

Bakteriyel Selülozların Üretimi ve Özellikleri ile Gıda ve Gıda Dışı Uygulamalarda Kullanımı

Melih Güzel , Özlem Akpınar 

¹Gümüşhane Üniversitesi, Şiran Mustafa Beyaz Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, 29700, Gümüşhane
²Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 60250, Tokat

Geliş Tarihi (Received): 19.02.2018, Kabul Tarihi (Accepted): 08.06.2018

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): melihguzel010@hotmail.com (M. Güzel)

☎ 0 456 233 10 00-36 08 📠 0 456 511 86 79

ÖZ

Selüloz D-glukopiranoz birimlerinin β -1,4 glikozidik bağlarla bağlanmasıyla oluşan lineer ve dünyada en yaygın olarak bulunan polimerdir. Selüloz, bitkilerin yanında bazı bakteriler tarafından da üretilmektedir. Bakteriyel selüloz olarak adlandırılan bu tip selülozlar gıda, ilaç, biyoteknoloji, biyomedikal, kozmetik, kağıt ve elektronik alanlarında kullanımı giderek artmaktadır. Saf olarak elde edilmesi, elastik, ağsı yapıda, yüksek kristalizasyon derecesi, yüzey alanı, su tutma kapasitesine ve gerilme direncine, daha ince ve gözenekli bir yapıya sahip olması gibi bitkisel selüloza kıyasla pek çok üstün özellikleri bulunmaktadır. Bu derleme bakteriyel selülozun üretimini, üretiminde kullanılan yöntemleri, üretilen polimerin özelliklerini ve gıda ve gıda dışı uygulamalarda kullanımını kapsamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bakteriyel selüloz, *Acetobacter*, Ekzopolisakkarit, Fermantasyon

Production and Properties Bacterial Celluloses and Their Use in Food and Non-Food Applications

ABSTRACT

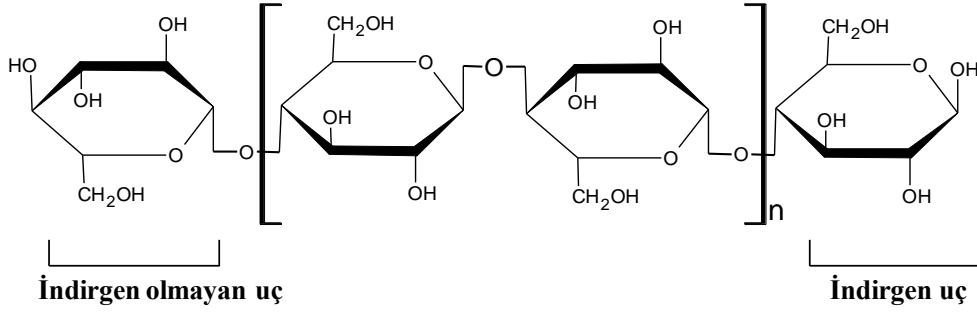
Cellulose is the most common polymer in the world, formed by β -1,4 linked glucopyranose units. Besides plants, celluloses can be produced by some bacteria. The uses of these bacterial celluloses have been increasing in food, pharmaceutical, biotechnology, biomedical, cosmetics, paper and electronics areas. It has many superior properties compared to plant celluloses, such as purity, elasticity, network structure, high crystallize, surface area, water holding capacity and tensile strength, thinner and porous structure. This review includes the production methods for bacterial celluloses, the properties of these polymers and their use in food and non-food applications.

Keywords: Bacterial cellulose, *Acetobacter*, Exopolysaccharide, Fermentation

GİRİŞ

Selüloz dünyada en yaygın olarak bulunan, D-glukopiranoz birimlerinin β -1,4 glikozidik bağlarla bağlanmasıyla oluşan lineer bir polimerdir (Şekil 1). Hemen hemen tüm bitkilerin iskelet yapısında hemiselüloz ve lignin ile birlikte (%40-60 selüloz, %20-

40 hemiselüloz ve %10-25 lignin) bulunmaktadır [1, 2]. Bitkilerin yanında bazı bakteriler tarafından da üretilmektedir. Bakteriyel selüloz (BS) olarak adlandırılan bu tip selülozlar, bakteri metabolizmasının ilk ürünü ve hücre dışı bir polimer olup hücreyi koruyucu olarak görev yapmaktadır [3, 4].



Şekil 1. Selüloz molekülünün moleküler yapısı

Selüloz gibi insan vücudunda sindirilemeyen [5] ve serum trigliserid ve toplam kolesterol seviyesini azaltabilen [6] BS, geleneksel olarak üretilen Güney-Doğu Asya'da bazı yerel gıdalarda (Nata de Cocco: jelatin küpü olarak servis edilen üretilen yerel bir gıda) [7] kullanılmaktadır. Aynı zamanda bazı fonksiyonel içeceklerin (Kombucha ya da Mançurya çayı) üretimi esnasında da oluşmaktadır [8]. BS gıda endüstrisi dışında, ilaç, biyoteknoloji, biyomedikal, kozmetik, kağıt ve elektronik [9-11] alanlarında da kullanımı giderek artmaktadır. Bu çalışma bakteriyel selülozun sentezi, üretimi ve üretiminde kullanılan yöntemler, üretilen polimerin özellikleri ve gıda ve gıda dışı alanlarda kullanımını kapsamaktadır.

BAKTERİYEL SELÜLOZ VE ÖZELLİKLERİ

Pek çok mikroorganizma, karbon ve enerji kaynağı olarak hücre içi polisakkarit sentezleyebildikleri gibi hücre dışına da polisakkarit sentezleyebilmektedir. Farklı polisakkarit ve proteinden oluşan bu yapılar kapsül veya slime layer (cıvık tabaka) olarak isimlendirilir [12]. Ekzopolisakkarit olarak da isimlendirilen hücre dışı polisakkaritler, ya kapsül

formunda hücre yüzeyine kovalent bağlı olarak ya da balçık şeklinde hücre duvarına zayıf bir şekilde bağlı olarak bulunmaktadır [13, 14]. Bu polisakkaritler, kendini üreten mikroorganizmalar tarafından katabolize edilemediklerinden, enerji kaynağı olarak kullanılamamakta, fakat mikroorganizmayı koruyarak, dış ortamdan gelebilecek zararlı bir etkiye karşı bariyer oluşturmaktadır [15, 16].

Mikrobiyal kaynaklardan elde edilen ve endüstriyel olarak önemli olan başlıca polisakkaritler genel olarak; bakteriyel selüloz (*Komagateibacter xylinum*), ksantan (*Xanthomonas campestris*), süksinoglikan (*Rhizobium*, *Agrobacterium* sp., *Pseudomonas* sp.), gellan (*Pseudomonas elodea*, *Sphingomonas elodea*), velan (*Alcaligenes* sp.), emülsan (*Acinetobacter calcoaceticus*), alginatlar (*Azotobacter vinelandii*, *Pseudomonas aeruginosa*), dekstran (*Leuconostoc* sp.), ramsan (*Alcaligenes* sp.), pullulan (*Auerobasidium pullulans*)'dır [17]. Bu polisakkaritler, gıda endüstrisinde ksantan ve gellanın Amerika ve Avrupa'da gıda ilavesi olarak izin verilmesinden sonra daha fazla ilgi kazanmıştır [18, 19]. Tablo 1'de ticari kullanım için polisakkarit üreten bazı mikroorganizmalar verilmiştir.

Tablo 1. Ticari kullanım için polisakkarit üretebilen bazı mikroorganizmalar [20]

Mikrobiyal Kaynak	Polisakkarit	Referans
<i>Komagateibacter xylinum</i>	Selüloz	[21]
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	Süksinoglikan	[22]
<i>A. tumefaciens</i>	Süksinoglikan	[23]
<i>Rhizobium meliloti</i>	Süksinoglikan	[22]
<i>Halomonas eurihalina</i>	Levam	[24]
<i>Zymomonas mobilis</i>	Levan	[25]
<i>Leuconostoc dextranicum</i>	Glukan	[26]
<i>L. mesenteroides</i>	Dekstran	[27]
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Alginat	[28]
<i>P. putida</i>	Alginat	[29]
<i>Sphingomonas elodea</i>	Gellan	[30]
<i>S. paucimobilis</i>	Gellan	[31]
<i>Xanthomonas</i> sp.	Xanthan gum	[32]

Selüloz endüstriyel olarak çoğunlukla odun ve pamuktan üretilmekte olup, saf olarak elde edilmesi için yapıdan lignin ve hemiselülozun ayrılması gerekmektedir [33]. Bu işlemin zor ve masraflı olması, ayrıca orman alanlarının daralması gibi nedenlerden dolayı alternatif selüloz kaynakları araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda, bakteriler tarafından üretilen bakteriyel selüloz (BS) son

yıllarda daha çok dikkat çekmeye başlamıştır. BS, bitkisel selüloz gibi β -1 \rightarrow 4 glukan zincirinden oluşmakta, glukan zincirleri moleküler arası ve içi hidrojen bağlarıyla bir arada tutunmakta [34] ve bitkisel selülozun tersine saflaştırılma işlemi gerekmemektedir [1, 35]. BS, bakteriler tarafından oksijen basıncının yüksek olduğu yüzeylerde üretilmekte ve konumlandırılmaktadır.

