

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BAKTERİYEL SELÜLOZUN TEK KADEME İLE AĞARTILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Okan AYAN

**Danışman
Doç. Dr. Emrah PEŞMAN**

**İkinci Danışman
Doç. Dr. Evren ERSOY KALYONCU**

Artvin 2025

TEZ BEYANNAMESİ

Artvin oruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-ğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “Bakteriyel Selülozun Tek Kademe ile Ağartılabilirliğinin Araştırılması” adlı tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Artvin oruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim-ğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

- ☒ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim sadece Artvin oruh niversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☐ Teziminay süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu srenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

..../...../2025

İmza

Okan AYAN

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BAKTERİYEL SELÜLOZUN TEK KADEME İLE AĞARTILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Okan AYAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06/01/2025

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 23/01/2025

Başkan : Prof.Dr. Hüseyin PEKER

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Ayfer DÖNMEZ ÇAVDAR

Jüri Üyesi : Doç.Dr Emrah PEŞMAN

ONAY:

Bu Yüksek Lisans Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 23/01/2025 tarihinde **oybirliği** ile uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

.../.../2025

Prof. Dr. Mustafa Çağatay KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Bakteriyel Selülozun Tek Kademe ile Ağartılabilirliğinin Araştırılması” konusunda yapılan bu çalışma; Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Araştırma konusunun seçimi ve yürütülmesi sırasında beni yönlendiren, bilgilendiren, çalışmanın her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle yanımda olan ve yol gösteren danışman hocam sayın Doç. Dr. Emrah PEŞMAN’a ve Doç. Dr. Üyesi Evren ERSOY KALYONCU’ya teşekkür ederim.

Araştırmanın bilimsel ve teknik açıdan uygulayıcılara faydalı olmasını dilerim.

Okan AYAN
Artvin- 2025

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEZ BEYANNAMESİ	I
JURİ KABUL TUTANAĞI	II
ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
TABLolar DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
KISALTMALAR DİZİNİ.....	XI
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Selülozun Yapısı	4
1.2 Bakteriyel Selüloz (BS).....	5
1.3 Bakteriyel Selülozun Özellikleri	6
1.4 Acetobacter xylinum	7
1.5 Bakteriyel Selüloz Biyosentezi	9
1.6 Bakteriyel Selüloz Üretimi	9
1.7 Bakteriyel Selüloz Üreten Mikroorganizmalar	12
1.8 Kâğıt Endüstrisinde Bakteriyel Selülozun Kullanılması	13
1.9.1 Özel Fonksiyonel Kâğıt.....	15
1.9.2 Yüksek Tutucu Su Kâğıdı	16
1.9.3 Ambalaj Kâğıdı	16
1.9.4 Selülozun Yıkanması ve Ağartılması	17
1.9.4.1 Ağartma.....	18
1.9.4.2 Ağartma Süreci ve Reaktör	19
2 MATERYAL VE YÖNTEM	20
2.1 Materyal	20
2.1.1 Kombucha kültürü.....	20
2.1.2 Çalışmada Kullanılan Kimyasallar	20
2.2 Yöntem	20
2.2.1 Bakteriyel Selüloz Üretimi.....	20

2.2.2	Bakteriyel Selülozun Saflaştırılması	21
2.2.3	Bakteriyel Selülozun Ağartılması	22
2.2.4	Kâğıt formasyonunun oluşturulması	23
2.3	Optik Testler	24
2.3.1	Test Kâğıtlarına ait ISO Parlaklık Ölçümü	24
2.3.2	Test Kâğıtlarına ait CIE L *a* b* Renk Değerlerinin Ölçümü.....	24
2.3.3	Test Kâğıtlarının Beyazlık (WI) Değerlerinin Ölçülmesi	25
2.3.4	Test Kâğıtlarının Sarılık (YI) Değerlerinin Ölçülmesi	25
2.3.5	Örneklerin Reflektans ve k/s Spektrumlarının Ölçülmesi	25
2.4	Örneklerin FTIR-ATR Karakterizasyonu	25
2.5	Örneklerin Taramalı Elektron Mikroskobu Karakterizasyonu	26
3	TARTIŞMA.....	27
3.1	FTIR-ATR Karakterizasyonu	27
3.2	Optik Özellikler.....	31
3.2.1	Örneklerin ISO Parlaklığı ve Beyazlık Değerleri (WI).....	32
3.2.2	Örneklerin Sarılık Değerleri (YI).....	35
3.2.3	Örneklerin CIE L*a*b*, ΔE , Reflektans ve k/s Değerleri	37
3.3	Örneklerin SEM Görüntüleri	42
4	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
	KAYNAKLAR.....	48
	ÖZGEÇMİŞ.....	53

ÖZET

BAKTERİYEL SELÜLOZUN TEK KADEME İLE AĞARTILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Tez çalışmasında fermantasyon ile üretilen bakteriyel selülozun etil alkol ve sodyum hidroksit kademeleri ile saflaştırılması, sodyum borhidrür, sodyum perkarbonat ve hidrojen peroksit kademeleri ile ağartılması çalışılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen test kağıtlarının optik özellikleri ölçülmüş ve FTIR-ATR ve SEM karakterizasyonları yapılmıştır. Çalışmada saflaştırma işleminin kontrole göre renk değişim etkisi (ΔE) 29,34 olarak belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek ISO parlaklığı sonuçları %2 aktif oksijen içeren hidrojen peroksit ve %1,5 sodyum hidroksit uygulanan test numunelerinde %70,82 olarak belirlenmiştir. Hidrojen peroksit alternatif olarak kullanılan alkali karakterdeki sodyum perkarbonat uygulaması ile de başarılı sonuçlar elde edilmiştir. %3 AO içeren sodyum perkarbonat uygulaması ile ISO parlaklık değeri %68,9 olarak ölçülmüştür. Sarılık değeri açısından da en iyi sonuçlar %2 aktif oksijen içeren hidrojen peroksit ve %1,5 sodyum hidroksit uygulanan test numunelerinde elde edilmiştir. Sodyum perkarbonat uygulamasının sarılık değerini hidrojen peroksit göre kısmen artırdığı tespit edilmiştir. Test numunelerinin SEM görüntü analizi sonucunda uygulanan işlemlerin liflerin yapısını bozmadığı da tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakteriyel selüloz, Ağartma, Hidrojen peroksit, Sodyum perkarbonat, Sodyum borhidrür

SUMMARY

INVESTIGATION OF SINGLE STAGE BLEACHING OF BACTERIAL CELLULOSE

In this thesis study, purification of bacterial cellulose produced by fermentation with ethyl alcohol and sodium hydroxide stages, bleaching with sodium borohydride, sodium percarbonate and hydrogen peroxide stages were studied. Optical properties of the test papers produced within the scope of the study were measured and FTIR-ATR and SEM characterizations were performed. In the study, the color change effect of the purification process compared to the control (ΔE) was determined as 29.34. The highest ISO brightness result in the study was determined as 70.82% in the test samples to which 2% active oxygen containing hydrogen peroxide and 1.5% sodium hydroxide were applied. Successful results were also obtained with the alkaline sodium percarbonate application used as an alternative to hydrogen peroxide. ISO brightness value was measured as 68.9% with the sodium percarbonate application containing 3% AO. The best results in terms of yellowness value were obtained in test samples to which hydrogen peroxide containing 2% active oxygen and 1.5% sodium hydroxide were applied. It was determined that sodium percarbonate application partially increased the yellowness value compared to hydrogen peroxide. As a result of SEM image analysis of the test samples, it was also determined that the applied processes did not damage the structure of the fibers.

Keywords: Bacterial cellulose, Bleaching, Hydrogen peroxide, Sodium percarbonate, Sodium borohydride

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.Selüloz üretebilen mikroorganizmalar ve oluşan selülozun yapısı	8
Tablo 2.Ağartma koşulları.....	23
Tablo 3. Örneklerin optik özellikleri	31



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Selülozun yapısı	4
Şekil 2. Bakteriyel (a) ve Bitkisel (b) selülozun yapısı.....	5
Şekil 3. Acetobacter xylinum'un elektron mikroskobu görüntüsü	8
Şekil 4. Statik yöntemle bakteriyel selüloz üretimi	10
Şekil 5. Statik yöntemle üretilen selülozun mikroskobik yapısı ve oluşan selüloz (Bielecki,2002).....	11
Şekil 6. Elektronik kağıtlar	15
Şekil 7.Bakteriyel selüloz ile üretilen kâğıt	16
Şekil 8: Bakteriyel selülozdan elde edilen biyolojik olarak parçalanabilen ambalajı	17
Şekil 9. Bakteriyel selülozdan yapılmış deri içermeyen el çantası	17
Şekil 10. Saflaştırma öncesi bakteriyel selüloz kütlesi	21
Şekil 11. Bakteriel selülozun üretim ve saflaştırılma kademeleri (Ersoy Kalyoncu, 2023).....	22
Şekil 12. Üretilen Kâğıt örnekleri.	23
Şekil 13.Saflaştırma öncesi ve sonrası bakteriyel selülozun FTIR-ATR spektrumları.....	27
Şekil 14.Sodyum bor hidrür ile ağartılan örneklerin FTIR-ATR spektrumları.....	28
Şekil 15.Sodyum perkarbonat ile ağartılan örneklerin FTIR-ATR spektrumları.....	29
Şekil 16.Hidrojen peroksit ile ağartılan örneklerin FTIR-ATR spektrumları	30
Şekil 17.Uygulanan işlemlerin ISO parlaklık değerine etkisi.....	32
Şekil 18.Uygulanan işlemlerin ASTM-E313 beyazlık değeri üzerine etkisi.	34
Şekil 19.Uygulanan işlemlerin CIE beyazlık değeri üzerine etkisi.....	35
Şekil 20.Uygulanan işlemlerin ASTM-1925 sarılık değeri üzerine etkisi.	36
Şekil 21.Uygulanan işlemlerin ASTM-E313 sarılık değeri üzerine etkisi.	36
Şekil 22.Uygulanan işlemlerin CIE b* değeri üzerine etkisi.	37
Şekil 23.Uygulanan işlemlerin CIE a* değeri üzerine etkisi.	38
Şekil 24.Uygulanan işlemlerin CIE ΔE değeri üzerine etkisi.	39
Şekil 25.Uygulanan saflaştırma ve ağartma kademelerinin reflektans değeri üzerine etkisi.	40
Şekil 26.Uygulanan saflaştırma ve ağartma kademelerinin k/s değeri üzerine etkisi	41

Şekil 27.Örneklerin 200X büyütmedeki SEM görüntüleri	43
Şekil 28. Örneklerin 10000X büyütmedeki SEM görüntüleri	44
Şekil 29. Örneklerin 30000X büyütmedeki SEM görüntüleri	45



KISALTMALAR DİZİNİ

ATR	Attenuated Total Reflectance
BS	Bakteriyel Selüloz
FTIR	Fourier-Transform Infrared Spectroscopy
SEM	Scanning Electron Microscope
SCOBY	Maya-Bakteri Kombucha Kültürü
TAPPI	The Technical Association of the Pulp and Paper Industry



1 GİRİŞ

Selüloz, bitkilerin hücre duvarlarında bulunan temel bir yapı maddesidir. Bu doğal polisakkarit, glukoz moleküllerinden oluşan uzun, doğrusal zincirlerden oluşur. Her bir glukoz molekülü, altı karbon atomundan oluşan bir halka şeklinde düzenlenmiştir. Bu halkanın karbon atomlarına, hidroksil (-OH) grupları ve hidrojen atomları bağlanmıştır. Selüloz, glukoz moleküllerinin β -1,4-glikozidik bağlarla birbirlerine bağlanmasıyla oluşur.

Selülozun moleküler yapısında kristal ve amorf bölgeler bulunur. Kristal bölgeler, glukoz zincirlerinin düzenli bir şekilde sıralandığı alanlardır. Bu bölgelerde glukoz molekülleri paralel olarak dizilir ve sıkı bir yapı oluştururlar.

Selülozun moleküler yapısında hidrojen bağları da önemli bir rol oynar. Glukoz molekülleri arasında hidrojen bağları bulunur ve bu bağlar, molekülleri bir arada tutar.

Selülozun moleküler yapısı, bitkilerin sağlamlığını ve yapısal bütünlüğünü sağlar. Ayrıca, selülozun bir polimer olması ve doğada biyolojik olarak parçalanabilir olması, onu çevre dostu bir malzeme yapar.

Selüloz, doğada en yaygın organik bileşiklerden biridir ve pek çok canlı organizmanın yaşamsal fonksiyonlarında kritik bir rol oynar. Kimyasal olarak, selüloz, glukoz moleküllerinin birleşmesiyle oluşan bir polisakkarittir. Bu moleküller, β -1,4 glikozidik bağlarla birbirlerine bağlanır, bu da selülozun lineer ve uzun bir zincir yapısına sahip olmasını sağlar.

Bitkilerin dış iskeletini oluşturan bir polisakkarit olan selüloz, hücre duvarlarında bulunur. Bitki hücrelerini destekleyen ve şekillendiren bu yapı, bitkinin mekanik dayanıklılığını sağlar. Ayrıca, bitkilerin büyüme ve gelişmesinde, su ve besin taşınmasında önemli bir rol oynar. Selüloz lifleri, bitki hücre duvarlarının yapısını oluşturarak bitkilerin dik durmasını ve büyümesini destekler.

Ayrıca, selüloz, biyolojik olmayan birçok malzemenin üretiminde de kullanılır. Örneğin, kâğıt endüstrisinde ana hammaddelerden biridir.

Selüloz lifleri, kâğıt üretiminde liflerin bir araya getirilmesini sağlar ve sonuç olarak güçlü ve esnek bir kâğıt ürünü elde edilir.

Kâğıt, dünyada en çok tüketilen malzeme olup, bir ülkenin kalkınmışlık düzeyini yansıtan bir göstergedir. Kâğıdın yapısı, biyolojik, organik, sentetik ve inorganik maddelerin bir araya geldiği bir kompozit malzeme oluşturur. Bu yapılar arasında kâğıt lifleri, kırıntı materyaller, dolgu maddeleri, boyutlandırma, sağlamlık ve tutunum için kullanılan polimerler ve diğer katkı maddeleri yer alır.

Bununla birlikte, selülozun sadece bitkilerde değil, aynı zamanda bazı mantar türlerinin hücre duvarlarında da bulunduğunu belirtmek önemlidir. Bu da selülozun sadece bitkilerle sınırlı olmadığını ve farklı organizmalar için önemli bir yapı taşı olduğunu gösterir. Selüloz, dünyadaki en bol bulunan biyopolimerdir ve küresel ekonomi için büyük bir öneme sahiptir. Başlıca kaynakları odun ve pamuktur ve bu hammaddeler, kâğıt, tekstil ürünleri, yapı malzemeleri gibi birçok selüloz ürününün temelini oluşturur. Geleneksel yöntemlerle selüloz elde etmek için bitkiler kullanılır, ancak bu yöntemlerin enerji ve kimyasal madde tüketimi yüksektir ve çevre kirliliğine neden olabilir. Dünya nüfusundaki artışla birlikte selüloz ihtiyacının artması, daha fazla odun ve pamuk yetiştirilmesine ve dolayısıyla karbon döngüsünün etkilenmesine yol açabilir. (Brown, 2006)

Odun ve hidrokarbonların yanması atmosfere büyük miktarda karbondioksit salınımına neden olur ve bu da küresel ısınmanın bir sonucudur. Bu nedenle, karbon döngüsünü dengelemek ve küresel ısınmayı azaltmak için fotosentezi artırmak önemlidir. Bu bağlamda, selüloz üretiminde alternatif yöntemler aranmaktadır. (Brown,2006)

Mantarlar ve bakteriler, fotosentez yapamamalarına rağmen selüloz üretebilirler, ancak bu süreç için fotosentetik organizmaların ürettiği glikoz gibi organik substratlara ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, fotosentez yapmayan organizmaların selüloz üretiminde kullanılması, selülozun daha sürdürülebilir bir şekilde elde edilmesine olanak sağlayabilir. (Brown, 2006)

Bakteriler tarafından üretilen selüloz, bitkilerden elde edilen selüloza önemli bir alternatif oluşturur.

Bakteriyel selüloz, saflığı açısından avantaj sağlar çünkü lignin ve hemiselüloz içermez, böylece delignifikasyon işlemine gerek kalmaz.

Bu durum, işleme sürecinin daha az maliyetli ve atık miktarının az olmasını sağlar. Ayrıca, bakteriyel selülozun işlenmesi daha az basamağa ihtiyaç duyduğundan ve liflerin bütünlüğünü koruduğundan, daha güçlü selüloz lifleri elde edilir.

Bakteriyel selüloz zarları hidrofiliktir ve su tutma kapasiteleri oldukça yüksektir. Bu özellik, pamuk ve odun gibi diğer materyallerin aksine, fiziksel olarak parçalanmadan doğal olarak hidrofilik özelliklerini korur. Bu da işleme sürecinde güç kaybını önler. Ayrıca, farklı substratların kullanılması ve işleme koşullarının değiştirilmesiyle, bakteriyel selülozun özellikleri kolayca ayarlanabilir. Örneğin, selüloz üretimi sırasında karboksimetilselüloz eklenmesi, su tutma kapasitesini artırabilir.

Bakteriyel selüloz, düzgün lif yapısı, yüksek mekanik dayanıklılık, biyolojik olarak parçalanabilir olması, yüksek su tutma kapasitesi, yüksek kristallinité, kimyasal saflık ve hızlı üretilme gibi birçok önemli özelliğiyle dikkat çeker. (Vandamme ve ark.,1998)

Bakteriyel selülozun ticari başarıya ulaşmasını engelleyen temel zorluklar büyük ölçekli üretimde yaşanan teknik zorluklardır. Geleneksel olarak kullanılan statik üretim yöntemi, yüzey alanının genişletilmesi gerekliliği nedeniyle büyük ölçekli üretimler için uygun değildir. Karıştırmalı kültür ortamı, oksijen miktarını artırmak için kullanılsa da, karıştırma işlemi selüloz üretimini olumsuz etkileyebilir ve lifli yapıda selüloz üretilmesine neden olabilir. (Son ve ark.,2001)

Farklı reaktörlerin kullanımıyla verim artırılmaya çalışılmaktadır. Hava kaldırmalı reaktörler, kesme gerilmesini azaltarak ve oksijen miktarını artırarak daha yüksek selüloz verimi sağlayabilir. Besi yerinin seçimi de maliyet ve verim üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, çeşitli biyokimyasal maddelerin karbon kaynağı olarak kullanılması üzerine araştırmalar yapılmaktadır. (Keshk ve Sameshima,2005)

Melas, mikrobiyal fermentasyonda sıkça kullanılan ekonomik bir karbon kaynağıdır ancak içerdiği ağır metaller ve kompleks yapısı nedeniyle fermentasyon sürecinde problemlere yol açabilir.

