, 33(8), 1547-1571.
- Suryanto, H., Sutrisno, T. A., Muhajir, M., Zakia, N., Yanuhar, U., 2018. Effect of peroxide treatment on the structure and transparency of bacterial cellulose film. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 204, p. 05015). EDP Sciences.
- Sutherland, I.W., 1998. Novel and Established Applications of Microbial Polysaccharides. *Trends in Biotechnology*, 38, 41-47.
- Swetha, M., Sahithi, K., Moorthi, A., Srinivasan, N., Ramasamy, K., Selvamurugan, N., 2010. Biocomposites Containing Natural Polymers and Hydroxyapatite for Bone Tissue Engineering. *International Journal of Biological Macromolecules*, 47(1), 1-4.

- T. Mukherjee, N. Kao., 2011. PLA Based Biopolymer Reinforced with Natural Fibre : A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(3), 714-725.
- Takai, M., 1994. Bacterial Cellulose Composites. In: Gilbert RD (ed) *Cellulose Polymer Blends Composites*. Hanser, Munich, 233–240.
- Technologytimes, 2019. Biopolymers for Medical Applications. Erişim Tarihi: 12.01.2019. <https://www.technologytimes.pk/biopolymers-for-medical-applications/>
- Thompson, DN., Hamilton, MA., 2001. Production of Bacterial Cellulose from Alternate Feedstocks. *Applied Biochemical Biotechnology*, 91-93, 503– 514.
- Toda, K., Asakura, T., Fukaya, M., Entani, E., Kawamura, Y., 1997. Cellulose Production by Acetic Acid-Resistant *Acetobacter Xylinum*. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 84(3), 228–231.
- Torgbo, S., Sukyai, P., 2018. Bacterial Cellulose-Based Scaffold Materials for Bone Tissue Engineering. *Applied Materials Today*, 11, 34-49.
- Tsalagkas, D., 2015. Bacterial cellulose thin-films for energy harvesting applications. University of West Hungary. *Wood Sciences and Applied Arts*, Doctoral dissertation, 107p, Hungary.
- Tse, ML., Chung, KM., Dong, L., Thomas, BK., Fu, LB., Cheng, KC., Lu, C., Tam, HY., 2010. Observation of symmetrical reflection sidebands in a silica suspended-core fiber Bragg grating. *Opt Express* 18(16):17373–17381.
- Ul Islam, M., Khan, S., Ullah, M. W., Park, J. K., 2015. Bacterial Cellulose Composites: Synthetic Strategies and Multiple Applications in Biomedical and Electroconductive Fields. *Biotechnology Journal*, 10(12), 1847-1861.
- Vandamme, E.J., De Baets, S., Vanbaelen, A., Joris, K., De Wulf P., 1998. Improved Production of Bacterial Cellulose and Its Application Potential. *Polymer Degradation and Stability*, 59 (7), 1:93-99.
- Venil, C. K., Zakaria, Z. A., Ahmad, W. A., 2013. Bacterial pigments and their applications. *Process Biochemistry*, 48(7), 1065-1079.
- Wang, J., Zhu, Y., Du, J. 2011. Bacterial Cellulose: a Natural Nanomaterial for Biomedical Applications. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 11(2), 285-306.
- Watanabe, K., Tabuchi, M., Morinaga, Y., Yoshinaga, F., 1998. Structural Features and Properties of Bacterial Cellulose Produced in Agitated Culture. *Cellulose*, 5, 187-200.
- Wikipedia, 2018. Erişim Tarihi: 11.12.2018. <https://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>

- Williams WS, Cannon RE., 1989. Alternative Environmental Roles for Cellulose Produced by *Acetobacter Xylinum*. *Applied Environmental Microbiology*, 55(10),2448–2452.
- Xiaoyun, Q., Shuwen, H., 2013. Smart Materials Based on Cellulose: a Review of the Preparations, Properties, and Applications. *Mater*, 6, 738–781.
- Yamanaka, S., Watanabe, K., Suzuki, Y., 1990. Hollow Microbial Cellulose, Process for Preparation Thereof, and Artificial Blood Vessel Formed of Said Cellulose. European patent 0396344A2.
- Yamanaka S, Watanabe, K. 1994. Applications of Bacterial Cellulose in Cellulosic Polymers. In: Gilbert R (ed) Hanser Publishers Inc, Cincinnati.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., Zheng, C., 2007. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86(12-13), 1781-1788.
- 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.
- Yoruç, A. B. H., Uğraşkan, V., 2017. Yeşil Polimerler ve Uygulamaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 318-337.
- 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.
- Young, Y.K., Park, S.H., Hwang, J.W., Pyun, Y.R. and Kim, Y.S., 1998. Cellulose Production by *Acetobacter BRC5* under Agitated Condition. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 85, 3, 312-317.
- Zahan, K. A., Pa'e, N., Muhamad, I. I., 2015. Monitoring the effect of pH on bacterial cellulose production and *Acetobacter xylinum* 0416 growth in a rotary discs reactor. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(7), 1881-1885.
- Zeng,M., 2014. Bacterial cellulose: Fabrication, characterization and biocompatibility studies. *Universitat Autònoma de Barcelona, Departament de química, Facultat de Ciències, Doktora Tezi*, 126s, Barselona.
- Zhong, W. 2013. *An Introduction to Healthcare and Medical textiles*. Destech Publications, Inc, 293s, USA.
- Zhu, M.F.;Yang, H.H., 2006. *Handbook of Fiber Chemistry* 3rd Edition; Lewin, M., Ed., CRC Press: Newyork,; Chapter 3, 139- 260

Zhu, C., Li, F., Zhou, X., Lin, L., Zhang, T., 2014. Kombucha Synthesized Bacterial Cellulose: Preparation, Characterization, and Biocompatibility Evaluation. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 102(5), 1548-1557.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nur KILINÇ

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1988

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : nurkilinc2104@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Isparta Anadolu Lisesi, 2006

Lisans : Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim

Boyar Kimya Tekstil San. Ltd. Şti. 2013-2017