Bakterileri, su miktarında azalma, pH değişimi, UV ışını ve patojenik mikroorganizmalar gibi kötü çevre koşullarından korumaktadır [17, 36, 37]. BS ile örtülü olan asetik asit bakterilerinin 1 saat UV ışınlanması sonucu %23'ünün canlı kaldığı belirtilmiştir [38].

Suda çözünmez, elastik, yüksek gerilime dirençli ağısı bir yapıya sahip [16, 39] olan BS'nin kristalizasyon derecesi oldukça yüksektir [40, 41]. Bu özellikleri, bitki orijinli selülozda bulunmamaktadır [39]. Ayrıca yüzey alanı bitkisel selüloza göre yaklaşık 200 kat daha büyük olan [16, 36, 42] BS, yüksek su tutma kapasitesine sahiptir [39, 42]. BS mikrofibrillerinin bitkisel selülozlarından yaklaşık 100 kat daha ince ve gözenekli bir yapıya sahip olduğu bildirilmiştir [43, 44]. Selülozun sentezlenmesi esnasında glukoz zincirleri bakteri hücre duvarından salgılanmakta ve bir araya toplanarak nanofibril selüloz şeritleri oluşmaktadır [38]. Bu şeritler, BS'nin çok gözenekli matrisli örümcek ağı şeklindeki yapısını oluşturmaktadır [45, 46] ve aynı zamanda hidrofilik ve biyolojik olarak parçalanabilme yeteneğine sahiptir [2]. Kurutulmuş 0.01-0.5 mm kalınlığında bir BS tabakası, ses dalgalarını hızlı bir şekilde iletebilme [42, 47, 48] özelliğine sahip olup, bu özelliğinden dolayı akustik membran olarak kullanılabilir [38, 47, 48].

Selülozun; I, II, III ve IV olmak üzere dört ana polimorfu vardır. Selüloz I çoğunlukla, alomorf I_a (bakteri ve alg) ve I_b (yüksek bitkiler) formundadır [49] ve konsantre alkali çözeltilerle muamele edildiğinde termodinamik açıdan daha kararlı kristal bir form olan selüloz II'ye dönüşmektedir. Selüloz III, selüloz mikrokristallerinin süper kritik amonyak ile muamele edilmesi ile elde edilmektedir. Selüloz IV_I ve IV_{II} ise selüloz III'ün 260°C'de gliserolde ısıtılması ile oluşmaktadır [50]. BS üreticisi olan bakteriler selüloz I ve termodinamik açıdan stabil yapıda bulunan selüloz II yapılarını üretmekte [43] olup, bu iki form X-ray, nükleer magnetik rezonans, Raman spektroskopisi ve Infrared analizi ile tespit edilebilmektedir [42].

BAKTERİYEL SELÜLOZ ÜRETİMİ

BS; bazı *Komagataeibacter*, *Gluconacetobacter*, *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Sarcina*, *Salmonella* ve *Escherichia* gibi çeşitli bakteri türleri tarafından üretilmektedir [51-53]. *Komagataeibacter* grubundaki *K. xylinum* (*Acetobacter xylinum*, *Gluconacetobacter xylinus*), *K. hansenii*, *K. europaeus*, *K. oboediens* ve *K. intermedius* en iyi BS üreticisi olarak bilinir [54-57]. Selüloz üretiminde en çok çalışma yapılan suşlar, bunların üretim miktarları sistematik olarak Tablo 2'de, gelişme koşulları da Tablo 3'te verilmiştir. Klasik bir kültür ortamı; pH 4-6 arasında karbon ve nitrojen kaynağı ile bakteri gelişimi için gerekli diğer bileşenlerden oluşmaktadır. Bol miktarda karbon kaynağı ve minimal nitrojen kaynağı sağlandığında bakterilerin selüloz üretim verimleri artmaktadır [57]. Fermantasyon esnasında bakterilerin sukroz, rafinoz ve stakiyoz gibi, nispeten daha yüksek moleküllü karbon kaynaklarını tüketmeden önce fruktoz ve glukoz gibi

küçük moleküllü karbon kaynaklarını tüketmeyi tercih ettikleri belirlenmiştir [58].

BS üretiminde kullanılan karbon kaynaklarının yüksek maliyetinden dolayı, geniş ölçekli uygulamalarda kullanımı bulunmamaktadır. Bu nedenle üretim maliyetini azaltmak için birçok çalışma bulunmaktadır [40, 57, 59]. Son zamanlarda tarım, ormancılık, endüstriyel atıkların, BS üretiminde karbon kaynağı olarak kullanılması ile üretim maliyetlerinin azaltılmasına çalışılmaktadır [41]. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda; gıda işleme atıkları [60], hidrolize hemiselüloz [61], pancar ve şeker kamışı melası [62], çeşitli meyve atıkları [59, 63], konjac tozu [64], pirinç kabuğu [65], buğday sapı [66], pamuk atıkları [67], akçaağaç şurubu [68], kahve kabuğu [69], zeytin öğütme kalıntısı [70], atık bira mayası [41], hurma şurubu [71] ve ağaç ekstraktları [72] BS üretiminde kullanılmıştır.

BS'nin biyosentezi, çok sayıda enzim içeren bir biyokimyasal olaydır. BS biyosentezi oksidatif karbonhidrat metabolizmasına bağlıdır. Glukokinaz, fosfoglukomutaz ve üridin difosfat (UDP)-glukoz pirofosforilaz, selüloz sentezi ile ilgili enzimlerdir. Selüloz sentezi dört adımda gerçekleşmekte olup biyokimyasal yolu Şekil 2'de gösterilmiştir. Glukozun glukokinaz enzimi tarafından glukoz-6-fosfat (G6P)'a fosforilasyonu ile sentez başlamakta, bunu glukoz-6-fosfatın fosfoglikomutaz enzimi ile glukoz-1-fosfata (G1P) dönüşümü izlemekte, daha sonra glukoz-1-fosfattan UDP-glukoz pirofosforilaz enzimi ile UDP- glukoz sentezlenme ve en sonunda UDP-glukoz'dan selüloz sentez enzimi ile selüloz oluşmaktadır [38, 52].

BS farklı fermantasyon koşullarında, farklı şekillerde üretilebilir [95, 96]. Geleneksel olarak statik veya çalkalamalı kültür yöntemleri ile üretilmektedir. Geleneksel üretim yöntemleri haricinde BS üretimi amacı ile döner disk reaktörü, döner biyofilm reaktörü, döner filtreli biyoreaktör ve silikon membranlı reaktörler geliştirilmiştir. Statik kültür yöntemi, uzun bir süre gerektirmekte, çalkalamalı kültür yöntemi ise bakterilerin hızlı gelişmesini sağlamakta, ancak mikroorganizmalar selüloz oluşturmayan mutantlara dönüşebilmekte, bu da BS verimliliğini düşürmektedir [97]. Karıştırmalı tank ya da airlift reaktörlerde, aygıtın üst kısmına ve iç duvarlarına BS kültürünün yapışması problemleri olmakta ve BS veriminin azalmasına neden olmaktadır [81]. Selüloz üretimi amacı ile geliştirilen döner disk reaktörlerinde, disk yüzeyinin yarısı besiyeri içerisine batmış, diğer yarısı ise atmosferde kalacak şekilde tasarlanmıştır. Disk sürekli dönerek diskin yüzeyi sürekli besiyerine ve atmosfere maruz kalmaktadır ve disk yüzeyine yapışmış olan hücreler atmosferdeki oksijeni ve besiyerine daldırıldığında ise besin maddelerini kullanmakta ve BS üretimi gerçekleşmektedir [43, 81]. Döner biyofilm reaktörleri, yatay bir shaft üzerine monte edilmiş bir dizi dairesel disklerden oluşmaktadır ve diskler dönerek fermantasyon ortamı ve havaya maruz kalmaktadır. Bu esnada selüloz üreticisi bakteriler, güçlü bir kayma gerilmesi ile karşı karşıya kalmamakta ve biyoreaktör karıştırıldığında mikroorganizmalar hava ile kolaylıkla tamasa geçerek mükemmel oksijen aktarımı sağlanmaktadır [43, 97, 98]. Silikon membranlı