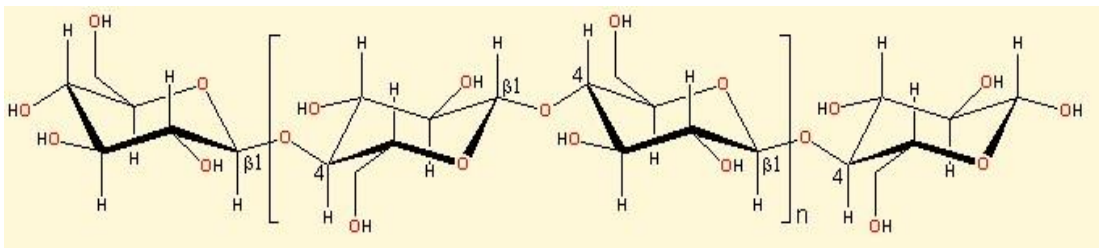
Bu nedenle, melasın kullanımı öncesinde bazı ön işlemler gerekebilir. Ancak, bakteriyel selüloz üretimi için melasın kullanımıyla ilgili yapılan araştırmalar sınırlıdır. (Bae ve Shoda,2005; Göksungur ve Güvenç,2004)

1.1. Selülozun Yapısı

Selüloz, bitkilerin hücre duvarlarında bulunan en yaygın organik madde olup, D-anhidroglukopiranoz birimlerinden oluşan lineer bir polimerdir.

Glikoz molekülleri arasında 180°'lik açıyla C1 ve C4 glikosidik oksijen bağlarıyla birbirine bağlanarak oluşur. (Maguire,1997)

Bu özelliği, selülozu nişastadan ayırır. İnsan sindirim sistemi, selülozu parçalayacak enzimlere sahip olmadığından, selülozu sindiremez; ancak, bazı hayvanlar ve toprak bakterileri bu enzime sahiptir. (Chaplin,2006) Selüloz molekülü genişlediğinde, hidroksil grupları sayesinde molekül içi ve hücre içi hidrojen bağları oluşturabilir. Bu yapı, hidrofobik bir yüzeye sahiptir, çünkü yüzeydeki hidrojen atomları doğrudan karbon atomlarına bağlıdır. Bu özellikleriyle selüloz, bitkilerin yapısal desteklerini sağlar ve pek çok endüstriyel alanda kullanılır. Şekil 1.1'de bakteriyel ve bitkisel selülozun yapısı gösterilmektedir. (Bielecki,2002) Şekil 1'de selülozun moleküler yapısı gösterilmektedir. (Geyer ve ark.,1994)

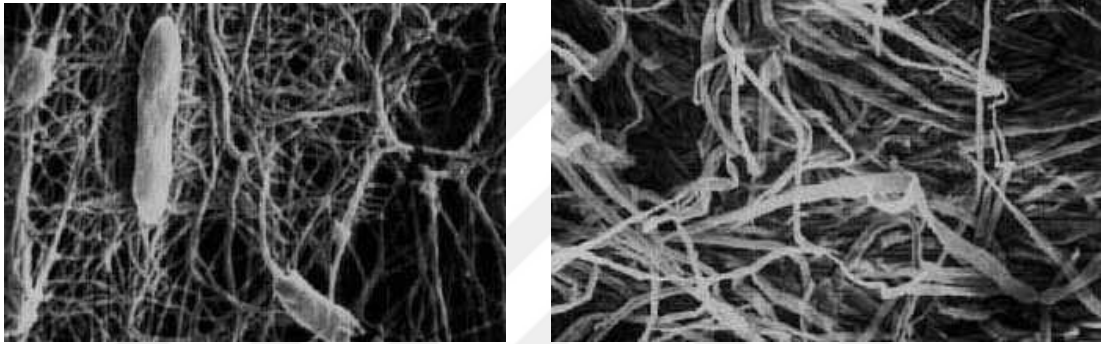


Şekil 1. Selülozun yapısı

Doğada, selülozun moleküler kristalin yapıya birleşmesi ve yapısal liflere dönüşmesi, yapısını ve özelliklerini belirler.

Selüloz lifleri düşük çözünürlüğe ve elastik olmama özelliğine sahiptir.

Bakteriyel selüloz, *Acetobacter xylinum* tarafından sentezlenir ve bitkilerden elde edilen selülozla benzer bir yapıya sahiptir, ancak bazı fiziksel özelliklerinde farklılıklar bulunur. Örneğin, kristallenme indeksi yüksektir (%60'ın üzerinde) ve polimerizasyon derecesi genellikle 16000 ile 20000 arasında değişirken, bitkisel selülozunki genellikle 13000 ile 14000 arasındadır. (Bielecki,2002)



Şekil 2. Bakteriyel (a) ve Bitkisel (b) selülozun yapısı

Selüloz, mikrolifli yapıdaki kristalografik formuyla Selüloz I olarak bilinir. Bu form, paralel glukan zincirlerini taşır ve alglerde ve bakteriyel selülozda yaygınken, bitkilerde de bulunur. Selüloz II ise, doğal selülozun alkali maddelerle işlenmesi ve suyla yıkanmasıyla elde edilir. (Maguire,1997)

Lif terimi, elektron mikroskopunda görülebilen en ince yapıyı ifade eder. Doğal selüloz liflerinin genişliği 1 ila 25 nm arasında değişirken, uzunlukları 1 ila 9 µm arasında değişir. Bu liflerin görevleri ve yerleri organizmadan organizmaya değişir; bitkilerde selüloz lifleri sağlam hücre duvarlarını oluştururken, *Acetobacter xylinum*'da inert ve saf olarak salınır. (Geyer ve ark.,1994)

1.2. Bakteriyel Selüloz (BS)

Selüloz, bitkilerin hücre duvarlarında bulunan ana bileşendir ve dünya çapında en yaygın bulunan polimerlerden biridir. Yaygın bulunabilirliği sayesinde pek çok endüstriyel ürünün üretiminde hammadde olarak kullanılır.

Genellikle bitkilerden elde edilen selüloz, son yıllarda bazı mikroorganizmaların da bu maddeyi üretebildiğini göstermiştir. Bu tür mikroorganizmalar tarafından üretilen selüloza ise bakteriyel selüloz denir.

Azot ve karbon kaynakları, bakteriyel selüloz üretimini etkileyen en önemli faktörlerdir. Bakteriyel selüloz üretimi için yapılan araştırmalar, pahalı besi ortamları yerine ucuz endüstriyel atıkların kullanılabileceğini göstermektedir. Bu konuya dair birçok çalışma, atıkların besi ortamı olarak potansiyelini ortaya koymuştur. (Naritomi ve ark.,1998)

Bakteriyel selüloz üretiminde çeşitli endüstriyel atıkların kullanılabilmesi, enerji tasarrufu sağlayan çevre dostu yöntemlerle üretimi mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, sürdürülebilir üretim süreçlerine katkı sağlamaktadır. (Naritomi ve ark.,1998)

1.3 Bakteriyel Selülozun Özellikleri

Acetobacter xylinum tarafından üretilen bakteriyel selüloz, ağaçlardan ve pamuktan elde edilen selülozdan farklıdır.

Kimyasal olarak saf olması, hidrofilik olması, istenilen şekilde doğrudan sentezlenebilmesi, yüksek su tutma kapasitesi ve biyolojik olarak parçalanabilir olması gibi özelliklerle ayrılır. Ayrıca, bu bakterinin farklı substratları kullanabilmesi ve üretim sırasında selülozun fiziksel özelliklerinin kontrol edilip ayarlanabilmesi, bakteriyel selülozun kullanım alanını artırır. Mikrobiyal selüloz, hemiselüloz ve lignin içermez, bu nedenle saflaştırılması odun delignifikasyon prosesine kıyasla daha basittir ve son ürün verimliliği yüksektir. (Geyer ve ark.,1994)

Bakteriyel selüloz zarları son derece su emici özellik gösterir ve kuru ağırlığının 60 ile 700 katı arasında su tutabilir.

Statik kültürde üretilen selüloz zarının sadece %1'i selülozdan oluşurken, geri kalanı sudur, çünkü selüloz lifleri sıvı besi yerine salınır ve birleşir.

Bu hidrofilik özellik, üretim sırasında veya sonrasında hidrofilik maddelerin eklenmesiyle artırılabilir.

Bakteriyel selüloz, geniş hidrojen bağlarına sahip bir ağ yapıya sahiptir, bu da ona oldukça güçlü mekanik bir direnç kazandırır. Ayrıca, selülozun üretimi sırasında fiziksel özellikleri kontrol edilebilir ve geliştirilebilir. Fermentasyon koşullarının kontrol edilmesiyle, selülozun matlık, kuvvet ve yumuşaklık gibi özellikleri kolayca ayarlanabilir. (Geyer ve ark.,1994)

Bakteriyel selülozun özellikleri şunlardır:

- Ekolojik temizlik: Kimyasal işlemlere ihtiyaç duymadan, doğal fermentasyon yoluyla üretilir.
- Yüksek saflık: Endüstriyel olarak üretilen diğer selüloz türlerinden daha saf olma eğilimindedir.
- Esneklik ve mukavemet: Lifler arasındaki düzenli yapı, malzemenin mekanik dayanıklılığını artırır.
- Su emme ve tutma yeteneği: Su emme ve tutma özellikleri yüksektir, bu da bazı uygulamalarda tercih edilmesine yol açar.
- Biyo-uyumluluk: İnsan vücuduyla uyumlu olduğu için tıbbi uygulamalarda kullanılabilir.
- Yenilenebilir ve biyobozunabilir: Doğal bir kaynak olan bakteriyel selüloz, yenilenebilir ve çevreye zarar vermeden biyolojik olarak parçalanabilir.

1.4 Acetobacter xylinum

Selüloz, çeşitli bakteri türleri tarafından üretilir, bunlar arasında en verimli üretici, En etkili üretici, gram negatif bir asetik asit bakterisi olan *Acetobacter xylinum*'dur.

Bu bakteriyel selüloz, 1886'da Adrian Brown tarafından keşfedilmiş olmasına rağmen, *Acetobacter* hücrelerinin selüloz sentezlediğini ispatlamasıyla daha fazla dikkat çekmiştir. (Hestrin ve ark.,1947)

Bu keşiften sonra *Acetobacter xylinum*, selüloz üretimi çalışmalarında önemli bir model mikroorganizma olarak kullanılmıştır.

Şekil 3'de *Acetobacter xylinum*'un elektron mikroskobundaki görüntüsü yer almaktadır. (Brown,2006)



Şekil 3. Acetobacter xylinum'un elektron mikroskobu görüntüsü

Doğada, çiçeklerin ve meyvelerin yüzeylerinde bulunan bu bakteri, sirke üretimi ve diğer fermantasyon ürünlerinde ticari olarak büyük öneme sahiptir. Aerobik olan bu organizmalar, genellikle fermantasyon sürecinden sonra maya gibi diğer organizmalarla birlikte büyürler. Önemli bir özellikleri, etanolü asetik aside oksitleyebilmeleridir, bu nedenle genellikle asetik asit bakterileri olarak anılırlar.

Tablo 1.Selüloz üretebilen mikroorganizmalar ve oluşan selülozun yapısı

TÜR	SELÜLOZ YAPISI
Acetobacter	Kurdele şeklinde ekstraselüler zar
Achromobacter	Lifli
Aerobacter	Lifli
Agrobacterium	Kısa lifli
Alcaligenes	Lifli
Pseudomonas	Ayrılmayan lifler
Rhizobium	Kısa lifli
Sarcina	Amorf selüloz

Fotosentetik olmayan Acetobacter xylinum, glikoz, gliserol ve diğer organik substratları kullanarak bunları saf selüloza dönüştürür. Her bir hücre, saatte ortalama 108 glikoz molekülünü selüloza çevirebilir. Selülozun 1-4 glukoz zincirleri hücre dışında sentezlenir ve besin yerinden salınır.

Tek bir hücre, lif şeklinde birleşen glukoz zincir polimerlerinin çıktığı, lineer deliklere sahip bir yapı oluşturur. Bu delikler, glukoz polimer kablolarını bir araya getirerek ince bir jelatin membran oluşturur.

1.5 Bakteriyel Selüloz Biyosentezi

Bakteriyel selüloz üretimi, bitkisel selüloz biyosentezinden farklılık göstermektedir. Marx-Figini'nin araştırması, bitkilerdeki ve bakterideki selüloz biyosentezinin ayrı olduğunu ortaya koymuştur.

Bitkilerdeki biyosentez mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte, *Acetobacter* türlerinin incelenmesi bitkilerdeki mekanizmayı anlamak için bir ipucu sağlamıştır.

Marx-Figini'nin çalışması, bakteriyel selülozun polimerizasyon derecesinin hücre büyümesiyle paralel olarak değiştiğini ve sentezin büyüme durduğunda sona erdiğini göstermiştir.

Acetobacter xylinum'un karbon metabolizmasında pentoz fosfat döngüsü karbonhidratların oksidasyonunda, sitrik asit döngüsü ise organik asitlerin oksidasyonunda rol oynamaktadır.

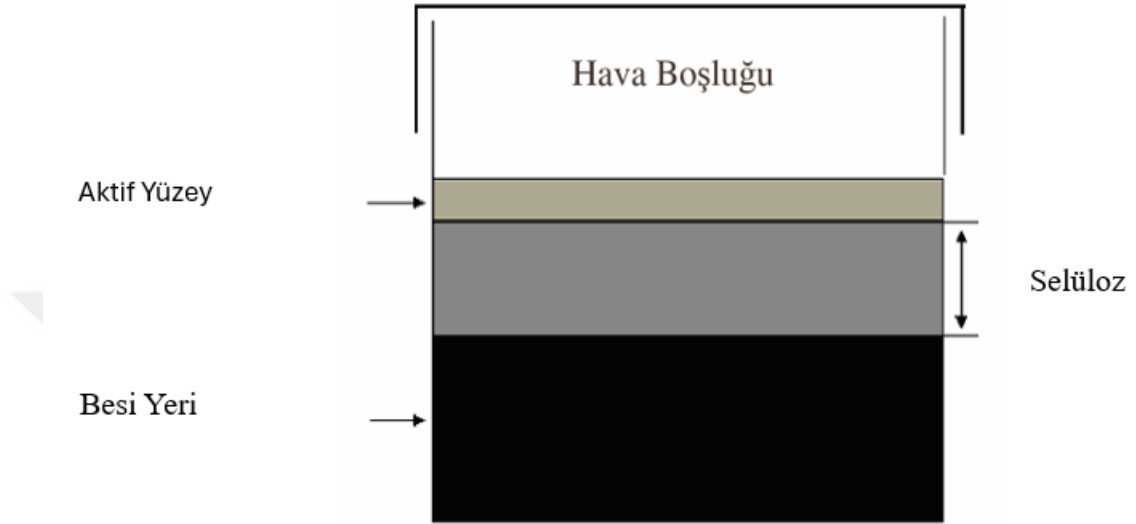
Anaerobik koşullarda glikoz metabolizması fosfofruktokinaz enziminin eksikliği nedeniyle sınırlıdır. Glikoneogenez ise olağandışı bir şekilde okzaloasetat dekarboksilaz enziminin düzenlenmesiyle gerçekleşir. Selüloz oluşumunda, enerji bağlantılı kontrol mekanizması ATP'ye duyarlı olan glikoz-6-fosfat dehidrogenaz enzimini kontrol noktası olarak kullanır. *Acetobacter xylinum*'da, bu enzimden sadece bir tanesi ATP tarafından inhibe edilir. (Ross ve ark.,1999)

1.6 Bakteriyel Selüloz Üretimi

Bakteriyel selüloz üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır, bunlar arasında statik ve karıştırılmalı yöntemler en yaygın olanlarıdır. Ayrıca, yatay fermentörler, hava kaldırmalı reaktörler ve dönen disk reaktörleri gibi çeşitli ekipmanlar da tercih edilmektedir. Üretim yöntemi seçiminde, kullanılacağı alan önemlidir çünkü selülozun fiziksel ve mekanik özellikleri bu seçime bağlı olarak değişir.

Geleneksel olarak, bakteriyel selüloz üretiminde tercih edilen yöntem genellikle statik yöntemdir.

Ancak, yapılan araştırmalar, statik yöntemin bazı dezavantajları olduğunu göstermektedir, çünkü zar oluşumu sırasında alt kısımlarda hücrelerin inaktif hale geldiği ve oksijen eksikliğinden ötürü öldüğü tespit edilmiştir. (Krystnowicz ve ark.,2002)



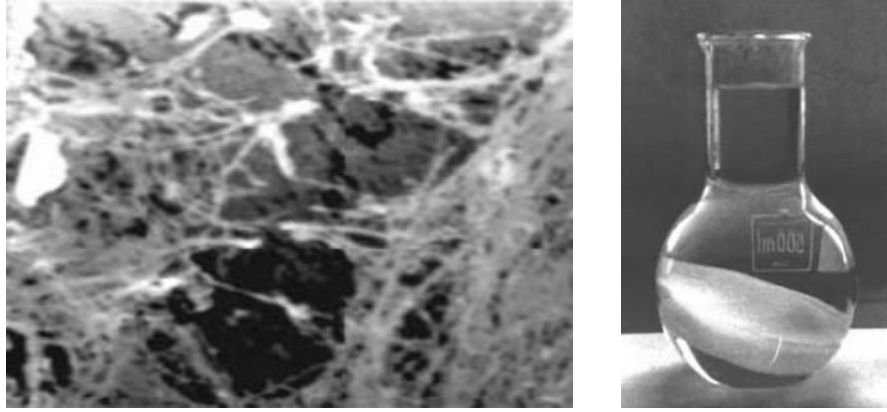
Şekil 4. Statik yöntemle bakteriyel selüloz üretimi

Statik yöntem, selüloz üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir; bu yöntemde, selüloz lifleri düzenli bir şekilde üst üste birikir, bu da elde edilen selülozun yapısında belirli özelliklerin artmasına neden olur. Karıştırmalı yöntemlerle elde edilen selüloza kıyasla, statik yöntemle elde edilen selülozun kristallenme indeksi ve kristal boyutu daha fazladır. (Bielecki,2002)

Ancak, statik yöntemin bazı dezavantajları vardır; örneğin, difüzyon sorunu nedeniyle alttaki hücrelerin ölmesi riski bulunur.

Ayrıca, fermentasyon süresince besî yerinin hareket ettirilememesi ölçüm almayı zorlaştırır. Büyük ölçekli üretimde statik yöntemin kullanımı da zordur çünkü büyük yüzey alanlarına ihtiyaç duyar ve yüzey/hacim oranının dikkatlice ayarlanması gerekir.