reaktörlerde, BS üretim oranını artırmak için oksijen geçiren sentetik bir membran ve sıvı bir yüzey üzerinde selüloz zarlarının olduğu bir sistem geliştirilmiştir. BS üretimi, alt tarafı 100 mm kalınlığında silikon bir membran ile kaplı silindirik bir plaka ile iki katına çıkartılabilmektedir [43, 99]. Batık kültürde ekzopolisakkarit üretiminde, besiyeri ortamında hava miktarı yetersiz olduğundan fermantasyon sıvısının vizkozitesinde önemli bir artış meydana gelmektedir. Statik kültürde üretim esnasında glukonik, asetik ya da laktik asit birikimi ile pH'nın bakterilerin gelişeceği ve polisakkarit üretebileceği değerlerin altına düşmemesi için kültür sıvısının pH'nın kontrolü oldukça önemlidir [100-102]. Batık kültür koşulları altında selüloz sentezi üretiminde en büyük problem, selüloz üretmeyen

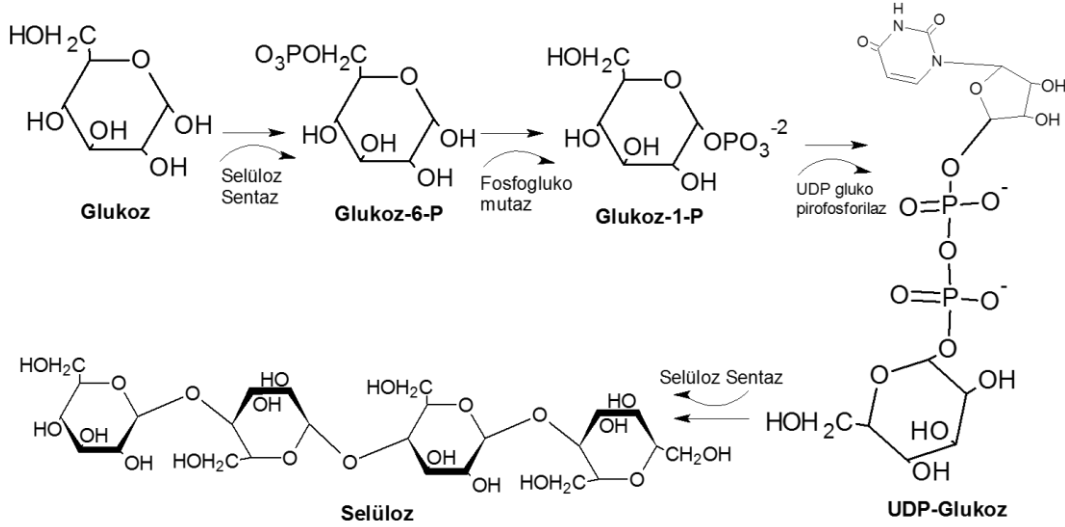
hücrelerin de oluşmasıdır [48, 74]. Selüloz üreten bakteriyel suşların statik kültür koşullarında, karıştırmalı ya da batık kültürler nazaran daha fazla selüloz oluşturduğu belirtilmektedir. Ayrıca yüzey alanı, birim başına BS film tabakasının üretim hızının hemen hemen sabit olması nedeniyle, kültür ortamının yüzey alanının artırılması ile BS üretim hızı artırılabilir. Bununla beraber üretim için büyük alanlara ihtiyaç duyulmaktadır [43]. BS'nin sürekli üretiminde ise BS üretimi, derinliği 3-4 mm olan geniş tavalarda gerçekleştirilmekte, belirli aralıklarla yüzeyde oluşan selüloz sürekli uzaklaştırılmaktadır. Bu şekilde elde edilen BS'nin normal selüloz liflerinden önemli ölçüde daha fazla olduğu belirtilmiştir [103].

Tablo 2. Bakteriyel selüloz üreten farklı suşlar

Mikroorganizma	Karbon Kaynağı	Ek Kaynak	Kültür Süresi	Miktar (g/L)	Kaynak
<i>K. xylinum</i> BRC 5	Glukoz	Etanol, oksijen	50 saat	15.30	[73]
<i>K. hansenii</i> GA2016	Glukoz	Yok	21 gün	7.44	[54]
<i>G. hansenii</i> PJK (KCTC 10505 BP)	Glukoz	Oksijen	2 gün	1.72	[74]
<i>G. hansenii</i> PJK (KCTC 10505 BP)	Glukoz	Etanol	3 gün	2.50	[75]
<i>Acetobacter</i> sp. V6	Glukoz	Etanol	8 gün	4.16	[76]
<i>Acetobacter</i> sp A9	Glukoz	Etanol	8 gün	15.20	[77]
<i>K. xylinum</i> BPR2001	Melas	Yok	3 gün	7.82	[78]
<i>K. xylinum</i> BPR2001	Fruktoz	Agar, oksijen	3 gün	14.10	[79]
<i>K. xylinum</i> BPR2001	Fruktoz	Agar	56 saat	12.00	[79]
<i>K. xylinum</i> ssp. <i>sucrofermentans</i> BPR2001	Fruktoz	Oksijen	52 saat	10.40	[80]
<i>K. xylinum</i> ssp. <i>sucrofermentans</i> BPR2001	Fruktoz	Agar, oksijen	44 saat	8.70	[80]
<i>K. xylinum</i> E25	Glukoz	Yok	7 gün	3.50	[81]
<i>K. xylinum</i> strain (K3)	Mannitol	Yeşi çay	7 gün	3.34	[82]
<i>K. xylinum</i> IFO 13773	Glukoz	Lignosülfat	7 gün	10.10	[83]
<i>K. xylinum</i> NUST4.1	Glukoz	Sodyum alginat	5 gün	6.00	[84]
<i>K. xylinum</i> IFO 13773	Melas	Yok	7 gün	5.76	[83]
<i>K. oboediens</i>	Glukoz	Yok	14 gün	8.50	[85]
<i>Gluconoacetobacter</i> sp. RKY5	Gliserol	Yok	6 gün	5.63	[86]
<i>G. sp. st-60 12 ve Lactobacillus mali</i> JCM1116 Yardımcı Kültürü	Sukroz	yok	3 gün	4.20	[87]

Tablo 3. Bakteriyel selüloz üreten bazı suşların optimum gelişme koşulları

Cins ve tür	Suş	Optimal Besiyeri	Süre (h)	pH	Sıc. (°C)	Kültür Tipi	Kaynak
<i>K. xylinum</i>	K3	HS	48	5	30	Statik	[82]
	BPR 2001	1.5 mL/L CSL	72	5	28	Statik	[88]
	BPR 2001	1.5 mL/L CSL	24	5	30	180 rpm	[78]
	KU1	15 g/L D-mannitol, 5 g/L polipepton, 20 g/L maya ekstraktı	48	5	30	Statik	[89]
	FC01	HS	-	5	30	Statik	[11]
	ATCC 53524	HS	48	5	30	Statik	[90]
	MTCC 2623	25 g/L mannitol, 5 g/L maya ekstraktı ve 3 g/L pepton	48	5	30	140 rpm	[91]
<i>K. hansenii</i>	PJK	10g/L Glukoz, 10 g/L maya ekstraktı, 7 g/L pepton, 1.5 mş/L asetik asit, 0.2 g/L süksinat, 15 g/L agar	24	5	30	200 rpm	[74, 92]
<i>K. sacchari</i>	NCIM 2529	HS	48	5	30	120 rpm	[93]
	-	15 g/L agar içeren HS	48	-	30	Statik	[83]
	<i>K. persimmonis</i>	GH-2	2 ml/L asetik asit, 5 mL/L etanol ve 0.2 g/L siklohegzimid	24	5	30	Statik



Şekil 2. Glukozdan selüloz üretiminin biyokimyasal yolu [58]

BS UYGULAMALARI

BS'ların, gıda ve içecek işleme, enzim immobilizasyonu, fotokataliz uygulamaları, biosensör, boya sanayi, ağır metal çıkarma, kağıt imalatı, paketlenme, filtrasyon malzemesi, ayırma membranları, yakıt hücreleri ve ilaç ve tıbbi uygulamalar gibi birçok alanda kullanımı araştırılmaktadır [53, 93]. Diyet liflerinin bir dizi sağlık yararları sağladığı ve diyabet, obezite, kalp-damar hastalıkları ve divertikülit gibi kronik hastalık risklerinin azaltılmasına yardımcı olduğu bilinmektedir [104]. BS de bir diyet lifi olduğundan, 1992 yılında Amerika Gıda ve İlaç İdaresi tarafından "Genel olarak güvenli kabul edilen" (GRAS) olarak sınıflandırılması kabul edilmiştir.

BS geleneksel olarak Güney-Doğu Asya'da Nata (bakteriyel selüloz) üretmek için kullanılmaktadır. Nata yumuşak ve pürüzsüz yüzeye ve tekstürel yapıya sahip bir gıdadır. Son yıllarda Nata pazarının büyümeye devam ettiği ve bu nedenle BS'nin, pazar payının giderek artacağı belirtilmektedir [7]. Nata'nın, Nata de coco ve Nata de pina gibi birçok çeşidi bulunmaktadır. Nata de coco'da hindistan cevizi, Nata de pina'da ise ananas, bakteriler için karbon kaynağı olarak kullanılmaktadır. Fermentasyon sonucu oluşan ince selüloz plakası yıkanıp, kaynatılmakta ve şeker şurubu içerisinde tatlı, meyve kokteyli ve jöle gibi gıda uygulamalarında kullanılmaktadır. Nata de coco'nun yüksek lif içeriğinin tüketicilerde serum lipid seviyesini [105] ve kolesterolü düşürücü etkiye sahip olduğu [6, 106, 107] bildirilmektedir.

Yapılan çalışmalarda BS ile düşük kolesterolü yeni gıdaların üretilebileceği belirtilmektedir. Monakolin K (*Monascus* türlerinin bir metaboliti, güçlü bir HMG-CoA redüktaz inhibitörü, serum kolesterol seviyesi düşürücü) ve BS'nin kombinasyonu ile üretilen *Monascus*-BS kompleksinin, vejeteryenler için et ya da deniz ürünleri yerine kullanılabilirliği bildirilmiştir [6, 108]. Doğal bir kırmızı renk pigmenti olan *monascus*, BS ile beraber kullanıldığında, kompleksinin morfolojisi ve renginin stabil olduğu, karışımın lezzetinin ete benzer olduğu ve kompleksin kolesterol düşürücü ve diyet liflerininin sahip

olduğu diğer avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir [109, 110].

BS bir gıda katkı maddesi olarak; kıvam artırıcı, stabilize edici, jelleştirici, süspansiyon edici ve su bağlayıcı olarak, düşük konsantrasyonlarda, ısıl işlem ve donma-çözülme koşullarında dahi lezzet etkileşimlerini önleyici, geniş pH aralığında gıda stabilitesini artırıcı gibi özelliklere sahiptir [7]. BS'nin hamurumsu çeşni içerisine ilavesinden sonra kıvamın önemli ölçüde geliştiği, BS içeren ürünün en az bir ay depolama süresi boyunca kendi nem oranını muhafaza ettiği belirtilmiştir. BS içeren dondurmanın şeklinin, dondurucudan çıkarıldıktan sonra en az 60 dakika boyunca muhafaza edildiği, buna karşın aynı süre içinde BS içermeyen dondurmanın tamamen eridiği belirtilmiştir [111, 112]. Daha iyi doku ve sertlik sağlanması için tofu üretiminde yapıya %0.2-0.3 oranında BS ilavesi ile jel kuvvetinin önemli derecede arttırıldığı ve kamaboko (Japon işlenmiş deniz ürünü, kürlenmiş surimi) ürünlerinde daha iyi sertlik, kırılabilirlik sağladığı ve esnekliğini düzenlediği, bu sayede kamabokonun daha uzun süre duyuusal özelliklerini muhafaza edebileceği belirtilmiştir. Çikolata içeceklerine, BS gözeneklerinin kakao taneciklerini tutmasından dolayı, kakaonun çökmesinin önlenildiği, ayrıca sterilizasyonundan sonra büyük bir ısı kararlılığına sahip olduğu ve bu nedenle viskozitenin ısı uygulamalarından sonra değişmeden kaldığı belirtilmektedir [111, 112].

BS ile düşük kalorili gıda ürünleri üretilebileceği belirtilmektedir. Örneğin köftelere %10 oranında BS ilavesinin, köftenin duyuusal ve raf ömründe kontrol örnekleriyle benzer özellikler gösterdiği, bu köftelerin sulu ve çiğnenebilir olduğu ve bu nedenle de emülsifiye et ürünlerinde yağ yerine ilave edilebilecek potansiyel bir ürün olarak kabul edilmektedir [5]. Yağ yerine BS'nin kullanıldığı surimi ürünlerinin üstün bir su tutma kapasitesine sahip olduğu, ürünün kendine özgü yapısının korunduğu ve daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir [113]. Mayonez, sucuk ve beyaz peynir gibi gıdaların üretiminde BS kullanımı konusunda yapılan bir çalışmada [114], yağ miktarı %20 azaltılan ve %1 BS ilave edilen mayonezin, duyuusal

değerlendirme sonucunda en fazla tercih edilen ve stabilitesi en fazla olan ürün olduğu belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca, sucuk üretiminde yağ yerine BS ilavesinin, alışılagelmiş sucuk özelliklerini taşıdığı, kalorisinin düştüğü ve diyet lif içeriğinin arttığı, BS ilave edilen beyaz peynirlerde de erimenin oluşmadığı belirtilmiştir.

1992 yılında BS Japonya'da diyet içeceklere ilave edilmeye başlanmıştır. BS üretebilen asetobakterler ile çay ve şeker fermente edilmekte, ürünler Kombucha ya da Mançurya çayı olarak tüketilmektedir [8, 108]. BS'nin iyi bir ağ yapısına ve uygun bir malzemeye sahip olduğu, biyolojik olarak parçalanabilme ve yüksek su direncine sahip olduğu ve gıda paketlenme için uygun bir malzeme olduğu; ancak gıda kontaminasyonlarını önlemek için antioksidan ve antibakteriyel özelliğe sahip olmadığı, bu nedenle BS'nin antimikrobiyal, antioksidan maddelerle birlikte kullanımı sonucunda çok daha etkili sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir [115]. Ambalaj malzemesi olarak esterleştirilmiş BS membranının, orijinal BS membranına göre buhar ve gazı karşı daha iyi bariyer özellik gösterdiği belirtilmiştir [116]. Polilaktik asit (PLA) biyolojik olarak parçalanabilir ve yenilenebilir termoplastik polyester olmasına karşın, bazı spesifik uygulamalar için uygun olmamasından dolayı; BS ile PLA kombinasyonunun hem şeffaf hem de daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu bulunmuştur [117].

Vakum paketlenmiş frankfurter sosislerin yüzeylerine toplam aerobik bakteri ve *Listeria monocytogenes*'i kontrol etmek için antimikrobiyal özelliğe sahip nisin içeren BS filmlerinin kullanıldığı bir çalışmada [118], 2500 IU/mL nisin içeren BS filmlerinin 14 günlük depolamadan sonra, kontrol ile karşılaştırıldığında frankfurterler üzerinde *L. monocytogenes* sayısında önemli bir düşüş (~2 log CFU/g) gösterdiği, toplam aerobik bakteri sayılarında benzer etki (~3.3 log CFU/g) gösterdiği ve raf ömrünü uzattığı belirtilmiştir. BS-gümüş nanopartikül kompozitlerinin *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ve *Bacillus subtilis* gibi patojen mikroorganizmalara karşı yüksek bir antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir [119, 120].