Şekil 4’da statik yöntemle üretilen selülozun mikroskopik yapısı ve bu yöntemle üretilen selüloz görülmektedir. (Krystnowicz ve ark.,2002)



Şekil 5. Statik yöntemle üretilen selülozun mikroskobik yapısı ve oluşan selüloz (Bielecki,2002)

Statik yöntemle alternatif olarak tercih edilen karıştırmalı fermentörler, uzun fermentasyon sürelerine ve ölçek büyütme problemlerine çözüm sunar. Ancak, ilk olarak doğadan izole edilen *Acetobacter xylinum* türlerinin karıştırmalı fermentörler için uygun olmadığı belirlenmiştir. Bunun sebebi, karıştırma işlemi sonucu ortamda selüloz üretmeyen mutant hücrelerin oluşmasıdır. Ancak, araştırmacılar farklı suşları izole ederek karıştırmalı reaktörler için uygun olan *Acetobacter xylinum* türlerini bulmayı başarmışlardır. (Tsuchida ve Yoshinaga,1997), kirazdan izole ettikleri *Acetobacter xylinum* BPR2001'in karıştırmalı yöntemle bakteriyel selüloz üretimine uygun olduğunu göstermiştir.

Kore'de sirkeden izole ettikleri *Acetobacter* sp. V6'nın 200 rpm'ye kadar olan karışırtmalarda selüloz üretim yeteneğini koruduğunu belirtmişlerdir. (Son ve ark.,2003)

Statik yöntemde zar biçiminde oluşan selüloza karşılık, karıştırmalı yöntem lifli bir yapıda selüloz üretir. Bu farklılık, hareketin neden olduğu kuvvetlerin yuvarlak, düzensiz bir yapı oluşturmaya bağlanmaktadır. Karıştırmalı yöntemde elde edilen selüloz mikrolifleri daha ince, kristal boyutları daha küçük ve polimerizasyon derecesi daha azdır, statik yöntemle göre.

1.7 Bakteriyel Selüloz Üreten Mikroorganizmalar

Bakteriyel selüloz, birçok organizma tarafından sentezlenir, bunlar arasında algler, küfler ve bakteriler bulunur. En bilinen türler arasında *Gluconacetobacter xylinus* öne çıkar. (Klemm ve ark.,2001)

Bazı fototrofik siyanobakterler de selüloz üretebilir. Kükürtlü sıcak su kaynaklarında bulunan karbonhidrat yapıdaki selüloz varlığı, litotrofik bakterilerin de selüloz üretebileceği fikrini doğurur. (Branda ve ark.,2005)

BS üreten bakteriler, selüloz üretiminde benzer yolları ve düzenlemeyi paylaşırsa da, polimer yapısı organizmaya özgüdür. (Jonas ve Farah,1998)

Çeşitli karbon ve azot kaynaklarının etkileri incelenmiş, glikoz ve maya ekstraktının kullanımının en fazla selüloz üretimine yol açtığı bulunmuştur. (Poyrazoğlu ve Bıyık,2007)

D-glikoz, D-ksiloz ve D-ksiloz/D-ksilüloz içeren besiyerlerinde yapılan çalışmalarda, D-glikoz içeren besi yerinin en yüksek selüloz üretimine neden olduğu belirlenmiştir. (İshihara ve ark.,2004)

Glikoz, arabitol ve mannitole kıyasla iyi bir karbon kaynağı olarak kabul edilirken, arabitol ve mannitol ile üretilen selülozun glikozla yapılan üretime göre sırasıyla 6.2 ve 3.8 kat arttığı bulunmuştur. (Lee ve ark.,2004) Früktozun da üretim kapasitesini artırdığı bildirilmiştir. (Tonouchi ve ark.,1996)

Başka bir araştırmada, en etkili selüloz üretiminin früktoz, maltoz, sakkaroz ve glikoz içeren besiyerlerinde gerçekleştiği; ancak galaktozun selüloz üretimi için uygun bir karbon kaynağı olmadığı saptanmıştır. (Çakmakçı ve ark.,2008)

Diğer bir araştırmada, farklı karbon kaynaklarının bakteriyel selüloz üretimi üzerindeki etkileri incelenmiş ve en yüksek ürün alımının glikoz, früktoz, inozitol ve sakkarozda olduğu belirlenmiştir. Gliserolün yüksek üretim etkinliğinin, tüketim hızıyla ilişkili olabileceği öne sürülmüştür.

Sonuçlar, selüloz üretiminde karbonhidrat çeşidinin tek belirleyici olmadığını, aynı zamanda besiyerindeki karbon kaynaklarının tüketim hızının da önemli bir etken olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, karbon kaynaklarının selüloz miktarının yanı sıra selülozun özellikleri üzerinde de etkili olduğu bulunmuştur. (Keshk ve Sameshima,2005)

Bakteriyel selüloz üretiminde, hücre bölünmesine bağlı büyüme hızı suş farklılıklarından ve kullanılan karbon kaynağının çeşidinden etkilenir. (Hesse ve Kondo,2005)

Atık kullanımıyla endüstriyel maliyet azaltılabilir. Araştırmalar, şeker pancarı melasının glikoz yerine kullanılmasının selüloz üretimini artırabileceğini göstermektedir. Ülkemizde yapılan bir çalışma, atık elmalardan elde edilen besiyerin selüloz üretimi için uygun olduğunu ve tarımsal atıkların değerlendirilmesinin ekonomik bir fayda sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Nitrojen kaynaklarının maliyeti, bakteriyel selüloz üretim giderlerini etkiler. (Çakmakçı ve ark.,2008)

1.8 Kâğıt Endüstrisinde Bakteriyel Selülozun Kullanılması

Kâğıt endüstrisi, bakteriyel selülozun (BS) farklı kullanımlarını barındırır. BS, kâğıt üretiminde bağlayıcı olarak kullanılarak kâğıt hamurunun mukavemetini ve dayanıklılığını artırır. Arşiv belgelerinin onarımı ve uzun ömürlü para birimleri gibi özel kağıtlar için yüksek mukavemetli malzemelere olan ihtiyaç önemlidir.

Geleneksel olarak, bitkisel selülozdan yapılan kâğıt, BS'nin keşfiyle yeni bir boyut kazanmıştır. (Fabra ve ark.,2016) BS, toprakta hızla çürüyen ve yüksek mukavemetli bir yapıya sahip biyolojik olarak parçalanabilir bir malzeme olarak öne çıkar.

Bu özellikler, geleneksel bitkisel selülozla elde edilemeyen yeni fonksiyonel malzemelerin üretiminde kullanılmasını teşvik etmektedir.

Odun hamuru liflerine karıştırılmış bozulmuş BS'nin kâğıt tabakasının mukavemetini artırdığını keşfetti. (İguchi ve ark.,2000)

Pamuk tiftik hamuru ve parçalanmış BS'nin karışımından hazırlanan kompozit levhaların mekanik özellikleri incelendiğinde, Young modülü ve çekme mukavemeti arttığı görüldü. (Xiang ve ark.,2017) Atmosferdeki CO2 miktarındaki artış, küresel ısınmaya ve buzulların erimesi gibi ciddi iklim değişikliklerine neden olabilir.

Küresel ısınmayı durdurmanın en kritik yollarından biri, ormanların korunmasıdır; çünkü bitkiler ve ağaçlar tarafından CO2'nin emilmesiyle bu artışın önüne geçilebilir.

Ancak kâğıt ve yapı malzemeleri endüstrilerinde ağaç kullanımı, orman kaynaklarının ciddi şekilde azalmasına sebep olur. Bakteriyel selüloz, bu durumu engellemenin anahtar çözüm yollarından biridir; çünkü *Acetobacter xylinum*'un selüloz üretme süreci birkaç gün sürerken, ağaçların tam olgunluğa erişmesi için yaklaşık 30 yıl gereklidir. (Shah ve Brown,2005)

Endüstrideki ilerlemeler ve hızlı nüfus artışı, odun ve pamuktan elde edilen selüloza olan talebin her geçen gün arttığını göstermektedir.

Bu durum, selüloz eldesi için daha fazla ormana ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır, bu da karbon döngüsünü doğrudan etkileyerek küresel ısınmanın artmasına katkıda bulunmaktadır. (Brown,2006)

Bitkilerde, selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi bileşenler bir arada bulunur ve bu üç yapı arasında güçlü kimyasal bağlar vardır. Özellikle kâğıt endüstrisinde, ligninin uzaklaştırılması önemlidir; ancak bu, maliyetli ve çevreye zararlı kimyasalların kullanımını gerektiren bir işlemdir.

Bu nedenle, odun ve pamuk kullanımını sınırlamak ve çevre dostu alternatifler bulmak için çaba gösterilmektedir. (Brown,2006)

Acetobacter xylinum'un sentezlediği selüloz, son derece saftır ve suyu çeker. Pamuk ve odun gibi hidrofilik malzemelerin işlenmesi için fiziksel olarak parçalanmaları gerekir, bu da işlemi karmaşıktır ve enerji gerektirir.

Ancak, bakteriyel selüloz doğrudan kullanılabilir durumda olduğundan, delignifikasyon gibi maliyetli işlemlere gerek kalmaz.

Bu da maliyeti azaltır ve atık miktarını azaltır. Basit işlem adımları sayesinde selüloz liflerinde güç kaybı yaşanmaz, bu da kaliteli kâğıt üretimini sağlar.

Bakteriyel selüloz, kâğıt endüstrisinde elektronik kâğıt üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Günümüzde, bilgi ve iletişimde kâğıt hala sıkça kullanılmaktadır, özellikle kontrastı yüksek, taşınabilir ve maliyeti düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bilgisayar ekranlarının dezavantajları ise göz yorgunluğu ve yüksek maliyet gibi faktörlerdir. Bu nedenle, elektronik kâğıt gibi geleneksel kâğıdın optik özelliklerini taşıyan ancak dinamik ekran özelliklerine sahip yeni teknolojilere olan ilgi artmaktadır. (Shah ve Brown,2005)

Elektronik kâğıt, Xerox'un Palo Alto Araştırma Merkezi'nde geliştirilmiş olup, içeriği tekrar tekrar değiştirilebilme özelliğine sahiptir ve radyo sinyalleriyle yazı ve grafikleri gösterebilir.



Şekil 6. Elektronik kâğıtlar

1.9.1 Özel Fonksiyonel Kâğıt

BS, nanoliflerden oluşan gözenekli bir yapıya sahiptir ve geniş bir yüzey alanı sağlar. Bu özellik, işlevsel materyallerin BS desteğiyle işlenmesini mümkün kılar. (Xiang ve ark.,2017) BS'nin bu özelliğini kullanarak dayanıklı floresan bir kâğıt geliştirdi. (Kang ve Park,2007)

Bu floresan kâğıt, katlandıktan sonra bile yüksek bir stabiliteye sahiptir. Silika kabukları ve altın nanopartiküller içeren BS kompozitler, özellikle güvenlik kâğıtları için ilginç optik özelliklere sahip olabilir. (Kang ve Park,2007)

1.9.2 Yüksek Tutucu Su Kâğıdı

S. ferax'tan elde edilen bakteriyel selülozun su ve yağ tutma kapasitelerinin ticari α -selülozdan daha yüksek olduğunu göstermiştir. (Kang ve iş ark.,2007)

Biyoselülozun viskozitesi ise daha düşüktür. Bu sonuçlar, bakteriyel selülozun farklı kâğıt yapımı uygulamaları için potansiyel sahip olabileceğini işaret etmektedir. Esterlenmiş BS membranlarının yüzey ve bariyer özelliklerini iyileştirdi ve ambalaj endüstrisinde kullanılabilecek ilginç bir örnek sağladı. (Marrucho ve ark.,2016)



Şekil 7.Bakteriyel selüloz ile üretilen kâğıt

Kâğıt üretiminde kullanılmak üzere özel bir işlevle donatılmış BS üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. (Suzanne,2021)

1.9.3 Ambalaj Kâğıdı

Şekil 8, farklı bir hizmet ömrü ve ayrışma süresine sahip olan, bakteriyel biyoselülozdan yapılmış bir ambalajı gösterir. (Suzanne,2021) Bu biyoselüloz, çevre dostu ve doğal bir malzemedir. BS ve BS bazlı kompozitler, yüksek su direnci, biyolojik parçalanabilirlik ve mükemmel mekanik mukavemete sahip ambalajlar üretebilirler. (Suzanne,2021)



Şekil 8: Bakteriyel selülozdan elde edilen biyolojik olarak parçalanabilen ambalajı

Şekil 9'da görülen malzeme, "ScobyTec BNC" olarak adlandırılmaktadır. Bu malzeme, karbonhidratların fermantasyonu ile elde edilen bir metabolittir ve simbiyotik bakteri ve maya kültürlerinin bir ürünüdür. Yüksek mekanik mukavemeti ve yanıcı olmamasıyla dikkat çeker.



Şekil 9. Bakteriyel selülozdan yapılmış deri içermeyen el çantası

1.9.4 Selülozun Yıkınması ve Ağartılması

Yıkama işlemi, selüloz üretiminde temel bir adımdır ve katı maddenin sıvıdan ayrılmasını amaçlar.

Bu işlem özellikle kimyasal selüloz üretiminde detaylıdır ve ekonomik faktörlere bağlıdır. Özellikle kraft sürecinde kullanılan kimyasallar pahalıdır ve atık suyun çevresel etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Özellikle kraft sürecinde kullanılan kimyasallar pahalıdır ve atık suyun çevresel etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Likörde oluşan çözünmüş katı maddeler geri kazanılarak biyoyakıt olarak kullanılabilir ve selüloz üretimine enerji sağlar. Bu süreç, su kullanımının azaltılması ve kayıpların en aza indirilmesiyle iyileştirilmiştir.

Belirtilen kayıplar, elyaf üzerinde tutunan kimyasal maddeleri içerir ve bu kimyasallar oksijen tüketimini etkileyebilir, bu nedenle selüloz üretiminde COD değeri de önemlidir. Sülfite selülozu üretiminde de geri kazanma oranları artmıştır, %97'ye kadar çıkmıştır.

Selüloz yıkamada kullanılan ekipmanlar

Çeşitli yıkama süreçleri için farklı ekipmanlar kullanılır. Bunlar arasında vakum filtreleri,

Basıncı filtreler, sürekli pişiricide yüksek sıcaklıkta yıkama, atmosferik ve basınçlı difüzörler, yatık bant tipi yıkayıcılar ve yıkama presleri bulunmaktadır. Bu ekipmanlar, çeşitli yıkama aşamalarında kullanılmaktadır.

1.9.4.1 Ağartma

Kraft veya sülfite süreçlerinde, selülozdan alınamayan lignin esmerleşmeye neden olur. Beyaz selüloz elde etmek için kalan lignin alınmalı ve selüloz ağartılmalıdır. Eski ağartma yöntemleri klor içerirken, modern yöntemlerde çevre dostu maddeler kullanılmaktadır.

Günümüzde genellikle oksijen, klordioksit ve hidrojen peroksit gibi maddeler kullanılarak ağartma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemler genellikle ECF veya TCF teknolojileriyle yapılır. Harfler, belirli kimyasal işlemleri ifade eder ve sembollerin sıralanması, işlem dizisini temsil eder. Örneğin, CEDED, klorlama, alkali ekstraksiyon, klordioksit, alkali ekstraksiyon ve klordioksit işlemlerinin sırasını belirtir. İki sembolün yan yana yazılması, aynı aşamada iki kimyasalın kullanıldığını gösterir, ilk sembol ise daha fazla miktarda kullanılanı belirtir.

(Not: TAPPI (The Technical Association of the Pulp and Paper Industry) tarafından katı kurallar konulmuş olmasına rağmen bazen notasyonda basitleştirmeler yapılmaktadır.)

1.9.4.2. Ağartma Süreci ve Reaktör

Kâğıt ağartma süreci, ham selülozun beyazlatılması amacıyla kullanılan bir dizi kimyasal işlemi içerir. Bu işlemler, kâğıdın istenilen beyazlık ve saflık seviyesini elde etmek için gereklidir. Tipik olarak, kâğıt ağartma süreci şu adımları içerir:

Klor Bazlı Ağartma: Eski ve daha yaygın bir yöntem olan klor bazlı ağartma, klor gazı veya klorlu kimyasalların kullanılmasını içerir. Bu işlemde, ham selülozun üzerine klorlu bileşikler uygulanır ve selülozun doğal rengini gidermek için reaksiyona girerler. Ancak bu yöntem çevre dostu değildir ve çevreye zararlı atıkların oluşmasına neden olabilir.

Ozon Bazlı Ağartma: Daha çevre dostu bir seçenek olan ozon bazlı ağartma, ozon gazının kullanılmasını içerir. Ozon, ham selülozun üzerine uygulanır ve doğal olarak renkli olan maddelerle reaksiyona girerek onları giderir. Bu yöntem, klor bazlı ağartmaya göre daha çevre dostu ve daha az zararlı atık üretir.

Oksijen Bazlı Ağartma: Oksijen bazlı ağartma, hidrojen peroksit veya diğer oksijen kaynaklarının kullanılmasını içerir. Bu yöntemde, oksijenin etkisi altında, ham selülozun doğal rengi giderilir. Oksijen bazlı ağartma, çevre dostu bir seçenek olarak kabul edilir ve çoğu zaman ozon bazlı ağartma ile birlikte kullanılır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Kombucha kültürü

Bu çalışma için gerekli olan bakteriyel selüloz, kombucha kültürü (SCOBY) kullanılarak elde edilmiştir. Selüloz üretimi için simbiyotik bakteri ve maya kültürleri, ticari tedarikçilerden temin edilmiş ve uygun şartlar altında fermantasyon sürecine dahil edilmiştir.

Etil alkol ve sodyum hidroksit, ağartma işlemleri için Sodyum perkarbonat Kullanılan maya kültürü; asetik asit bakterileri (Acetobacter, Gluconobacter, Komagataeibacter), laktik asit bakterileri (Lactobacillus) ve çeşitli mayalardan (Saccharomyces, Zygosaccharomyces) oluşmaktadır (Bokulich ve Bamforth, 2013; Villarreal-Soto ve ark., 2018).