BS, çok iyi mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı birinci kalite kağıt üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir. BS ilavesi yapılan bu kağıtların dolgu ve renk maddelerini iyi absorbe ettikleri, elastik ve geçirgen oldukları, ayrıca yırtılmalara ve yanmalara karşı dirençli ve yüksek su tutma kapasitesi özelliklerine sahip olduğu belirtilmektedir [36, 121]. Tarihi dokümanların tadilatlarında kullanılan ve fibrillerine az miktarda BS ilave edilen el yapımı kağıtların ve dokümanların yıpranmaya karşı direncinin arttığı [36, 122], içeriğinde %1 oranında BS olan kağıtların ISO 9706:1994 standardında yer aldığı, %3 BS içeren kağıtların %20 kaplamalı rotogravuer kağıdına benzeyen yüzey özelliklerine sahip olduğu bildirilmiştir [36, 42].

BS, yüksek kalite ses membranı [123], elektronik kağıt [124], hidrojel [125, 126], yara bandı [45], yapay deri [127] olarak ve vasküler protez cihazı [128, 129] gibi tıbbi malzemelerin üretiminde de kullanılmaktadır. Yanık tedavisinde yanık bölge üzerinde iyileştirici özelliğe

sahip olduğu [36, 130, 131], BS'nin steril edilebilir, dokuya uyumlu, gözenekli, elastik, elle tutulabilir ve suyu adsorblama özellikleri sayesinde yaraların daha hızlı iyileşmesinin sağlandığı, yaralı bölgelerde enfeksiyon oluşumunu engellendiği, yanma vakalarında yanık bölgenin ısısını adsorbe ederek acı ve ağrının azaldığı ve dokuda yaranın yayılmasının engellendiği [131] bildirilmiştir. Hayvansal kaynaklı kollajen kaplayıcılar yerine BS içeren kaplayıcılar [Rensselaer Polytechnic Institute, ABD] yara kapatıcı olarak ülser tedavisinde kullanılmaktadır. *K. xylinum*'dan üretilen BS'nin yaraları iyileştirici etkisi olduğu [131], BS fibrillerinin suni kan damarı olarak kullanılabileceği belirtilmektedir [36, 132, 133].

Süperkritik karbondioksit kurutma ile üretilen BS aerojellerin, gözenekli ve ıslatılabilir yapıya sahip olduğu, aerojellerin kozmetik veya tıp alanlarında kontrollü salınım için D-pantenol ya da L-askorbik asit gibi bioaktif bileşenlerin, BS'nin iç yüzeyine homojen bir biçimde yerleştirilebileceği ve kontrol edilebilir oranda salınabilmesinin mümkün olabileceği bildirilmiştir [134]. BS ayrıca, suni deri ve tekstil ürünlerinde adsorban olarak, krem, tonik, tırnak cilası emilimini artırmak amacıyla kozmetik sanayinde de kullanılmaktadır [47, 130].

SONUÇ

BS, çoğunlukla uzak doğu ülkelerinde geleneksel olarak tüketilmektedir. BS'nin diğer pek çok polimere göre üstün fizikokimyasal özellikleri ve serum kolesterol, kan yağ seviyesini azaltıcı ve sindirimi düzenleyici gibi sağlık üzerine olumlu etkilerinden dolayı gıda sanayinde kullanım potansiyeli de yüksektir. Bununla beraber BS üretiminde kullanılan karbon kaynaklarının yüksek maliyetinden dolayı, geniş ölçekli uygulamalarda kullanımı bulunmamaktadır. Bu nedenle üretim maliyetini azaltmak için birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle karbonhidrat bakımından zengin tarımsal, endüstriyel ve evsel gıda yan ürün ve atıklarının BS üretiminde karbon kaynağı olarak kullanımı ile BS üretim maliyetlerinin düşürülmesi sağlanabilir. BS kullanım ve tüketiminin yaygınlaşması, özellikle günümüzde yaşam tarzından kaynaklanan hastalıkların azaltılmasında önemli rol oynayabileceği gibi aynı zamanda tüketicinin daha sağlıklı ürünleri tüketme isteğine de cevap verebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ramírez, C.M., Castro, C., Zuluaga, R., Gañán, P. ((2018)). Physical characterization of bacterial cellulose produced by *Komagataeibacter medellinensis* using food supply chain waste and agricultural by products as alternative low cost feedstocks. *Journal of Polymers and the Environment*, 26, 830-837.
- [2] Lestari, P., Elfrida, N., Suryani, A., Suryadi, Y. ((2014)). Study on the production of bacterial cellulose from *Acetobacter xylinum* using agro-waste. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 7(1), 75-80.

- [3] Perez, S., Samain, D. (2010). Structure and engineering of celluloses. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 64, 25-116.
- [4] Singhsa, P., Narain, R., Manuspiya, H. (2018). Physical structure variations of bacterial cellulose produced by different *Komagataeibacter xylinus* strains and carbon sources in static and agitated conditions. *Cellulose*, 25, 1571-1581
- [5] Lin, K.W., Lin, H.Y. (2004). Quality characteristics of Chinese-style meatball containing bacterial cellulose (Nata). *Journal of Food Science*, 69(3), 107-111.
- [6] Stephens, S.R., Westland, J.A., Neogi, A.N. (1990). Method of using bacterial cellulose as a dietary fiber component. US patent 4960763.
- [7] Shi, Z., Zhang, Y., Phillips, G.O., Yang, G. (2014). Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids*, 35, 539-545.
- [8] Ng, C., Sheu, F., Wang, C., Shyu, Y. (2004). Fermentation of *Monascus purpureus* on agri-by-products to make colorful and functional bacterial cellulose (NATA). *Microbiology Indonesia*, 4(1), 6-10.
- [9] Shah, N., UI-Islama, M., Khattaka, W.A., Parka, J.K. (2013). Overview of bacterial cellulose composites: a multipurpose advanced material. *Carbohydrate Polymers*, 98, 1585-1598.
- [10] Çakar, F., Özer, İ., Aytekin, A.O., Şahin, F. (2014). Improvement production of bacterial cellulose by semi-continuous process in molasses medium. *Carbohydrate Polymers*, 106, 7-13.
- [11] Gunduz, G., Kiziltas, E.E., Kiziltas, A., Gencer, A., Aydemir, D., Asik, N. (2018). Production of bacterial cellulose fibers in the presence of effective microorganism. *Journal of Natural Fibers*, DOI: 10.1080/15440478.2018.1428847.
- [12] Brock, T.D., Madigan, M.T. (1994). Biology of Microorganisms, Seventh Edition, pp. 899, Prentice-Hall International Inc., New Jersey.
- [13] Sutherland, I.W. (1994). Structure-function relationship in microbial exopolysaccharides. *Biotechnology Advances*, 12, 393-448.
- [14] Sutherland, I.W. (1998). Novel and established applications of microbial polysaccharides. *Trends in Biotechnology*, 16, 41-46.
- [15] Kılıç, S., (2001). Süt Endüstrisinde Laktik Asit Bakterileri. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü, 1. Basım, 193-194s., İzmir.
- [16] Reiniati, I., Hrymak, A.N., Margaritis, A. (2017). Recent developments in the production and applications of bacterial cellulose fibers and nanocrystals. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37(4), 510-524.
- [17] Crescenzi, V., Dentini, M., Coviello, T. (1991). Solution and gelling properties of polysaccharides. *Polyelectrolytes*, 41, 61-71.
- [18] Lin, C.C., Cassida, L.E., Jr. Lin, C.C., Cassida Jr, L.E. (1984). Gelrite as a gelling agent for the growth of thermophilic microorganisms. *Applied Environmental Microbiology*, 47, 427-429.
- [19] Ravella, S.R., Quinones, T.S.R., Retter, A., Heiermann, M., Amon, T., Hobbs, P.J. (2010). Extracellular polysaccharide (EPS) production by a novel strain of yeast-like fungus *Aureobasidium pullulans*. *Carbohydrate Polymers*, 82(3), 728-732.
- [20] Ahmad, N.H., Shuhaimi M., Man, Y.B.C., (2015). Microbial polysaccharides and their modification approaches: a review. *International Journal of Food Properties* 18: 332-347.
- [21] Huang, H.C., Chen, L.C., Lin, S.B., Hsu, C.P., Chen, H.H., (2010). In situ modification of BC network structure by adding interfering substances during fermentation. *Bioresource Technology* 101: 6084-6091.
- [22] Chouly, C., Colquhoun, I.J., Jodele, A., 1995. NMR studies of succinoglycan repeating-unit octasaccharides from *Rhizobium meliloti* and *Agrobacterium radiobacter*. *International Journal of Biological Macromolecules* 17(6): 357-363.
- [23] Kaneda, I., Kobayashi, A., Miyazawa, K., Yanaki, T., (2002). Double helix of *Agrobacterium tumefaciens* succinoglycan in dilute solution. *Polymers* 43: 1301-1305.
- [24] Béjar, V., Llamas, I., Calvo, C., Quesada, E., 1998. Characterization of exopolysaccharides produced by 19 halophilic strains of the species *Halomonas eurihalina*. *Journal of Biotechnology* 61: 135-141.
- [25] Bekers, M., Upite, D., Kaminska, E., Laukevics, J., Grube, M., Vigants, A., Linde, R., (2005). Stability of levan produced by *Zymomonas mobilis*. *Process Biochemistry* 40: 1535-1539.
- [26] Majumder, A., Goyal, A., (2009). Rheological and gelling properties of novel glucan from *Leuconostoc dextranicum* NRRL B-1146. *Food Research International* 42: 525-528.
- [27] Falconer, D.J., Mukerjea, R., Robyt, J.F., (2011). Biosynthesis of dextrans with different molecular weights by selecting the concentration of *Leuconostoc mesenteroides* B-512FMC dextransucrase, the sucrose concentration, and the temperature. *Carbohydrate Polymers* 364: 280-284.
- [28] Schürks, N., Wingender, J., Flemming, H., Mayer, C., (2002). Monomer composition and sequence of alginates from *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Biological Macromolecules* 30: 105-111.
- [29] Çelik, G.Y., Aslım, B., Beyatlı, Y., (2008). Characterization and production of the exopolysaccharide (EPS) from *Pseudomonas aeruginosa* G1 and *Pseudomonas putida* G12 strains. *Carbohydrate Polymers* 73: 178-182.
- [30] Gonçalves, V.M.F., Reis, A., Domingues, M.R.M., Lopes-da-Silva, J.A., Fialho, A.M., Moreira, L.M., Sá-Correia, I., Coimbra, M.A., (2009). Structural analysis of gellans produced by *Sphingomonas elodea* strains by electrospray tandem mass spectrometry. *Carbohydrate Polymers* 77: 10-19.
- [31] Wu, X.C., Chen, Y.M., Li, Y.D., Li, O., Zhu, L., Qian, C.D., Tao, X.L., Teng, Y., (2011). Constitutive expression of vitreoscilla haemoglobin in *Sphingomonas elodea* to improve gellan gum production. *Journal of Applied Microbiology* 110: 422-430.
- [32] Sanderson, G.R., 1982. The interactions of xanthan gum in food systems. *Progress in Food and Nutrition Science* 6: 77-87.