2.1.2 Çalışmada Kullanılan Kimyasallar

Çalışmada bakteriyel selüloz eldesi için Kombucha kültürü ile birlikte asetik asit ve sakkaroz şurubu kullanılmıştır. Bakteriyel selülozun saflaştırılması ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}_2$), Hidrojen peroksit (H_2O_2) ve Sodyum borhidrür (NaBH_4) kullanılmıştır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Bakteriyel Selüloz Üretimi

Bakteriyel selüloz üretimi geniş kaplar içerisinde besi ortamının hazırlanması ile başlatılmıştır. Bu amaçla 1 lt kaynamış suya 200 gr sakkaroz ve 4 gr siyah çay eklenmiştir. Besi ortamı oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra Fermantasyonun başlatılması için çözeltiye %4-8 asetik asit içerikli elma sirkesi ve üretimi katalize

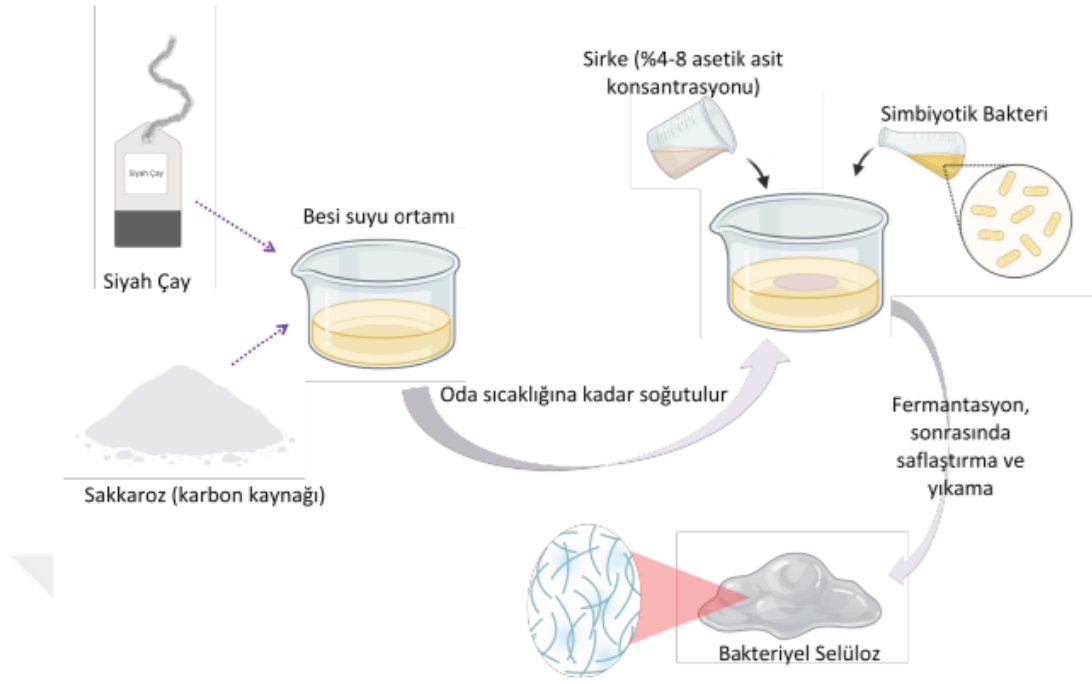
eden SCOBMY eklenmiştir. 15 gün sonrasında 1 cm kalınlığında Jel şeklinde bakteriyel selüloz kütlesi elde edilmiştir. Şekil 10 de görsel yer almaktadır.



Şekil 10. Saflaştırma öncesi bakteriyel selüloz kütlesi

2.2.2 Bakteriyel Selülozun Saflaştırılması

Bakteriyel selüloz içerdiği bakteri ve selüloz dışı bileşenlerden arındırılmak üzere öncelikle 1:1 oranında etil alkol:su karışımına alınmış ve 40 dk süreyle kaynatılmıştır. İşlemin sonunda bakteriyel selüloz yıkanmış ve kuru madde oranına göre %3 NaOH içeren toplam 500 ml lik alkali çözeltisinde 40 dk süre ile tekrar kaynatılmıştır. İşlem sonunda örnek su ile yıkanmış ve pH'ı 6-7 aralığına gelene kadar asetik asit ile nötralize edilmiştir. İşlem öncesi ve sonrası kontrol numuneleri alınmış ve tüm örnekler Silent Crusher Homojenizatör (Heidolph, Schwabach, Almanya) cihazı kullanılarak 25.000 rpm hızında 5 dakika boyunca işleme tabi tutulmuştur. Bu işlem sayesinde selüloz molekül zincirlerindeki hidroksil gruplarının açığa çıkarılması ve bakteriyel selüloz lifleri arasında hidrojen bağı oluşumu kolaylaştırılmıştır (Yuan ve ark., 2016). Şekil 11'de bakteriyel selüloz üretim aşamalı görülmektedir.



Şekil 11. Bakteriel selülozun üretim ve saflaştırılma kademeleri (Ersoy Kalyoncu, 2023)

2.2.3. Bakteriyel Selülozun Ağartılması

Bakteriyel selüloza uygulanan ağartma kademeleri Tablo 2’de belirtilmiştir. Ağartma işlemleri 250 ml lik erlenler içerisinde sıcak su banyosu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir ağartma kademesinde 0,235 gr tam kuru bakteriyel selüloz kullanılmıştır. Hidrojen peroksit ve sodyum perkarbonat oranları karşılaştırılabilir olması için aktif oksijen (%AO) cinsinden hesaplanmıştır. Hidrojen peroksit ağartmasına alkali olarak NaOH ilave edilirken sodyum perkarbonat ağartmasında bileşenin kendisinin de alkali özelliği olması nedeniyle NaOH ilavesi yapılmamıştır. Sodyum borhidrür ağartması nötr ortamda tam kuru örnek ağırlığına oranla gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.Ağartma koşulları.

		Hidrojen peroksit (%AO)	Sodyum perkarbonat (%AO)	Sodyum borhidrür (%)	Sodyum Hidroksit (%)	Sıcaklık (°C)	Konst. (%)	Süre (dk.)
	K ₀	-	-	-	-	-	-	-
	K(Saf)	-	-	-	-	-	-	-
Sodyum borhidrür	B1	-	-	1	-	80	3	45
	B2	-	-	2	-	80	3	45
	B3	-	-	3	-	80	3	45
Sodyum perkarbonat	PC1	-	1	-	-	80	3	45
	PC2	-	2	-	-	80	3	45
	PC3	-	3	-	-	80	3	45
Hidrojen peroksit	P1	1	-	-	0,75	80	3	45
	P2	2	-	-	1,50	80	3	45
	P3	3	-	-	2,25	80	3	45

2.2.4. Kâğıt formasyonunun oluşturulması

Lif açma işlemine uğratılan kontrol numunleri ve ağartma işlemine uğratılan bakteriyel selüloz numuneleri 70 mm lik buhner hunisi ve süzgeç kâğıdı kullanılarak vakum altında yıkanmış ve kâğıt formasyonu oluşturulmuştur. Elde edilen yaş formasyondaki liflerin düzgün bir şekilde kurutulabilmesi için Papid Köthen cihazının kurutma bölümü kullanılmış ve şekil 12’de görülen kâğıt örnekleri üretilmiştir.



Şekil 12. Üretilen Kâğıt örnekleri.

2.3 Optik Testler

2.3.1 Test Kâğıtlarına ait ISO Parlaklık Ölçümü

Deneme kâğıtlarının parlaklık ölçümü Minolta CM-2600d marka spektrofotometre parlaklık ölçer ile ISO/ DIS 2470-1977 standardına uygun olarak C/ 2 ilüminasyon ve difüz metot kullanılarak yapılmıştır (ISO/DIS 2470, 1977). ISO parlaklık ölçümleri, deneme kâğıtları ışığı geçirmeyecek durumda dörde katlanarak aşağıdaki koşulları sağlamak şartı ile kâğıdın iki yüzeyindeki farklı noktalardan ölçümler yapılmıştır (Peşman ve ark., 2010). Cihazın parametreleri aşağıdaki şekilde ayarlanmıştır.

MASK/GLOSG	:M/ 1+ E
UV Ayarları	: UV % 0
Aydınlatıcı 1	: D 65
Aydınlatıcı 2	: C
Observer	: 10 C
Ekran	: Diff &ABS
Renk genişliği	: B ISO 2470
Auto Avg.	: 1
Gecikme zamanı	: 0.05

2.3.2 Test Kâğıtlarına ait CIE L *a* b* Renk Değerlerinin Ölçümü

Renk ölçümleri ISO/CD 5631 standardına göre difüz reflektans metodu ile yapılmıştır. CIE (Commission Internationale Eclairage) tarafından 1971 yılında kâğıt endüstrisi için önerilen bu sistem trisitumulus (X, Y, Z) program aracılığı ile L* a*b* CIE L*a*b* koordinatlarının hesaplanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca örneklerin kontrol numunelerine göre ΔE değerleri de hesaplanmıştır.

L* rengin parlaklığını gösterirken a* rengin kırmızılık veya yeşilliği, b* ise rengin sarılık veya maviliğini ifade eder. a-ekseni kırmızıdan (+a) yeşile (-a), b-ekseni sarıdan (+b) maviye (-) doğru değişir (Hubbe ve ark., 2008).

2.3.3 Test Kâğıtlarının Beyazlık (WI) Değerlerinin Ölçülmesi

Beyazlık ölçümleri ASTM-313 ve CIE standardına göre Minolta CM-2600d marka spektrofotometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.3.4 Test Kâğıtlarının Sarılık (YI) Değerlerinin Ölçülmesi

Test kâğıtlarının sarılık ölçümleri ASTM-313 ve ASTM-1925 standardına göre Minolta CM-2600d marka spektrofotometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.3.5 Örneklerin Reflektans ve k/s Spektrumlarının Ölçülmesi

Örneklerin reflektans ve k/s (absorbans) spektrumları ISR ataçmanlı Shimadzu UV-3600 cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Blank için baryum sülfat kullanılmış ve örneklerin 1000-230nm dalga boyu aralığındaki reflektans spektrumu ölçülmüştür. “k/s” değeri Kubelka-Munk’a göre cihaz üzerinden hesaplanmıştır.

2.4 Örneklerin FTIR-ATR Karakterizasyonu

Test kâğıtlarının yapısal değişimlerini belirlemek amacıyla FTIR (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy-Attenuated Total Reflectance) spektrumları incelenmiştir. Bu amaçla ölçümler Shimadzu IR Prestige-21 cihazında Pike Miracle ATR aparatı kullanarak kullanılarak 4000-600 cm^{-1} dalga sayısı aralığında 16 cm^{-1} çözünürlükte 18 tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Özellikle kalsiyum karbonat ile ilgili 872 cm^{-1} ve 1426 cm^{-1} bandları özellikle incelenmiştir. Spektrumlar absorbans olarak ölçülmüştür.

2.5 Örneklerin Taramalı Elektron Mikroskobu Karakterizasyonu

Çalışmada örneklerin yapısal durumlarının incelenmesi ve lif kalınlıklarının ölçülmesi için Carls Zeiss Evo LS-10 elektron mikroskobu kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında kontrol numuneleri ve en yüksek oranda ağartıcı kullanılan örneklerin 200X, 10.000X ve 30.000X büyütmede SEM görüntüleri çekilmiş ve lif kalınlıkları ölçülmüştür.

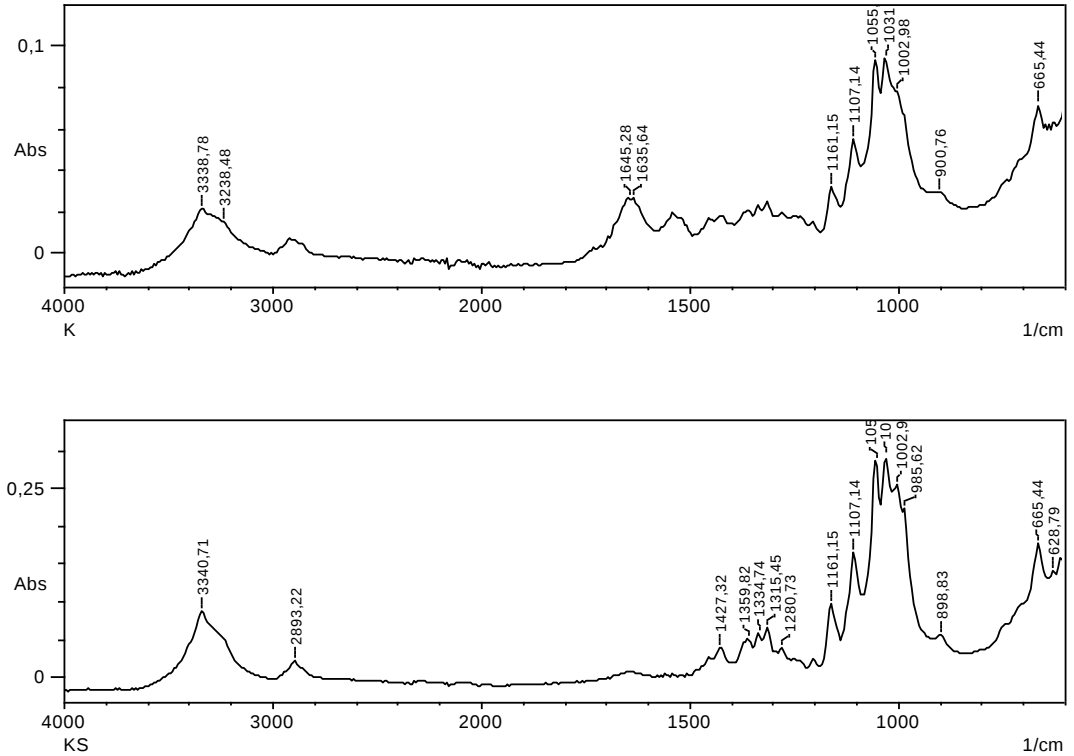


3 TARTIŞMA

3.1 FTIR-ATR Karakterizasyonu

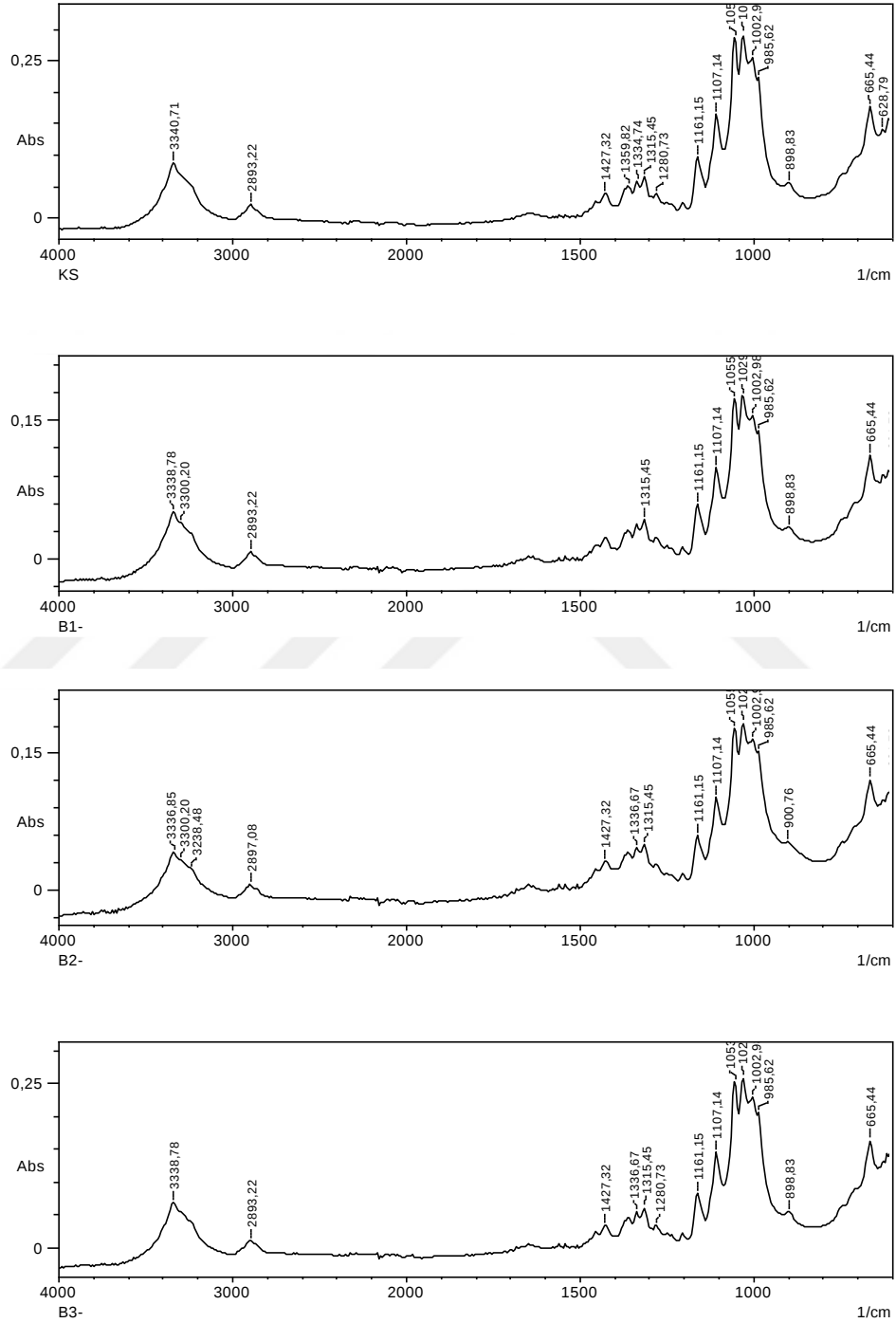
Şekil 13'te bakteriyel selülozun saflaştırma öncesi ve sonrası FTIR-ATR spektrumları görülmektedir. Saflaştırma öncesi selülozun (K) karakteristik piklerinin yanında 1400-1700 cm^{-1} aralığında özellikle 1640 cm^{-1} ve 1515 cm^{-1} bantlarında pik yoğunluğunun olduğu görülmektedir.

Bu bantta yer alan pikler selüloz haricinde biyo kütlede yer alan diğer bileşenler olan proteinler, lipidler ve nükleik asitlerden kaynaklanmaktadır (Fuller ve ark., 2018). Ayrıca çay ve benzeri katkılardan kaynaklı fenolik bileşikler de yapıda bulunmaktadır. Fermantasyon sonrası uygulanan saflaştırma ve ağartma işlemlerinin amacı bu safsızlıkların oranını azaltmaktır. Şekilden görüldüğü gibi etil alkol ve alkali ile yapılan saflaştırma işlemi (KS) sonrası 1400-1700 cm^{-1} aralığındaki pik oluşumu oldukça azalmıştır.



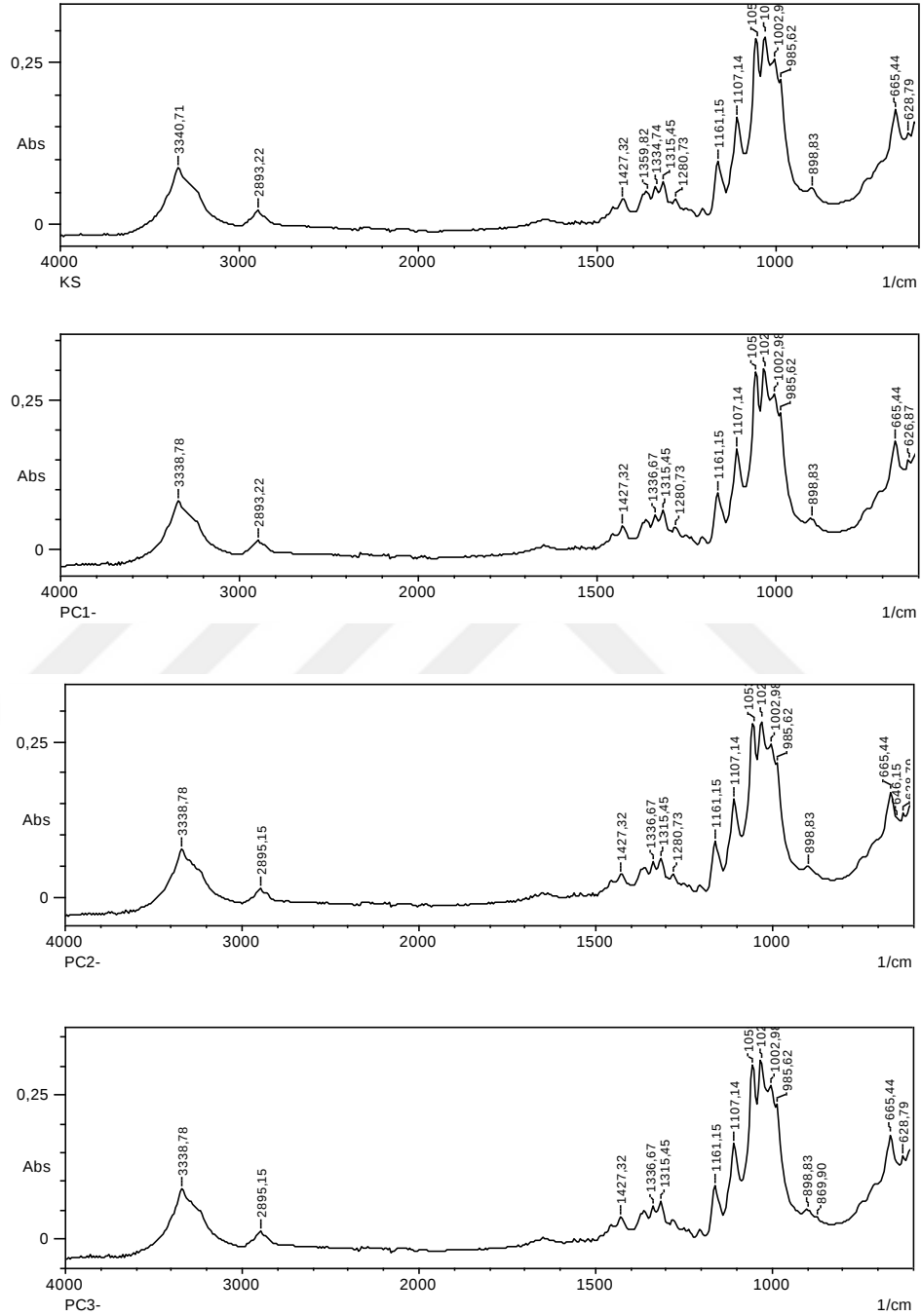
Şekil 13. Saflaştırma öncesi ve sonrası bakteriyel selülozun FTIR-ATR spektrumları

Şekil 14’de Sodyum borhidrür ağartmasına ait FTIR-ATR spektrumları görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde borhidrür ağartmasının kontrole göre çok önemli bir etki yapmadığı belirlenmiştir.

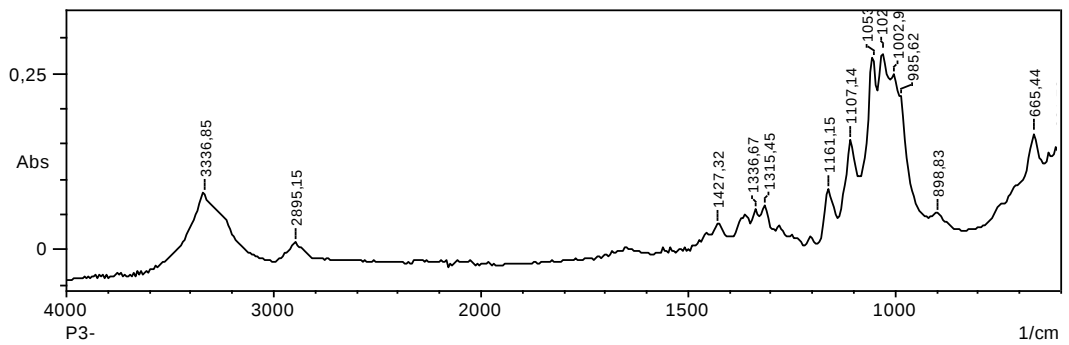
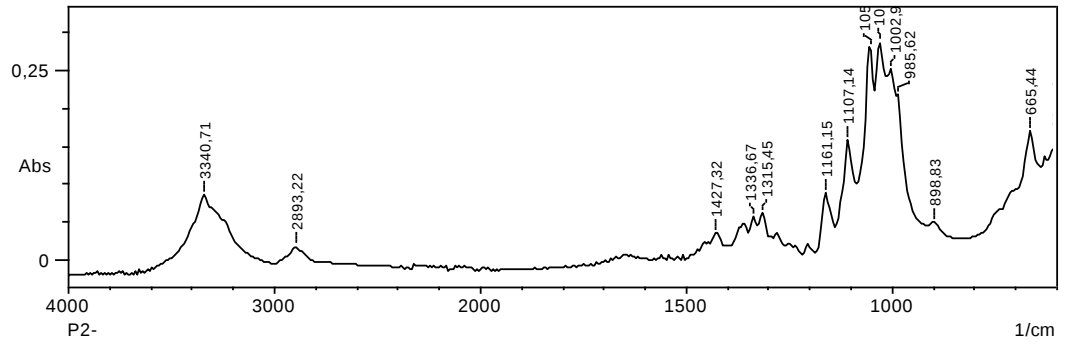
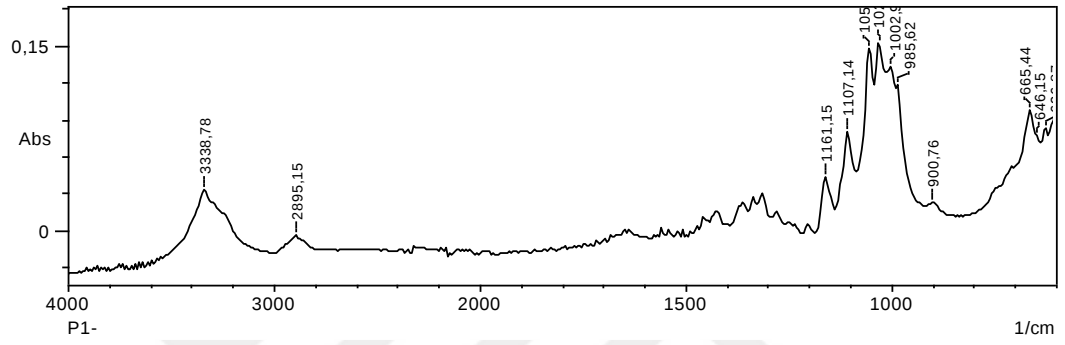
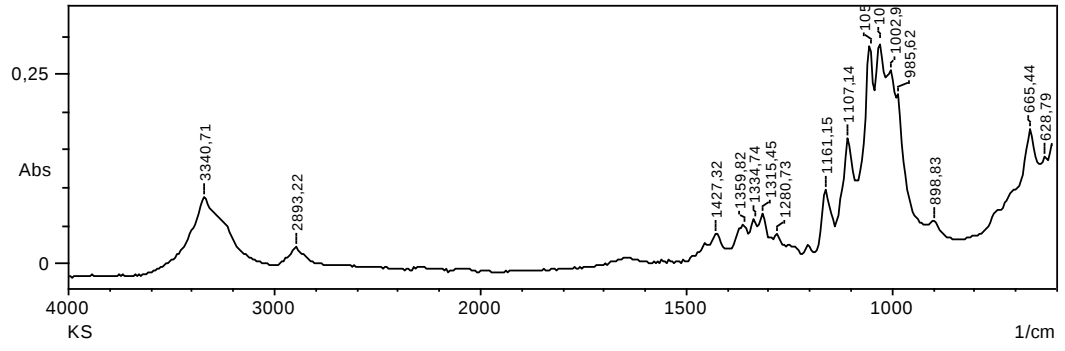


Şekil 14.Sodyum bor hidrür ile ağartılan örneklerin FTIR-ATR spektrumları.

Şekil 15’de sodyum perkarbonat ve Şekil 16’de hidrojen peroksit ağartmasının FTIR-ATR spektrumları görülmektedir. FTIR-ATR spektrumlarına göre ağartma işleminin işleminin çok önemli bir etkisi gözlenmemiştir.



Şekil 15.Sodyum perkarbonat ile ağartılan örneklerin FTIR-ATR spektrumları



Şekil 16. Hidrojen peroksit ile ağartılan örneklerin FTIR-ATR spektrumları

3.2 Optik Özellikler

Tablo 3’de kontrol örnekleri ve ağartılmış test numunelerinin optik özellikleri toplu olarak verilmiştir.

Tablo 3. Örneklerin optik özellikleri

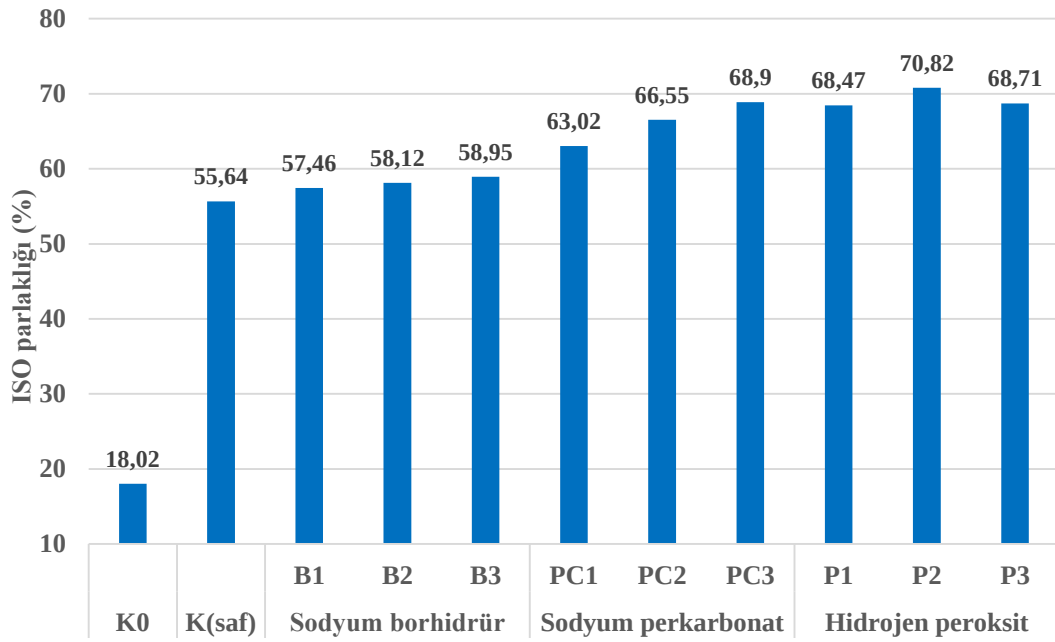
		ISO Parlaklığı (%)	ASTM- E313- WI	WI- CIE	ASTM 1925- YI	E313 YI	L*	a*	b*	ΔE	
K ₀	Ort.	18,02	-27,73	-117,09	63,70	45,32	61,37	8,35	23,91	-	
	Std.	0,82	5,02	20,36	6,30	3,37	1,29	0,78	1,85	-	
K _(sf)	Ort.	55,64	36,95	34,71	12,43	8,00	82,58	1,45	4,85	29,34	
	Std.	2,11	5,25	3,43	1,89	1,13	0,69	0,19	0,99	-	
B1	Ort.	57,46	36,33	34,89	13,56	10,09	83,31	1,55	5,37	0,90	
	Std.	0,76	4,99	3,39	1,00	1,51	0,40	0,20	0,99	-	
B2	Ort.	58,12	37,79	37,99	14,00	9,63	83,78	1,44	5,93	1,61	
	Std.	1,41	5,34	8,41	1,76	1,94	0,62	0,05	0,77	-	
B3	Ort.	58,95	39,75	37,19	13,35	9,90	84,20	1,19	5,41	1,73	
	Std.	1,14	3,48	6,02	1,97	1,55	0,52	0,13	0,96	-	
PC1	Ort.	63,02	39,45	35,99	14,15	11,22	87,18	0,97	6,63	4,96	
	Std.	0,21	1,55	2,33	1,19	0,19	0,43	0,21	0,47	-	
PC2	Ort.	66,55	43,12	41,65	13,09	10,01	88,71	0,45	6,38	6,40	
	Std.	0,75	2,11	2,96	0,93	0,82	0,07	0,16	0,34	-	
PC3	Ort.	68,90	49,86	49,94	10,69	8,51	89,25	0,34	5,30	6,78	
	Std.	0,88	1,90	2,09	0,76	0,66	0,19	0,07	0,42	-	
P1	Ort.	68,47	50,44	47,91	11,02	8,99	88,84	-0,15	5,52	6,50	
	Std.	0,77	1,42	4,52	0,56	0,65	1,67	0,07	0,47	-	
P2	Ort.	70,82	54,83	54,88	9,79	7,86	90,01	-0,06	4,83	7,58	
	Std.	0,71	3,18	2,37	0,88	0,84	0,06	0,05	0,35	-	
P3	Ort.	68,71	50,83	51,45	10,23	8,10	88,83	0,07	5,17	6,41	
	Std.	0,19	2,29	0,32	0,05	0,24	0,25	0,08	0,21	-	

K_(saf) örneğinin ΔE değeri K₀’a göre ölçülmüştür. Ağartma kademelerinin ΔE değeri K_(saf) temel alınarak hesaplanmıştır.

3.2.1 Örneklerin ISO Parlaklığı ve Beyazlık Değerleri (WI)

ISO parlaklığı bilindiği gibi kağıtların ağartılma seviyesini belirten en önemli parametrelerden birisidir.

ISO parlaklığı ISR ile 457 nm dalga boyunda ölçülen reflektans değeri olarak tanımlanmaktadır. Şekil 17’de saflaştırma ve ağartma işlemlerinin ISO parlaklık değeri üzerine etkisi görülmektedir.



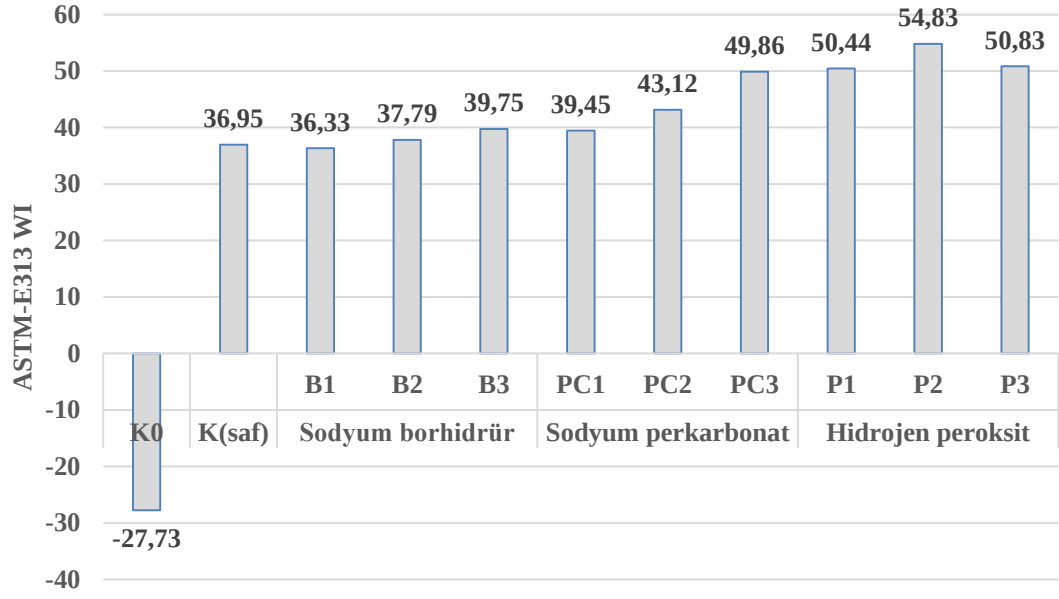
Şekil 17.Uygulanan işlemlerin ISO parlaklık değerine etkisi.

Grafikten görüldüğü gibi saflaştırma işlemi öncesi bakteriyel selülozun parlaklık değeri %18,02 olarak ölçülmüştür. Saflaştırma işlemi ile bakteri ve besi ortamı kaynaklı safsızlıklar, nükleik asit, lipidler ve proteinlerin uzaklaşması ile parlaklık değeri %55,64’e çıkmıştır. Çalışmada uygulanan renk kırma amaçlı sodyum borhidrür ağartması ile kontrol örneğine göre parlaklık değeri kuru madde miktarına göre %3 oranındaki dozajla ancak %3,31 oranında artmış ve %58,95’e çıkmıştır. Sodyum borhidrür indirgeyici bir ağartıcı olarak bilinmektedir. Çalışmada pH 7 civarında uygulanan sodyum borhidrür ağartmasının fazla etki göstermediği tespit edilmiştir. Sodyum borhidrürün mekanik hamur gibi lignin içeren kağıtların ağartılmasında etkili olduğu bilinmektedir (Peşman ve ark., 2011). Peşman ve çalışma arkadaşlarının (2011) yaptıkları çalışmada da %5.11 lik bir artış kaydedilmiştir.

Çalışmada en yüksek parlaklık değeri %2 AO hidrojen peroksit ağartması ile yaklaşık %15,18 artış ile %70,82 olarak belirlenmiştir. %1 hidrojen peroksit ile de artış yaklaşık %12,83 tür. %3 AO değerinde ise parlaklık biraz azalmıştır. Bunun nedeni ortama ile ve edilen alkalinin optimum seviyenin üzerine çıkılmış olması olabilir.