- [33] Brown, R.M.J., Saxena, I.M. (2007). *Cellulose: Molecular and structural biology*, Springer, ISBN 978-1-4020-5332-0, New York, NY.
- [34] Li, Z., Wang, L., Hua, J., Jia S., Zhang, J., Liu, H. (2015). Production of nano bacterial cellulose from waste water of candiedjujube-processing industry using *Acetobacter xylinum*. *Carbohydrate Polymers*, 120, 115-119
- [35] Brown, E.E. (2007). Bacterial Cellulose/Thermoplastic Polymer Nanocomposites. Master Of Science In Chemical Engineering, Washington State University, Department of Chemical Engineering, USA.
- [36] Bielecki, S., Krystynowicz, A., Turkiewicz, M., Kalinowska, H. (2000). Bacterial Cellulose. In: Steinbuchel A (Ed), *Biopolymers: Polysaccharides I.*, Vol.7, pp. 37-90. Wiley-VCH Verlag GmbH, Munster, Germany.
- [37] Iguchi, M., Yamanaka, S., Budhiono, A. (2000). Bacterial cellulose—a masterpiece of nature's arts. *Journal of Materials Science*, 35, 261-270.
- [38] Ross, P., Mayer, R., Benziman, M. (1991). Cellulose biosynthesis and function in bacteria. *Microbiological Reviews*, 55(1), 35-58.
- [39] Araújo, I.M.S., Silva, R.R., Pacheco, G., Lustrri, W.R., Tercjak, A., Gutierrez, J., Júnior, J.R.S., Azevedo, F.H.C., Figueiredo, G.S., Vega, M.L., Ribeiro, S.J.L., Barudc, H.S. (2018). Hydrothermal synthesis of bacterial cellulose–copper oxide nanocomposites and evaluation of their antimicrobial activity. *Carbohydrate Polymers*, 179, 341-349.
- [40] Revin, V., Liyaskina, E., Nazarkina, M., Bogatyreva, A., Shchankin, M. (2018). Cost-effective production of bacterial cellulose using acidic food industry by-products. *Brazilian Journal of Microbiology*, <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.12.012>.
- [41] Lin, D., Sanchez, P.L., 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.
- [42] Johnson, D.C., Neogi, A.N. (1989). Sheeted products formed from reticulated microbial cellulose. US Patent, 4863565.
- [43] Chawla, P.R., Bajaj, I.B., Survase, S.A., Singhal, R.S. (2009). Microbial cellulose: fermentative production and applications. *Food Technology Biotechnology*, 47(2), 107-124.
- [44] Gayathry, G., Gopaldaswamy, G. (2014). Production and characterization of microbial cellulosic fibre from *Acetobacter xylinum*. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 39, 93-96.
- [45] Dahman, Y. (2009). Nanostructured biomaterials and biocomposites from bacterial cellulose nanofibers. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 9, 5105-5122.
- [46] Maria, L.C.S., Santos, A.L.C., Oliveira, P.C., Valle, A.S.S. (2010). Preparation and antibacterial activity of silver nanoparticles Impregnated in bacterial cellulose. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 20, 72-77.
- [47] Jonas, R., Farah, L.F. (1998). Production and application of microbial cellulose. *Polymer Degradation and Stability*, 59, 101-106.
- [48] 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), 93-99.
- [49] Kontturi, E., Tammelin, T., Osterberg, M. (2006). Cellulose-model films and the fundamental approach. *Chemical Society Reviews*, 35(12), 1287-1304.
- [50] Keshk, S.M. (2014). Bacterial cellulose production and its industrial applications. *Bioprocessing & Biotechniques*, 4(2), 1-10.
- [51] Huang, Y., Zhu, C., Yang, J., Nie, Y., Chen, C., Sun, D. (2014). Recent advances in bacterial cellulose. *Cellulose*, 21(1), 1-30.
- [52] Römling, U., Galperin, M.Y. (2015). Bacterial cellulose biosynthesis: diversity of operons, subunits, products, and functions. *Trends in Microbiology*, 23(9), 545-557.
- [53] Uzyol, H. K., Saçan, M.T. (2016). Bacterial cellulose production by *Komagataeibacter hansenii* using algae-based glucose. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12), 11154-11162.
- [54] Güzel, M., Akpınar, Ö. (2017). *Komagataeibacter hansenii* GA2016 ile bakteriyel selüloz üretimi ve karakterizasyonu. *Gıda*, 42(5), 620-633.
- [55] Yamada, Y. (2000). Transfer of *Acetobacter oboediens* and *Acetobacter intermedius* to the genus *Gluconacetobacter* as *Gluconacetobacter oboediens* comb. nov. and *Gluconacetobacter intermedius* comb. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 50, 2225-2227.
- [56] Kawee, N., Lam, N.T., Sukya, P. (2018). Homogenous isolation of individualized bacterial nanofibrillated cellulose by high pressure homogenization. *Carbohydrate Polymers*, 179, 394-401.
- [57] Ramana, K., Tomar, A., Singh, L. (2000). Effect of various carbon and nitrogen sources on cellulose synthesis by *Acetobacter xylinum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 16(3), 245-248.
- [58] Qiu, K., Netravali, A.N. (2014). A review of fabrication and applications of bacterial cellulose based nanocomposites. *Polymer Reviews*, 54(4), 598-626.
- [59] Güzel, M., Akpınar, Ö. (2018). Production and characterization of bacterial cellulose from citrus peels. *Waste and Biomass Valorization*, DOI 10.1007/s12649-018-0241-x.
- [60] Carreira, P., Mendes, J.A., Trovatti, E., Serafim, L.S., Freire, C.S., Silvestre, A.J., Neto, C.P. (2011). Utilization of residues from agro-forest industries in the production of high value bacterial cellulose. *Bioresource Technology*, 102, 7354-7360.
- [61] Uraki, Y., Morito, M., Kishimoto, T., Sano, Y. (2002). Bacterial cellulose production using monosaccharides derived from hemicelluloses in water-soluble fraction of waste liquor from atmospheric acetic acid pulping. *Holzforchung*, 56, 341-347.