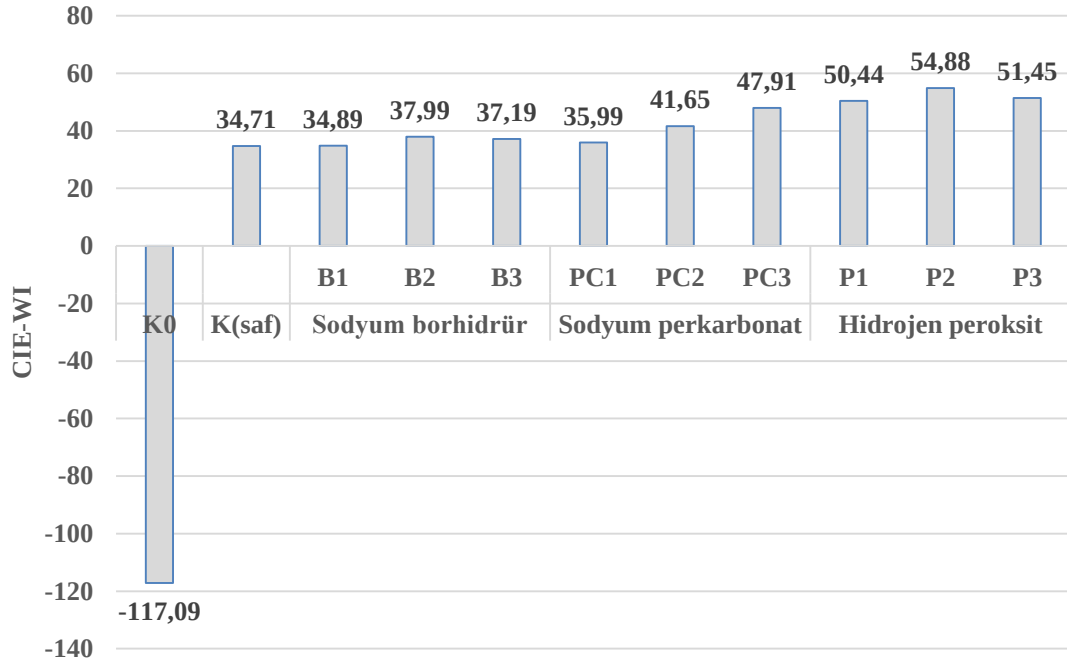
Hidrojen peroksit kolayca suyla ve oksijenle çözünebilen çevre dostu bir ağartıcıdır. Yüksek verim ve parlaklık değerine sahip olan hamurların üretilmesinde ağartma işlemlerinin son ağartma kademesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Renders, 1995; Feguson, 1992). Ağartma işlemi, hidrojen peroksidin su içerisinde dissosiyasyon olarak hidronyum (H_3O^+) ve perhidroksil iyonları (OOH^-) oluşturmaları ve perhidroksil anyonunun hamur içerisindeki kromoforları ağartması şeklinde gerçekleşmektedir (İmamoğlu, 2002). Karışık renkli ofis kağıtlarının ağartıldığı bir çalışmada %1 AO hidrojen peroksit ile parlaklık değeri %68,11'den %73,73'e, %3 AO hidrojen peroksit ile %81,33'e çıkartılmıştır (Peşman ve Parlak, 2018). Bu çalışmada ayrıca alternatif aktif oksijen kaynağı ağartıcı olarak sodyum perkarbonat kullanılmıştır. Sodyum perkarbonat ağartması ile parlaklık değeri %1 AO ile %63,02'ye %3 AO oranı ile ise %68,9'a çıkartılmıştır. Bu Sodyum perkarbonatın hidrojen peroksit alternatif olabileceği tespit edilmiştir. Sodyum perkarbonatın alkali karakterde olması ve ekstra sodyum hidroksit dozajına ihtiyaç duymaması avantajı olarak öne çıkmaktadır. Benzer sonuçlar Peşman ve arkadaşlarının (2011) yaptığı çalışmada da tespit edilmiştir.

Şekil 18'de test numunelerinin ASTM-E313'e göre ve Şekil 19'de CIE'ye göre beyazlık değerleri görülmektedir. Beyazlık değeri adından da anlaşılacağı üzere numunelerin içerdiği beyazlığı belirten bir parametredir.



Şekil 18.Uygulanan işlemlerin ASTM-E313 beyazlık değeri üzerine etkisi.

Grafiklerden görüldüğü üzere saflaştırılmamış örneğin beyaz renk içermemesi nedeni ile negatif değer verdiği görülmektedir. Saflaştırma işlemi ile bu değer 36,95'e, %3 sodyum borhidrür ile 39,45'e, %3 AO sodyum perkarbonat ile %49,86'ya ve %2 AO hidrojen peroksit ile %54,83'e çıkmıştır. Şekil 19'deki parlaklık değerleri de aynı eğilimde sonuçlar vermiştir.



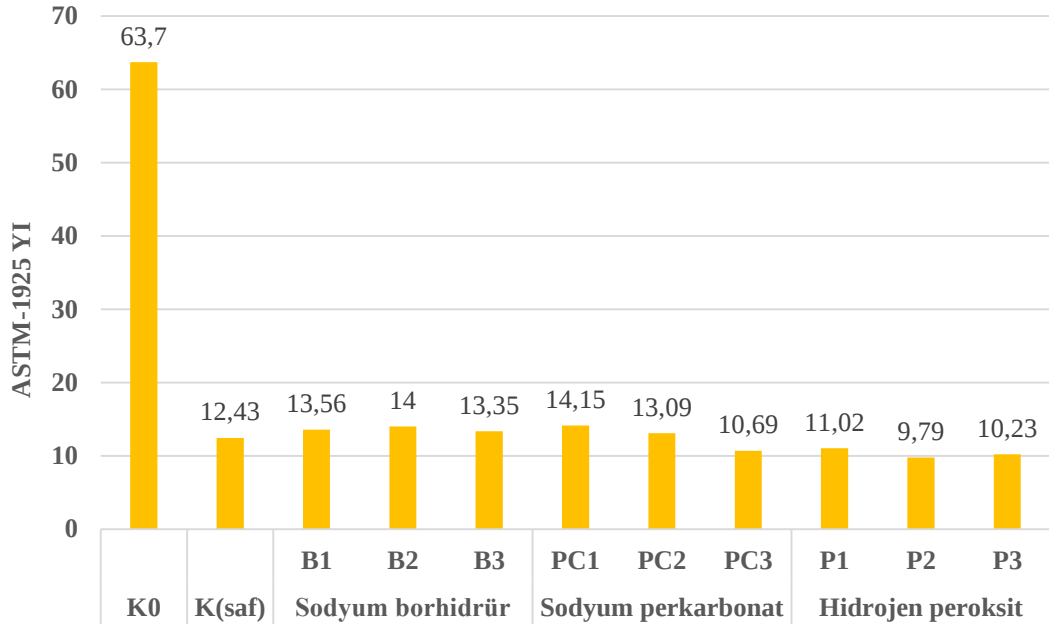
Şekil 19.Uygulanan işlemlerin CIE beyazlık değeri üzerine etkisi.

3.2.2 Örneklerin Sarılık Değerleri (YI)

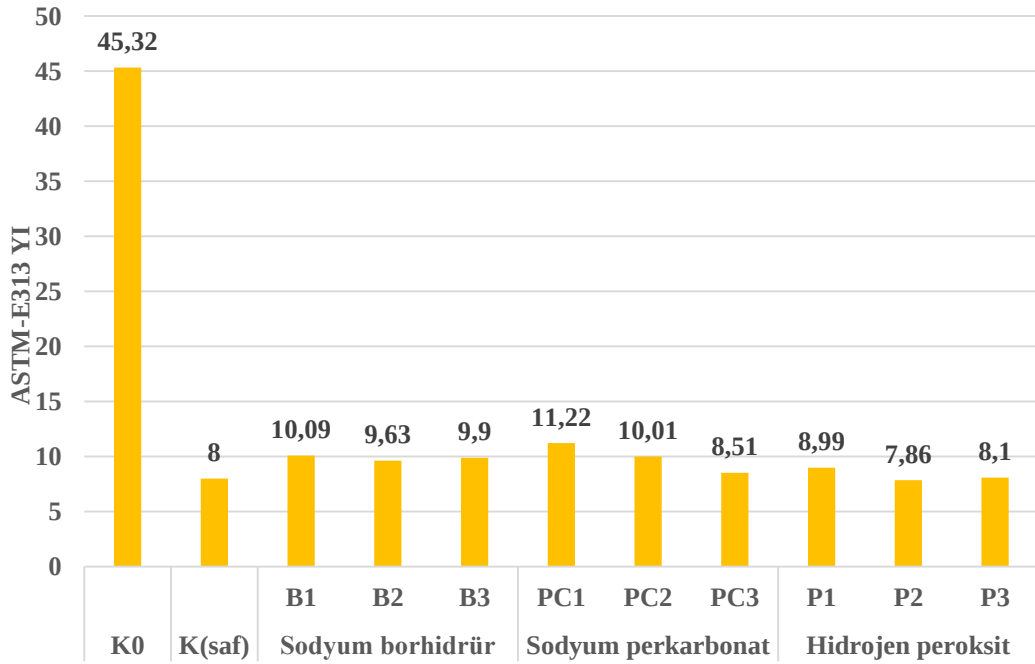
Sarılık değeri kağıtların kalitesini belirlemekte kullanılan önemli parametrelerden birisidir. Çalışmada ASTM 1925 ve ASTM E313 olmak üzere iki yöntem ile sarılık değeri belirlenmiştir. Bakteriyel selülozun sarılık değeri ASTM 1925'e göre 63,7 olarak, ASTM E313'e göre 45,32 olarak ölçülmüştür. Saflaştırma işlemi ile sarılık sırasıyla 12,43 ve 8'e gerilemiştir. Bununla birlikte sodyum borhidrür ağartması ile sarılık değerinin arttığı tespit edilmiştir. Sodyum borhidrürün çok daha kuvvetli bir indirgen olmasına rağmen diğer ağartıcılar ile karşılaştırıldığında sarılık değerini artırdığı tespit edilmiştir (Daneault ve Leduc, 1995; Pednault vd., 1999). Sodyum perkarbonat ağartması ile ASTM 1925'e göre sarılık değeri önce artmış daha sonra azalış göstermiştir. Sarılığın perkarbonat ağartmasındaki artışına alkali oranının neden olduğu düşünülmektedir.

Bu durum hidrojen peroksit ağartmasında 9,79 la en düşük değer %2 AO oranında elde edilmiştir. Alkali oranı %2,25'e ve hidrojen peroksit oranı %3 AO'e çıkarıldığında sarılık yeniden 10,23 değerine çıkmıştır.

Bunun nedeni fazla alkalinin sarartıcı etkisidir (Pesman ve ark., 2014). ASTM E313'te kısmen daha farklı sonuçlar elde edilmiştir fakat kağıtçılık açısından ASTM 1925 çok daha uygun bir yöntemdir.



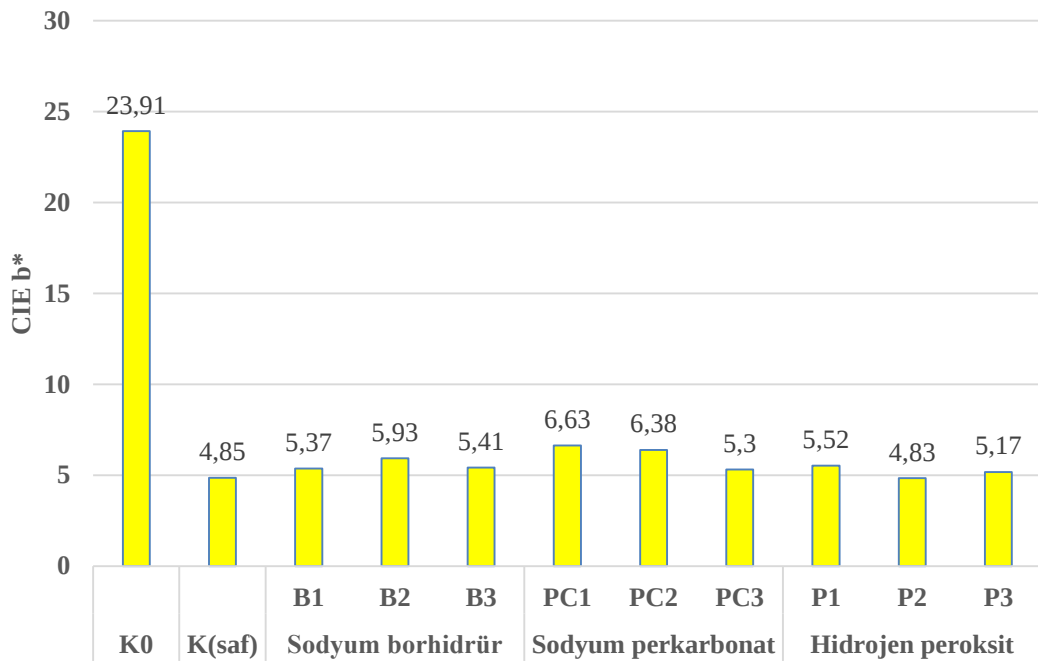
Şekil 20.Uygulanan işlemlerin ASTM-1925 sarılık değeri üzerine etkisi.



Şekil 21.Uygulanan işlemlerin ASTM-E313 sarılık değeri üzerine etkisi.

3.2.3 Örneklerin CIE L*a*b*, ΔE, Reflektans ve k/s Değerleri

CIE L*a*b* değerleri örneklerin renk koordinatlarını belirtmektedir. L* değeri örneğin aydınlık ve karanlık seviyesini, a* değeri pozitif ekseninde kırmızı renk varlığını, negatif ekseninde yeşil renk varlığını, b* değeri pozitif ekseninde sarı renk varlığını ve negatif ekseninde mavi renk varlığını göstermektedir. Tablo x’de görüldüğü gibi L* değeri bakteriyel selüloz için 61,37 iken saflaştırma ile 82,58’e çıkmıştır. %3 hidrojen peroksit ile parlaklık değeri 90,01’e kadar çıkmıştır. L* değerindeki değişimler ISO parlaklığı ve beyazlık değerleri ile aynı eğilimde gelişmiştir.

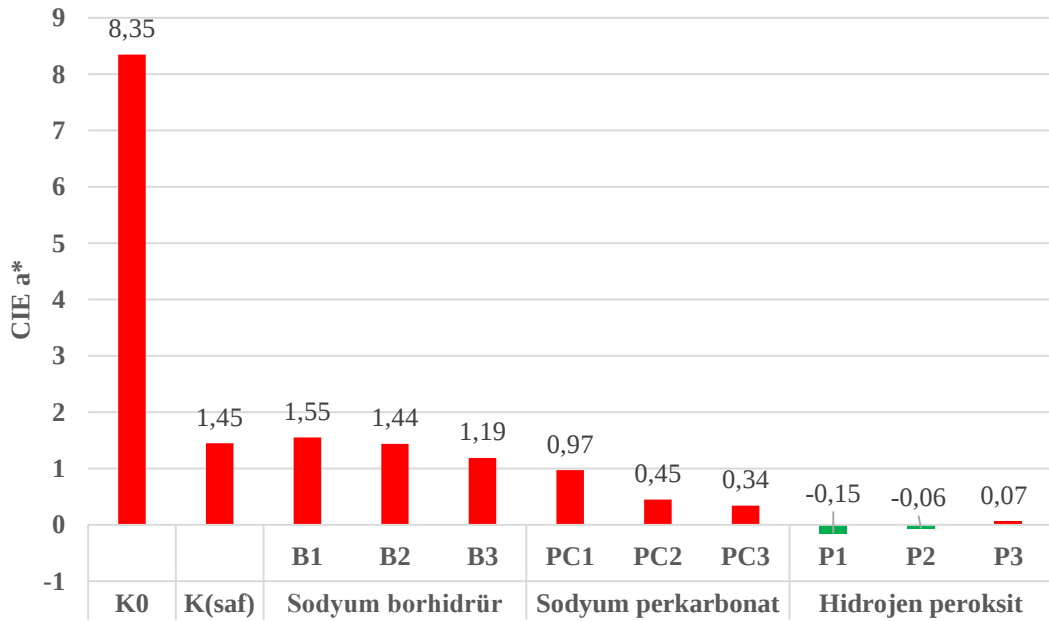


Şekil 22.Uygulanan işlemlerin CIE b* değeri üzerine etkisi.

Şekil 22’de saflaştırma ve ağartma işlemlerinin örneklerin CIE b* değeri üzerine etkileri görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde işlem görmemiş bakteriyel selülozun b* değeri 23,91 iken saflaştırma işlemi ile birlikte değer 4,85’e kadar düşmüştür. Sodyum borhidrür ağartması ile sarılık değerinin yaklaşık birer birim arttığı görülmektedir. Sodyum perkarbonat ağartması ile %1 AO oranında b* değeri önce 6,63’e çıkmış daha sonra sırasıyla %2 ve %3 AO oranlarında 6,38 ve 5,3’e gerilemiştir. Değerler kontrol örneğine göre yüksek kalmıştır. Bunun nedeni perkarbonatın içerdiği alkalinin renkli bileşenlerin sarılığını arttırmasıdır. Hidrojen peroksit ağartması ile b* değeri %1,%2 ve %3 AO oranları için sırasıyla 5,52, 4,83 ve 5,17 olarak ölçülmüştür.

Bu sonuçlar kontrol örneğine daha yakın sonuçlardır. Alkali oranının (NaOH) %1 AO için %0,75, %2 AO için %1,5 ve %3 AO için %2,25 alındığı hesaba katıldığında en iyi sonucun %2 AO hidrojen peroksit ve % 1,5 NaOH ile alındığı görülmektedir. Şekil z’de örneklerin a* değerleri görülmektedir. Daha önceden de belirtildiği gibi a* değeri kırmızı renk varlığını işaret etmektedir. Saflaştırma işlemi ile birlikte a* değeri 8,35’ten 1,45’e gerilemiştir. Sodyum borhidrür ağartması ile a* değerinin %3’lük oranda 1,19’a düştüğü tespit edilmiştir.

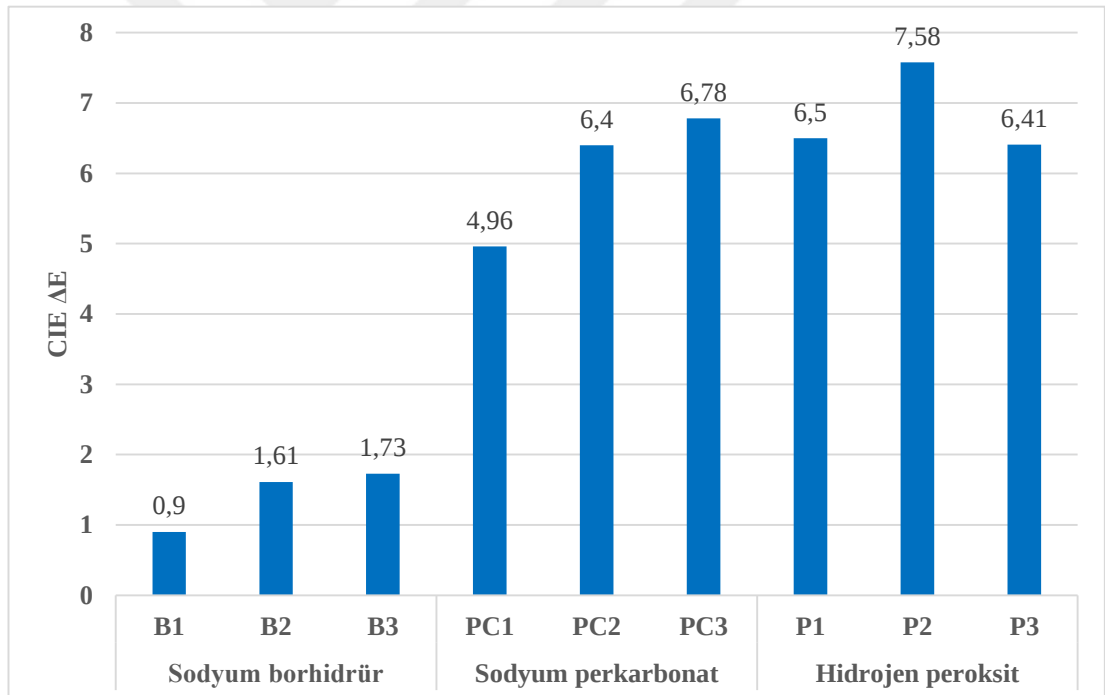
Tüm bu sonuçlara göre sodyum borhidrürün bakteriyel selülozun ağartılması üzerine etkisinin çok kısıtlı olduğu söylenebilir. Grafik incelendiğinde hidrojen peroksit ve sodyum perkarbonatın kırmızı rengin uzaklaştırılmasında oldukça etkili olduğu görülmektedir. %1 AO sodyum perkarbonat ile a* değeri 0,97’ye %3 AO ile 0,34’e kadar gerilemiştir. Hidrojen peroksit ağartmasında ise %1, %2 ve %3 AO oranları için a* değeri sırasıyla -0,15, -0,06 ve 0,07 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre %1 ve %2 AO oranlarında kırmızı rengin hidrojen peroksit ile tamamen ortadan kalktığı hatta negatif eksene geçtiği görülmektedir.