- [62] Bae, S., Shoda, M. (2005). Production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* BPR2001 using molasses medium in a jar fermentor. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 67, 45–51.
- [63] Hungund, B., Prabhu, S., Shetty, C., Acharya, S., Prabhu, V. (2013). Production of bacterial cellulose from *Gluconacetobacter persimmonis* GH-2 using dual and cheaper carbon sources. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 5, 31-33.
- [64] Hong, F., Qiu, K. (2008). An alternative carbon source from konjac powder for enhancing production of bacterial cellulose in static cultures by a model strain *Acetobacter aceti* subsp. *xylinus* ATCC 23770. *Carbohydrate Polymers*, 72, 545-549.
- [65] Goelzer, F., Faria-Tischer, P., Vitorino, J., Sierakowski, M.R., Tischer, C. (2009). Production and characterization of nanospheres of bacterial cellulose from *Acetobacter xylinum* from processed rice bark. *Materials Science and Engineering*, 29, 546-551.
- [66] Chen, L., Hong, F., Yang, X.X. ve Han, S.F. (2012). Biotransformation of wheat straw to bacterial cellulose and its mechanism. *Bioresource Technology*, 135, 464-468.
- [67] Hong, F., Guo, X., Zhang, S., Han, S.F., Yang, G., Jönsson, L.J. (2012). Bacterial cellulose production from cotton-based waste textiles: enzymatic saccharification enhanced by ionic liquid pretreatment. *Bioresource Technology*, 104, 503-508.
- [68] Zeng, X., Small, D.P., Wan, W. (2011). Statistical optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* BPR 2001 from maple syrup. *Carbohydrate Polymers*, 85, 506-513.
- [69] Usha, R.M., Appaiah, K.A. (2011). Statistical optimization of medium composition for bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter hansenii* UAC09 using coffee cherry husk extract—an agro-industry waste. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 21, 739-745.
- [70] Gomes, F.P., Silva, N.H., Trovatti, E., Serafim, L.S., Duarte, M.F., Silvestre, A.J., Neto, C.P., Freire C.S. (2013). Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter sacchari* using dry olive mill residue. *Biomass Bioenergy*, 55, 205-211.
- [71] Mohammadkazemi, F., Azin, M., Ashori, A. (2015). Production of bacterial cellulose using different carbon sources and culture media. *Carbohydrate Polymers*, 117, 518-523.
- [72] Kızıldağ, E.E., Kızıldağ, A., Gardner, D.J. (2015). Synthesis of bacterial cellulose using hot water extracted wood sugars. *Carbohydrate Polymers*, 124, 131-138.
- [73] Hwang, J.W., Yang, Y.K., Hwang, J.K., Pyun, Y.R., Kim, Y.S. (1999). Effects of pH and dissolved oxygen on cellulose production by *Acetobacter xylinum* BRC5 in agitated culture. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 88, 183-188.
- [74] Jung, J.Y., Park, J.K., Chang, H.N. (2005). Bacterial cellulose production by *Gluconoacetobacter hansenii* in an agitated culture without living non-cellulose producing cells. *Enzyme and Microbial Technology*, 37, 347-354.
- [75] Park, J.K., Jung, J.Y., Park, Y.H. (2003). Cellulose production by *Gluconacetobacter hansenii* in a medium containing ethanol. *Biotechnology Letters*, 25, 2055-2059.
- [76] Son, H.J., Kim, H.G., Kim, K.K., Kim, H.S., Kim, Y.G., Lee, S.J. (2003). Increased production of bacterial cellulose by *Acetobacter* sp. V6 in synthetic media under shaking culture conditions. *Bioresource Technology*, 86, 215-219.
- [77] Son, H.J., Heo, M.S., Kim, Y.G., Lee, S.J. (2001). Optimization of fermentation conditions for the production of bacterial cellulose by a newly isolated *Acetobacter* sp. A9 in shaking cultures. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 33, 1-5.
- [78] Bae, S., Shoda, M. (2004). Bacterial cellulose production by fed- batch fermentation in molasses medium. *Biotechnology Progress*, 20, 1366-1371.
- [79] Bae, S., Sugano, Y., Shoda, M. (2004). Improvement of bacterial cellulose production by addition of agar in a jar fermentor. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 97, 33-38.
- [80] Chao, Y., Ishida, T., Sugano, Y., Shoda, M. (2000). Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* in a 50L internal-loop airlift reactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 68, 345-352.
- [81] Krystynowicz, A., Czaja, W., Wiktorowska-Jezierska, A., Gonçalves-Mioekiewicz, M., Turkiewicz, M., Bielecki, S. (2002). Factors affecting the yield and properties of bacterial cellulose. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 29, 189-195.
- [82] Nguyen, V.Y., Flanagan, B., Gidley, M.J., Dykes, G.A. (2008). Characterization of cellulose production by a *Gluconacetobacter xylinus* strain from kombucha. *Current Microbiology*, 57, 449-453.
- [83] Keshk, S., Sameshima, K. (2006). Influence of lignosulfonate on crystal structure and productivity of bacterial cellulose in a static culture. *Enzyme and Microbial Technology*, 40(1), 4-8.
- [84] Zhou, L.L., Sun, D.P., Hu, L.Y., Li, Y.W., Yang, J.Z. (2007). Effect of addition of sodium alginate on bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 34, 483-489.
- [85] Jahan, F., Kumar, V., Saxena, R.K. (2018). Distillery effluent as a potential medium for bacterial cellulose production: A biopolymer of great commercial importance. *Bioresource Technology*, 250, 922-926
- [86] Kim, S.Y., Kim, J.N., Wee, Y.J., Park, D.H., Ryu, H.W. (2006). Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter* sp. RKY5 isolated from persimmon vinegar. *Applied Biochemical Biotechnology*, 13, 705-715.
- [87] Seto, A., Saito, Y., Matsushige, M., Kobayashi, H., Sasaki, Y., Tonouchi, N., Tsuchida, T., Yoshinaga, F., Ueda, K., Beppu, T. (2006). Effective cellulose production by a coculture of *Gluconacetobacter xylinus* and *Lactobacillus mali*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 73, 915-921.