Şekil 23.Uygulanan işlemlerin CIE a* değeri üzerine etkisi.

Şekil 24 örneklerin CIE ΔE değerlerini göstermektedir. Bu değer aslında CIE $L^*a^*b^*$ değerlerinden hesaplanan ve örneklerin kontrole göre toplam renk değişimi belirtmektedir. Saflaştırma işlemimin ΔE değeri işlem görmemiş bakteriyel selüloza göre hesaplanmış ve 29,34 (Tablo x) olarak belirlenmiştir. Ağartma kademelerinin ΔE değerleri ise saflaştırılmış örneğin ($K_{(saf)}$) verileri baz alınarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre Sodyum borhidrür ağartması ile %3'lük oranda bile ΔE değeri 1,73 olarak ölçülmüştür. Sodyum perkarbonat ağartmasında %1 AO oranında ΔE değeri 4,69, %2 AO oranında 6,4 ve %3 AO oranında 6,78 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler tek kademeli bir ağartma işlemi için oldukça iyi sonuçlardır.

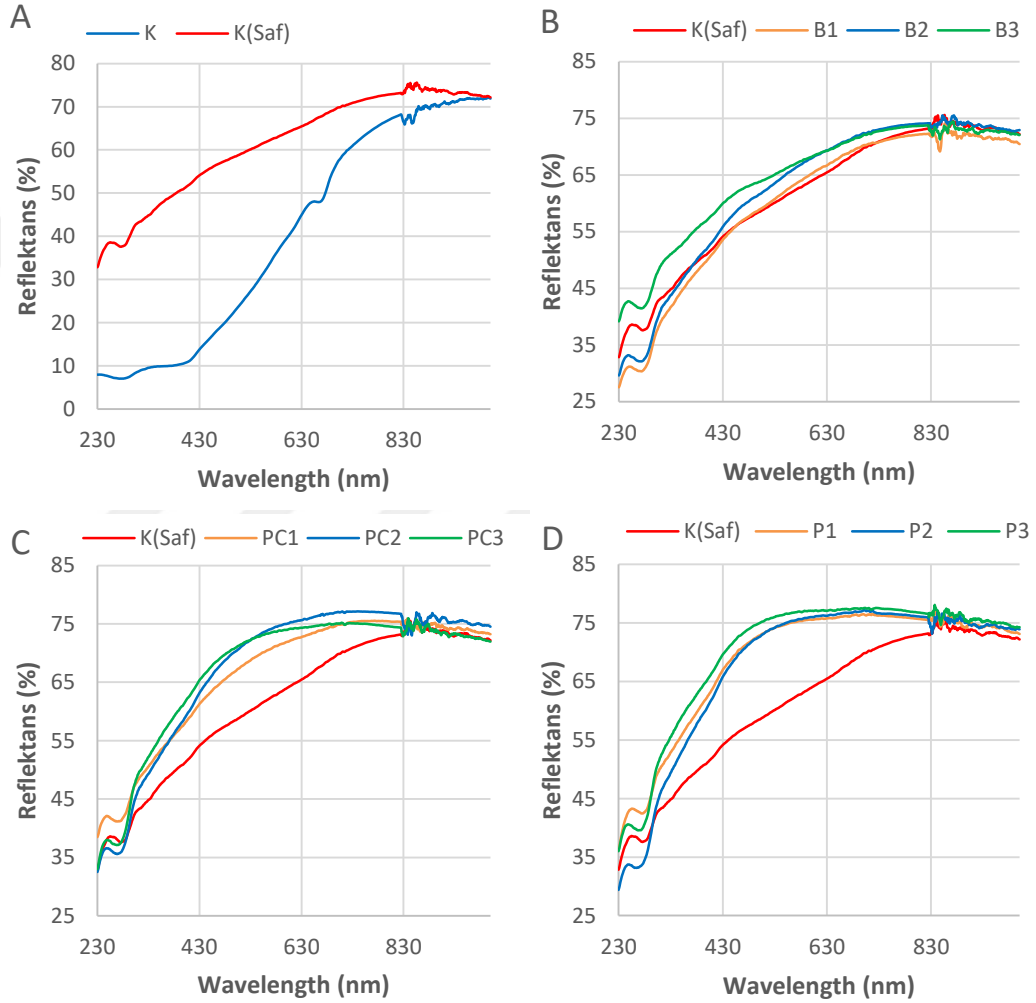
Hidrojen peroksit ağartmasında ise en yüksek sonucun (7,58) %2 AO ve %1,5 NaOH uygulaması ile elde edildiği görülmektedir. %3 AO peroksit ve %2,25 NaOH uygulamasında alkalinin sarartma etkisi nedeniyle ΔE nin düştüğü görülmektedir.



Şekil 24.Uygulanan işlemlerin CIE ΔE değeri üzerine etkisi.

Yapılan çalışmada son ağartma işlemine uğratılmış renkli ofis kağıtlarının Shimadzu UV-3600 ISR 3100 cihazı ile baryum sülfat standart yansıtıcısına karşı 230-1000 nm dalga boyları arasındaki reflektans ve k/s değerleri ölçülmüştür. “k” absorptans katsayısını ve “s” ışık saçınımını belirtmektedir. Şekil 25’de örneklerin reflektans değerleri görülmektedir.

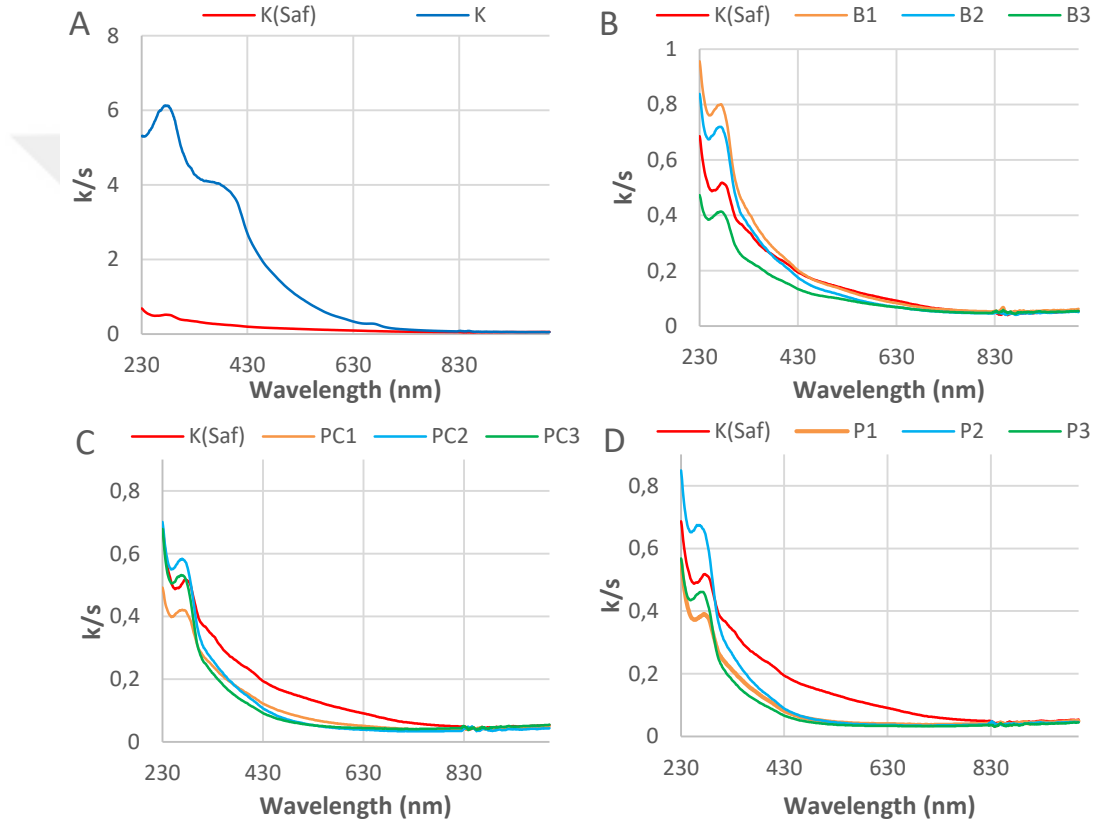
Reflektans değerleri incelendiğinde saflaştırma ile reflektans eğrisinin arttığı açıkça görülmektedir. Sodyum borhidrür ağartmasında ise uygulanan kademelerin saflaştırılmış bakteriyel selülozun reflektans eğrisine çok benzer olduğu çok az değişim olduğu görülmektedir. Sodyum perkarbonat ve hidrojen peroksit ağartmalarında ise kontrol örneğine göre çok belirgin bir fark görülmektedir.



şekil 25.Uygulanan saflaştırma ve ağartma kademelerinin reflektans değeri üzerine etkisi.

Kromofor boyar maddelerin kalbini oluşturmaktadır ve konjuge çift bağlar ile tekil bağlardan oluşan geniş bir sistemden oluşmaktadır. Bu sistem, pi elektron sistemi olarak bilinmektedir. Boyar maddenin ışığı absorblayabilmesi için en az 4 konjuge ifte bağa ihtiyaı vardır.

Işık bu pi elektron sistemi ile karşılaştığında ışığı absorblama derecesine göre renk olarak görünmektedir (McLow, 2009). Şekil 26'de örneklerin absorbans (k/s) değerleri görülmektedir. İşlem görmemiş ve saflaştırılan örneklerin k/s değerleri karşılaştırıldığında absorbansın oldukça azaldığı görülmektedir. Ağartma kademeleri ile birlikte özellikle görünür bölgedeki kısımlarda absorbans değerlerinin çok daha düşük olduğu grafiklerden görülmektedir.

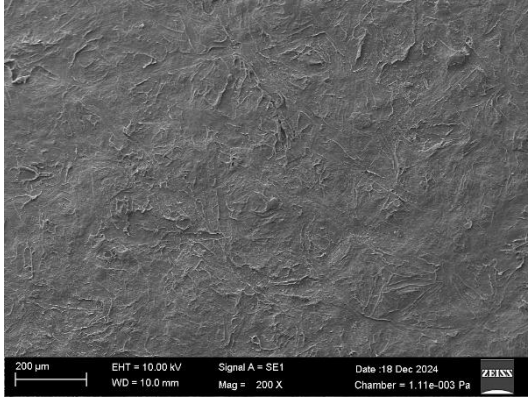


Şekil 26.Uygulanan saflaştırma ve ağartma kademelerinin k/s değeri üzerine etkisi

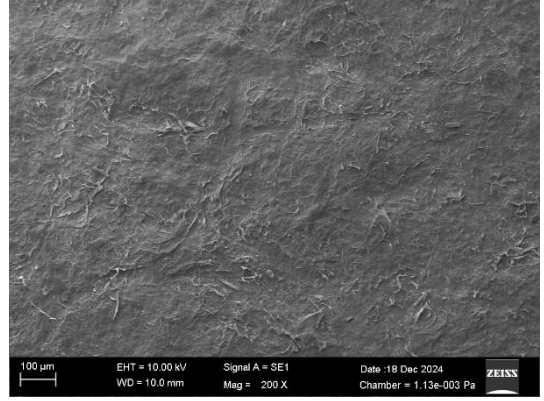
3.3 Örneklerin SEM Görüntüleri

Çalışmada ayrıca örneklerin 200x 10000X ve 30000X büyütmedeki SEM görüntüleri çekilmiştir. SEM görüntülerinin çekilmesinin nedeni uygulanan işlemlerin liflere zarar verip vermediğinin belirlenmesidir. Şekil 27'den görüldüğü gibi çok ince lif yapısından dolayı kağıtların yüzeyi tamamen lifle örtülmüş görülmektedir. Şekil 28'de ise örneklerin 10.000X büyütmedeki görüntüleri görülmektedir.

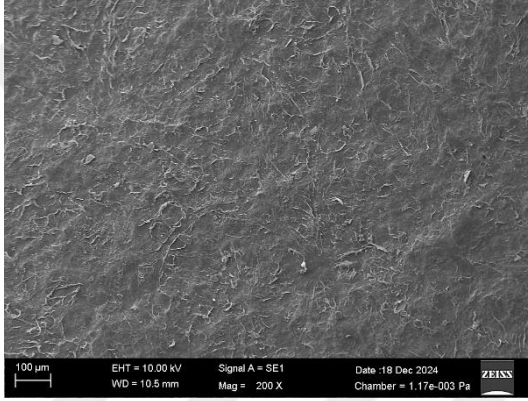
Görüntüler incelendiğinde özellikle işlem görmeyen bakteriyel selülozun kalıntı hücre bileşenleri nedeniyle daha pürüzlü yapı gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni proteinler, diğer hücre bileşenleri ve lipidler gibi safsızlıkların bulunmasıdır. Şekil 29'de örneklerin 30.000X büyütmedeki görüntüleri görülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde ağartma işlemleri ile liflerin zarar görmediği tespit edilmiştir. Ayrıca lif kalınlıklarının ortalama 106.36 nm boyutunda olduğu belirlenmiştir.



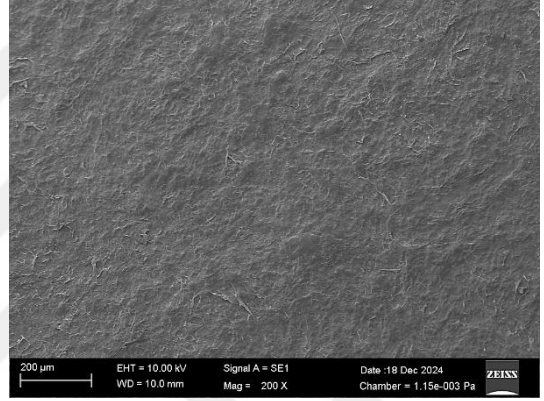
K_0



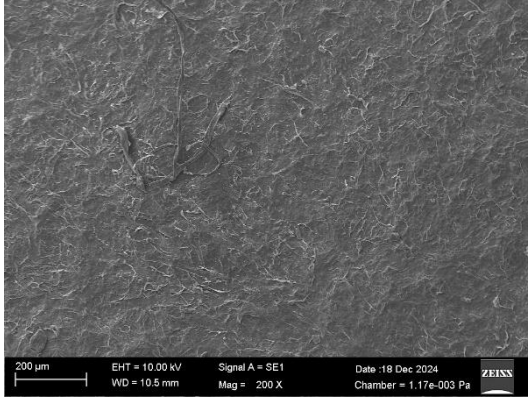
$K_{(saf)}$



B3

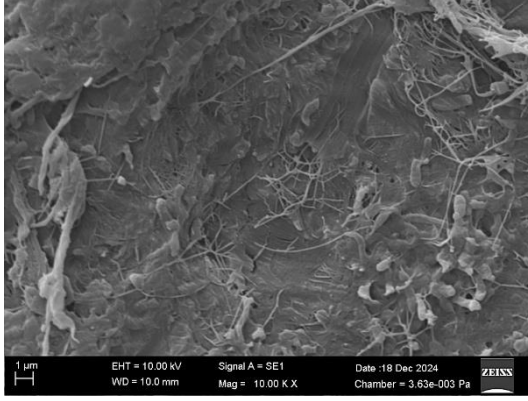


PC3

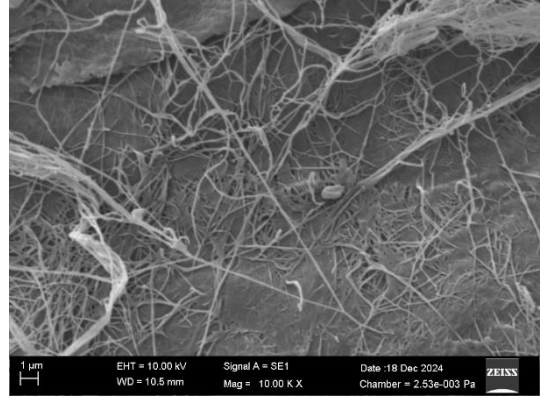


P3

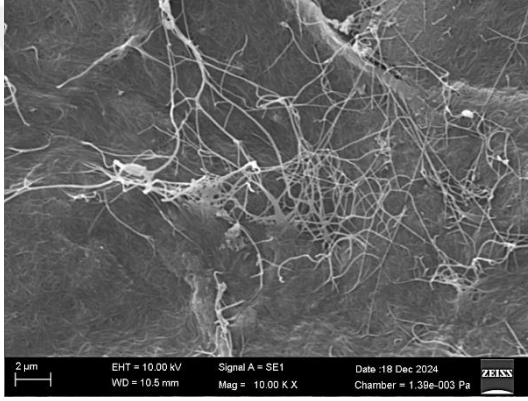
Şekil 27.Örneklerin 200X büyütmedeki SEM görüntüleri