- [88] 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, and Biochemistry*, 60, 575-579.
- [89] Oikawa, T., Ohtori, T., Ameyama, M. (1995). Production of cellulose from D-mannitol by *Acetobacter xylinum* KU-1. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 59, 331-332.
- [90] Mikkelsen, D., Flanagan, B., Dykes, G., Gidley, M. (2009). Influence of different carbon sources on bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* strain ATCC 53524. *Journal of Applied Microbiology*, 107, 576-583.
- [91] Dayal, M. S., Goswami, N., Sahai, A., Jain, V., Mathur, G., Mathur, A. (2013). Effect of media components on cell growth and bacterial cellulose production from *Acetobacter acetii* MTCC 2623. *Carbohydrate Polymers*, 94, 12-16.
- [92] Ha, J.H., Shehzad, O., Khan, S., Lee, S.Y., Park, J.W., Khan, T., Park, J.K. (2008). Production of bacterial cellulose by a static cultivation using the waste from beer culture broth. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25, 812-815.
- [93] Mohite, B.V., Patil, S.V. (2014). Physical, structural, mechanical and thermal characterization of bacterial cellulose by *G. hansenii* NCIM 2529. *Carbohydrate Polymers*, 106, 132-141.
- [94] Hungund, B.S., Gupta, S.G. (2010). Improved production of bacterial cellulose from *Gluconacetobacter persimmonis* GH-2. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 2, 127-133.
- [95] Cannon, R.E., Anderson, S.M. (1991). Biogenesis of bacterial cellulose. *Critical Reviews in Microbiology*, 17(6), 435-447.
- [96] Hu, Y., Catchmark, J. M. (2010). Formation and characterization of spherulike bacterial cellulose particles produced by *Acetobacter xylinum* JCM 9730 strain. *Biomacromolecules*, 11, 1727-1734.
- [97] Kim, J.Y., Kim, J.N., Wee, Y.J., Park, D.H., Ryu, H.W. (2007). Bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter* sp. RKY5 in a rotary biofilm contactor. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 137, 529-537.
- [98] Jung, J.Y., Khan, T., Park, J.K., Chang, H.N. (2007). Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* using a novel bioreactor equipped with a spin filter. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 24, 265-271.
- [99] Yoshino, T., Asakura, T., Toda, K. (1996). Cellulose production by *Acetobacter pasteurianus* on silicone membrane. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 81, 32-36.
- [100] Hornung, M., Ludwig, M., Gerrard, A.M., Schmauder, H.P. (2006). Optimizing the production of bacterial cellulose in surface culture: Evaluation of substrate mass transfer influences on the bioreaction (Part 1). *Engineering in Life Sciences*, 6, 537-545.
- [101] Kongruang, S. (2008). Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* strains from agricultural waste products. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 148, 245-256.
- [102] Bielecki, S., Krystynowicz, A., Turkiewicz, M., Kalinowska, H. (2005). Bacterial Cellulose. In: Polysaccharides and Polyamides in the Food Industry, A. Steinbüchel, S.K. Rhee (Eds.), Wiley-VCH Verlag, Weinheim, Germany, pp. 31-85.
- [103] Sakairi, N., Asano, H., Ogawa, M., Nishi, N., Tokura, S. (1998). A method for direct harvest of bacterial cellulose filaments during continuous cultivation of *Acetobacter xylinum*. *Carbohydrate Polymers*, 35, 233-237.
- [104] Cho, S., Almeida, N. (2012). Dietary fiber and health. CRC Press, 557p, Florida, USA.
- [105] Mesomya, W., Pakpeankitvatana, V., Komindr, S., Leelahakul, P., Cuptapun, Y., Hengsawadi, D., Tammarate, P., Tangkanakul, P., (2006). Effects of health food from cereal and nata de coco on serum lipids in human songklanakarın. *Journal of Science Technology*, 28(1), 23-28.
- [106] Ogawa, R., Tokura S. (1992). Preparation of bacterial cellulose containing N-acetylglucosamine residues. *Carbohydrate Polymers*, 19, 171-178.
- [107] David, N.S. (1996). Chemical modification of lignocellulosic materials: Chemical structures of cellulose, hemicelluloses and lignin, Marcel Dekker. Inc., New York, USA.
- [108] Ng, C., Shyu, Y.T. (2004). Development and production of cholesterol-lowering *Monascus-nata* complex. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20, 875-879.
- [109] Jzlová, P., Martinkova, L., Ken, V. (1996). Secondary metabolites of the fungus *Monascus*: a review. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 16(3), 163-170.
- [110] Purwadaria, T., Gunawan, L., Gunawan, A.W. (2010). The production of nata colored by *Monascus purpureus* J1 pigments as functional food. *Microbiology Indonesia*, 4(1), 6-10
- [111] Okiyama, A., Motoki, M., Yamanaka, S. (1992). Bacterial cellulose II. Processing of the gelatinous cellulose for food materials. *Food Hydrocolloids*, 6(5), 479-487.
- [112] Okiyama, A., Motoki, M., Yamanaka, S. (1993). Bacterial cellulose IV. Application to processed foods. *Food Hydrocolloids*, 6(6), 503-511.
- [113] Lin, S.B., Chen, L.C., Chen, H.H. (2011). Physical characteristics of surimi and bacterial cellulose composite gel. *Journal of Food Process Engineering*, 34, 1363-1379.
- [114] Çakmakçı, M.L., Karahan, A.G., Çakır, İ., Gündoğdu, A., Akoğlu, A. (2008). Selüloz üretiminde kullanılacak mikroorganizmaların izolasyonu, moleküler tanısı ve mikrobiyel selülozun gıda sanayinde kullanım olanaklarının araştırılması. TÜBİTAK TOVAG 105O156 nolu proje raporu.
- [115] Gao, C., Yan, T., Du, J., He, F., Luo, H., Wan, Y. (2014). Introduction of broad spectrum antibacterial properties to bacterial cellulose nanofibers via immobilising ϵ -polylysine nanocoatings. *Food Hydrocolloids*, 36, 204-211.
- [116] Tome, L.C., Brandão, L., Mendes, A.M., Silvestre, A.J., Neto, C.P., Gandini, A. (2010). Preparation and characterization of bacterial cellulose

- membranes with tailored surface and barrier properties. *Cellulose*, 17(6), 1203-1211.
- [117]Xiao, L., Mai, Y., He, F., Yu, L., Zhang, L., Tang, H. (2012). Bio-based green composites with high performance from poly (lactic acid) and surfacemodified microcrystalline cellulose. *Journal of Materials Chemistry*, 22(31), 15732-15739.
- [118]Nguyen, V.T., Gidley, M.J., Dykes, G.A. (2008). Potential of a nisin-containing bacterial cellulose film to inhibit *Listeria monocytogenes* on processed meats. *Food Microbiology*, 25, 471-478.
- [119]Maneerung, T., Tokura, S., Rujiravanit, R. (2008). Impregnation of silver nanoparticles into bacterial cellulose for antimicrobial wound dressing. *Carbohydrate Polymers*, 72(1), 43-51.
- [120]Sureshkumar, M., Siswanto, D. Y., Lee, C. (2010). Magnetic antimicrobial nanocomposite based on bacterial cellulose and silver nanoparticles. *Journal of Materials Chemistry*, 20(33), 6948-6955.
- [121]Iguchi, M., Mitsuhashi, S., Ichimura, K. (1988). Bacterial cellulose-containing molding material having high dynamic strength. US Patent 4,742,164.
- [122]Krystynowicz, A., Czaja, W., Bielecki, S. (1999). Biosynthesis and application of bacterial cellulose. *Zywnosc*, 3, 22-33.
- [123]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. Part II Improvement of the mechanical properties of sheets and their applicability to diaphragms of electroacoustic transducers. *Journal of Materials Science*, 25, 2997-3001.
- [124]Shah, J., Brown, R.M. (2005). Towards electronic displays made from microbial cellulose. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 66(4), 352-355.
- [125]Halib, N., Amin, M.C.I., Ahmad, I., Hashim, Z., Jamal, N. (2009). Swelling of bacterial cellulose-acrylic acid hydrogels: sensitivity towards external stimuli. *Sains Malaysiana*, 38(5), 785-791.
- [126]Halib, N., Amin, M.C.I., Ahmad, I. (2010). Unique stimuli responsive characteristics of electron beam synthesized bacterial cellulose/acrylic acid composite. *Journal of Applied Polymer Science*, 116, 2920-2929.
- [127]Fontana, J.D., de Souza, A.M., Fontana, C.K., Torriani, I.L., Moreschi, J.C., Gallotti, B.J., de Souza, S.J., Narcisco, G.P., Bichara, J.A., Farah, L.F.X. (1990). *Acetobacter* cellulose pellicle as a temporary skin substitute. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 24, 253-264.
- [128]Backdahl, H., Helenius, G., Bodin, A., Nannmark, U., Johansson, B.R., Risberg, B., Gatenholm, P. (2006). Mechanical properties of bacterial cellulose and interactions with smooth muscle cells. *Biomaterials*, 27, 2141-2149.
- [129]Charpentier, P.A., Maguire, A., Wan, W.K. (2006). Surface modification of polyester to produce bacterial cellulose-based vascular prosthetic device. *Applied Surface Science*, 252, 6360-6367.
- [130]Krystynowicz, A., Turkiewicz, M., Drynska, E., Galas, E. (1995). Bacterial cellulose biosynthesis and application. *Biotechnologia*, 30, 120-132.
- [131]Krystynowicz, A., Czaja, W., Pomorski, L., Kołodziejczyk, M., Bielecki, S. (2000). The evaluation of usefulness of microbial cellulose as a wound dressing material. 14th Forum for Applied Biotechnology, 27-28 September 2000, Gent, Belgium.
- [132]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.
- [133]Klemm, D., Schumann, U., Udhardt, U., Marsch, S. (2001). Bacterial synthesized cellulose - artificial blood vessels for microsurgery. *Progress in Polymer Science*, 26(9), 1561-1599.
- [134]Haimer, E., Wendland, M., Schluffer, K., Frankenfeld, K., Miethe, P., Potthast, A., Rosenau, T., Liebner, F. (2010). Loading of bacterial cellulose aerogels with bioactive compounds by antisolvent precipitation with supercritical carbon dioxide. *Macromolecular Symposia*, 294(2), 64-74.