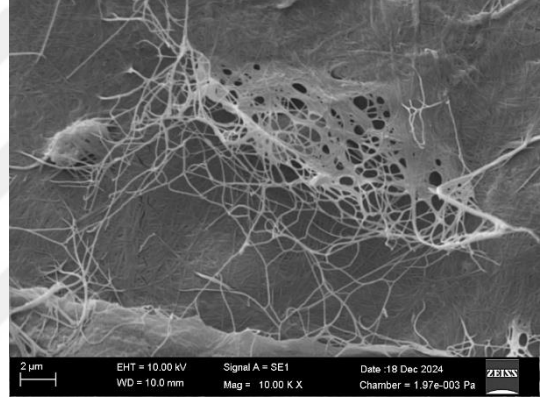
K_0



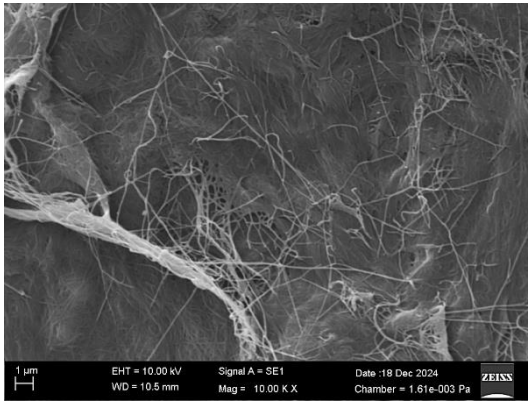
$K_{(saf)}$



B3

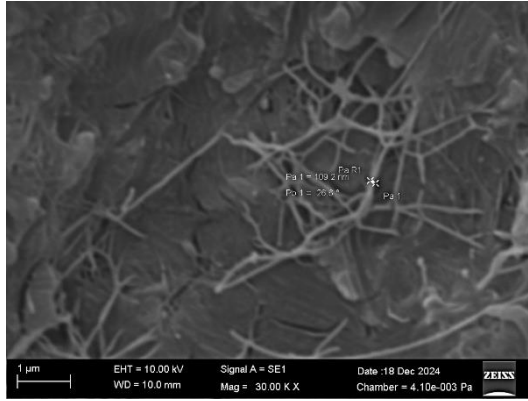


PC3

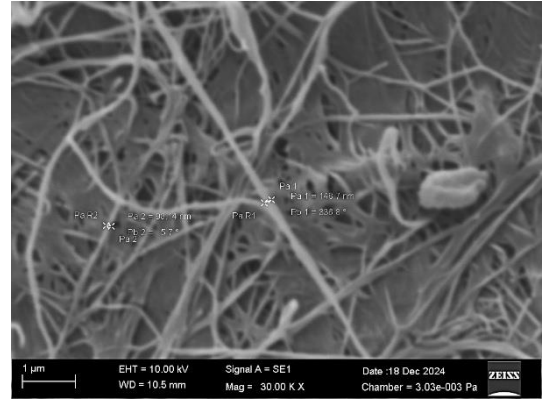


P3

Şekil 28. Örneklerin 10000X büyütmedeki SEM görüntüleri



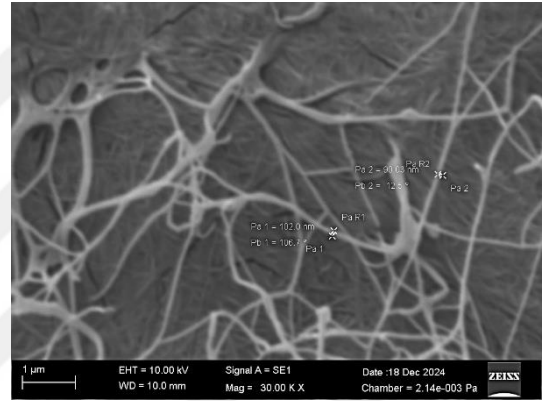
K₀ Lif kalınlığı 109,2 nm



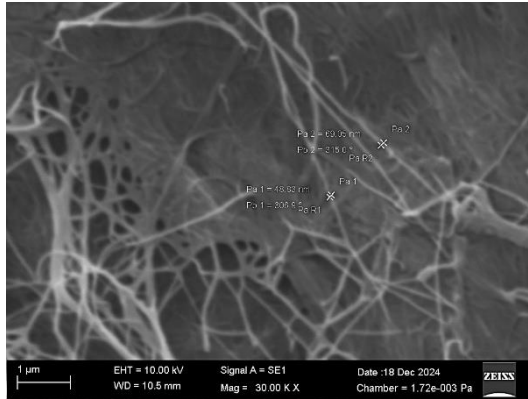
K_(saf) Lif kalınlığı 98,14-148,7 nm



B3 Lif kalınlığı 98,14-188,6 nm



PC3 Lif kalınlığı 90,03-102 nm



P3 Lif kalınlığı 48,83-70-110 nm

Şekil 29. Örneklerin 30000X büyütmedeki SEM görüntüleri

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında saflaştırma işlemi ve ağartma işlemi kademelerinin bakteriyel selülozun optik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir.

- Saflaştırma işlemi bakteriyel selülozun kullanılabilir hale getirilmesi için en önemli kademeyi oluşturmaktadır. Bakteriyel selüloz bilindiği gibi bakteri kültürü ve besi ortamında fermentasyonun ürünü olarak ortaya çıkmasından dolayı selüloz liflerinin yanı sıra bakteri kaynaklı hücre bileşenleri gibi safsızlıklar içermektedir. Çalışma kapsamında uygulanan etil alkol ve sodyum hidroksit kaynatma ve yıkama işlemleri ile bu safsızlıkların büyük bölümü uzaklaştırılmıştır. Sonuçları FTIR-ATR spektrumu, SEM çalışmaları ve optik özelliklerinde görmek mümkündür.
- Çalışmada uygulanan ağartma kademelerinden birisi sodyum borhidrür ağartma kademesidir. Sodyum borhidrür ağartması nötr ortamda yapılmıştır bu nedenle çok zayıf bir etki gözlenmiştir. Bununla birlikte alkalinin az olmasında rağmen test örneklerinin sarılık değerlerini azaltmamıştır. Sodyum borhidrür ağartmasındaki en iyi renk uzaklaştırma değeri (ΔE) 1,73 ile %3 lük orandadır.
- Çalışmada uygulanan diğer ağartma kademesi sodyum perkarbonat ağartmasıdır bu kademe de reaktif oranları aktif oksijen cinsinden %1,%2 ve %3 olarak değiştirilmiştir. Sodyum perkarbonatın kendisinin alkali özellikte olmasından dolayı ağartma kademesine alkali ilave edilmemiştir. %3 AO Sodyum perkarbonat ağartması ile kontrole göre 6,78 renk değişimi (ΔE) elde edilmiştir. Bununla birlikte sodyum perkarbonatın sarılık değerlerini önce artırdığı sonra azalttığı fakat kontrole göre tüm sarılık değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Çalışma kapsamında en etkili sonuçlar hidrojen peroksit ağartma kademesi ile elde edilmiştir. Çalışmada hidrojen peroksit dozajı aktif oksijen cinsinden %1, %2 ve %3 olarak uygulanırken, NaOH miktarları sırasıyla %0,75, %1,5 ve %2,25 olarak belirlenmiştir. En etkili sonuçlar %2 AO hidrojen peroksit ve %1,5 NaOH içeren kademe ile belirlenmiştir. Bu oranda ISO parlaklığı 70,82, ΔE değeri 7,58, CIE b* değeri 4,83, CIE a* değeri -0,06 olarak belirlenmiştir.

- Oran %3 AO H₂O₂ ve %2,25 NaOH'a çıkarınca parlaklık kısmen azalmış ve sarılık renkleri de kısmen artmıştır. Bunun nedeni artan alkalinin sarartma etkisidir.
Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre ilerleyen çalışmalarda aşağıdaki öneriler doğrultusunda yeni çalışmaların yapılabileceği belirtilmiştir.
- Sodyum borhidrür ağartmasının alkali ortamda yapılmasının daha iyi sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.
- Ağartma kademelerinde formamidin sülfünik asit (FAS) ağartmasının da eklenmesinin iyi sonuçlar verebileceği değerlendirilmektedir.
- Yüksek parlaklık dereceleri için tek basamaklı uygulanan bu ağartma kademelerinin alkali ve ikinci ağartma basamakları ile desteklenmesinin çok daha iyi sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ASTM D1925-70 ,1988, Test Method for Yellowness Index of Plastics,
- ASTM E313-15,2010, Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates
- Bae, S.O. and Shoda, M., 2005. Production of Bacterial Cellulose by *Acetobacter xylinum* BPR2001 using molasses medium in a Jar Fermentor, *Applied Microbial Biotechnology*, 67, 45-51.
- Bielecki, S., Krystynowicz, A., Turkiewicz, M. and Kalinowska, H. Bacterial Cellulose, 40-46.
- Bokulich, N.A., Bamforth, C.W., 2013. The Microbiology of Malting and Brewing, *Microbiology and Molecular Reviews*, 77(2), 157-172. DOI: 10.1128/MMBR.00060-12
- Branda SS, Vik Å, Friedman L, Kolter R. 2005 Bi ofilms: the matrix revisited. *Trends Microbiol*, 13(1), 20–26
- Brown A.J. XLIII.-Selüloz oluşturan asetik bir ferment üzerinde. *J. Chem. Soc. Çev.* 1886; 49:432–439. doi: 10.1039/CT8864900432.
- Brown, M.R., 2006. Bacterial Cellulose: A Review of Its Characteristics and Applications, in: "Bacterial Cellulose: A Sustainable Source of Biopolymers," Springer, pp. 1-20.
- Chaplin, M. F., 2006. Water structuring at colloidal surfaces, in: J. Blitz and V. Gun'ko (Eds.), *Surface Chemistry in Biomedical and Environmental Science*, NATO Security Through Science Series, Springer, pp. 1-10.
- Cheng, P.H., Wang, P.M., Chen, J.W. and Wu, W.T., 2002. Cultivation of *Acetobacter xylinum* for the Bacterial Cellulose Production in a Modified Airlift Reactor, *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 35, 125-132
- Çakmakçı ML, Karahan AG, Çakır İ, Gündoğdu, A, Akoğlu A. 2008. Selüloz üretiminde kullanılacak mikro organizmaların izolasyonu, moleküler tanısı ve mikro biyel selülozun gıda sanayinde kullanım olanaklarının araştırılması. TÜBİTAK TOVAG 105O156 nolu proje raporu.
- Deneault, C., Leduc, CL., 1995, Bleaching Efficiency of Formamidin Sulfinic Acid (FAS) in Comparision to Hydrosulfite, Borohydride, and Peroxide in One and Two Stages, *Tappi Journal*, Vol. 78, No. 7p153-160
- Ersoy Kalyoncu E., 2023. Sürdürülebilir ve Yenilikçi Malzeme Alternatifi Olarak Bakteriyel Selüloz, Ed. Doğanlar B ve Ellialtıoğlu Ş., *Ziraat & Orman, Su Ürünleri Alanında Akademik Çalışmalar*. Gece Kitaplığı, ISBN: 978-625-425-214-3, Ankara, s103-124.

- Fabra M.J., Lopez-Rubio A., Ambrosio-Martin J., Lagaron J.M. Bakteriyel selüloz nanobıyık içeren termoplastik mısır nişastası bazlı filmlerin bariyer özelliklerinin, gıda ambalajlarında ilgi çekici PHA elektrospun kaplamalar vasıtasıyla iyileştirilmesi. *Gıda Hidrokol.* 2016; 61:261–268).
- Feguson, L.D., 1992. Deinking chemistry: Part 2. *Tappi Journal*, Vol. 75, No.8, pp. 49-57.
- Fuller, M.E., Andaya, C., McClay, K., 2018, Evaluation of ATR-FTIR for Analysis of Bacterial Cellulose Impurities, *Journal of Microbiological Methods*, 144, p145-151.
- Geyer, U., Heinze, T., Stei, A., Klenn, D., Marsch, S., Schumann, D. and Schmauder, H., 1994. Formation, derivatization and applications of bacterial cellulose, *Int. J. Biol. Macromol*, 16, 343-347.
- Göksungur, Y., Uçan, A. and Güvenç, U., 2004. Production of Pullul from Beet Molasses and Synthetic Medium by *Aureobasidium pullulans*, *Türk J Biol*, 28, 23-30.
- Hesse S, Kondo T. 2005. Behavior of cellulose production of *Acetobacter xylinum* in 13 C-enriched cultivation media including movements on nematic ordered cellulose templates. *Carbohydr Polym*, 60, 457–465.
- Hubbe, M.A.; Pawlak, J.J.; Koukoulas, A.A., 2008. Paper's appearance: A review *BioResources*, 3(2), 627-665. DOI: 10.15376/biores.3.2.627-665.
- Iguchi M., Yamanaka S., Budhiono A. Bakteriyel selüloz- doğa sanatlarının bir şaheseri. 2000; 35:261–270).doi:10.1023/A:1004775229149.
- Increased Production of Bacterial Cellulose by *Acetobacter* sp. V6 in synthetic media under Shaking Culture Conditions, *Bioresource Technology*, 86, 215- 219.
- Ishihara M, Matsunaga M, Hayashi N, Tişler V. 2002. Utilization of D-xylose as carbon source for production of bacterial cellulose. *Enzyme Microb Technol*, 31, 986–991.
- ISO 11475, 2017, Paper and board - Determination of CIE whiteness, D65/10 degrees (outdoor daylight).
- ISO/DIS 2470-1977. Paper and board — Measurement of diffuse blue reflectance factor (ISO brightness) International Organization for Standardization
- İmamoğlu, S., 2002. Atık Kağıt Hamurlarının Formamidin Sülfirik Asit (FAS) ile Ağartılması. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi. İstanbul
- Jonas, R. and Farah, L.F., 1998. Production and Application of Microbial Cellulose, *Polymer Degredation and Stability*, 59, 101-106.
- Kahverengi A.J. Bakteri asetinin saf yetiştiriciliğinin kimyasal etkisi. *J. Chem. Soc. Çev.* 1886; 49:172–187). doi: 10.1039/CT8864900172.

- Kang J.H., Park S.C. *Saprolegnia ferax*'tan Selüloz Üretimi ve Özellikleri. J. Kore TAPPI. 2007; 39:77–83).
- Keshk SMAS, Razek TMA, Sameshima K. 2006. Bacterial cellulose production from beet molasses. *Afr J Bio technol*, 5, 1519–1523
- Keshk SMAS, Sameshima K. 2005. Evaluation of different carbon sources for bacterial cellulose production. *Afr J Biotechnol*, 4 (6), 478–482.
- Keshk, S.M.A.S. and Sameshima, K., 2005. Evaluation of Different Carbon Sources for the Bacterial Cellulose Production, *African Journal Of Biotechnology*, 4, 478-482.
- Klemm D, Schumann D, Udhard U, Marsch S. 2001. Bacterial synthesized cellulose – artificial blood vessels for microsurgery. *Prog Polym Sci*, 26, 1561–1603.
- Klemm D., Heublein B., Fink H.P., Bohn A. Selüloz: Büyüleyici biyopolimerler ve sürdürülebilir hammadde. *Angew. Kimya Uluslararası* Ed. 2005; 44:3358–3393. doi: 10.1002/anie.200460587.
- Krystnowicz, A., Czaja, W., Jezierka, A.W., Miskiewicz, M.G., Turkiewicz, M. and Bielecki, S., 2002. Factors Affecting the Yield and Properties of Bacterial Cellulose, *Journal of Industrial Microbiology&Biotechnology*, 29, 189-185.
- Lee SY, Park SJ, Park JP, Lee Y, Lee SH. 2004. Economic aspects of biopolymer production, *Biotechnology of Biopolymers*, Ed: Steinbüchel A., VCH-Wiley, Weinheim, Germany, 1107-1138.
- Maguire, A., 1997. Bacterial Cellulose Based Medical Devices, Master of Engineering Science, The University of Western Ontario, London.
- McLoughlin, B., 2009. Paper Colouration : Application of Wet-End Paper Chemistry Thorn, I., On Au, C. Edt, Springer Science+Business Media B.V. 2009.
- Naritomi T, Kouda T, Yano H, Yoshinaga F. 1998. Effect of ethanol on bacterial cellulose production in continuous culture from fructose. *J Ferment Bioeng*, 85(6), 598–603.
- Pednault C. Pellerin C. ve Robert S., 1999. Amine Boranes as New Reductive Bleaching Chemicals on Softwood Pulp Single Stage and Multistage Process *Tappi Journal*, 82(2), p110-114
- Pesman, E., Imamoğlu, S., Ersoy Kalyoncu, E., Kırıcı, H., 2014. The Effects of Sodium Percarbonate and Perborate Usage on Pulping and Flotation Deinking Instead of Hydrogen Peroxide, *BioResources*, 9(1), p523-536.
- Peşman E., Kalyoncu Ersoy E., Kırıcı, H., 2010. Sodium Perborate Usage instead of Hydrogen Peroxide for the Reinforcement of Oxygen Delignification., *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 6(83): p106-109

- Peşman, E., Parlak, M., 2018. Recycling of Colored Office Paper. Part II: Post-bleaching with Formamidine Sulfonic Acid and Hydrogen Peroxide, *BioResources*, 13(3), p4841-4855.
- Pinto R.J.B., Marques P.A.A.P., Martins M.A., Neto C.P., Trindade T. Selülozik liflerde altın nanopartiküllerin elektrostatik montajı ve büyümesi. *J. Kolloid Arayüz Sci.* 2007; 312:506–512. doi: 10.1016/j.jcis.2007.03.043.
- Poyrazoğlu Çoban E, Bıyık HH. 2007. *Acetobacter pasteurianus* HBB6 ve *Acetobacter lovaniensis* HBB5 Ta rafından Yüzey Kültür Fermentasyonu ile Bakteriyel Selüloz Üretimi. 15. Ulusal Biyoteknoloji Kongresi 28–31 Ekim, Antalya, pp. 37.
- Ross P, Mayer R, Benziman M. 1991. Cellulose bi osynthesis and function in bacteria. *Microbiol Rev*, 55(1), 35–58
- Ross, P., Mayer, R. and Benziman, M., 1991. Cellulose Biosynthesis a Function in Bacteria, *Microbiological Reviews*, 55, 35-38.
- Shah, J. and Brown, M.R., 2005. Towards Electronic Paper displays made from Microbial Cellulose, *Applied Microbial Biotechnology*, 66, 352- 355.
- Shibazaki H., Kuga S., Onabe F. Bakteriyel selüloz içeren kâğıt tabakanın mekanik özellikleri. *Japonya Tappi*. 1994; 48:1621–1630. doi: 10.2524/jtappij.48.1621.
- Son, H.J., Heo, M.S., Kim, Y.G. and Lee, S.J., 2001. Optimization of Fermentation Conditions for the Production of Bacterial Cellulose By a Newly Isolated *Acetobacter* sp. A9 in Shaking Conditions, *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 33, 1-5.
- Son, H.J., Kim, H.G., Kim, K.K., Kim, H.S., Kim, Y.G. and 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.
- Sutherland IW. 2001. Microbial polysaccharides from Gram-negative bacteria. *Int Dairy J*, 11, 663–674.
- Tome 'L.C., Brandão L., Mendes A.M., Silvestre A.J., Neto C.P., Gandini A., Freire C.S., Marrucho I.M. Özel yüzey ve bariyer özelliklerine sahip bakteriyel selüloz membranların hazırlanması ve karakterizasyonu. *Selüloz*. 2010; 17:1203–1211). doi: 10.1007/s10570-010-9457-z.
- Tonouchi N, Tsuchida T, Yoshinaga F, Beppu T. 1996. Characterization of the biosynthetic pathway of cellulose from glucose and fructose in *Acetobacter xylinum*. *Bosci Biotech Bioch*, 60(8), 1377–1379
- Tsuchida, T. and Yoshinaga, F., 1997. Production of Bacterial Cellulose by Agitation Culture Systems, *Pure. &Applied Chemistry*, 69, 2453-2458.
- URL-1. Suzanne Lee: Biyocouture. [(erişim tarihi: 15 Aralık 2021)]. Çevrimiçi olarak kullanılabilir: <https://trendland.com/suzanne-lee-and-her-celluloid-clothing>

- URL-2. PIHTI Dergisi. [(erişim tarihi: 13 Aralık 2016)]. Çevrimiçi kullanılabilir: <http://www.clotmag.com/biomedica/simon-park>
- URL-3.2001.<http://www-biol.paisley.ac.uk/courses/stfunmac/glossary/cellulose.html>
- URL-4. 2005 <http://www.res.titech.ac.jp/~junkan/english/cellulose/index.html>
- URL-5.2006. http://www.cevreorman.gov.tr/hava_02.htm
- URL6.
2006.<http://www.rpi.edu/dept/chemeng/BiotechEnviron/CELLULOSE/axylin.html>
- URL-7.2006.<http://www2.parc.com/hsl/projects/gyricon/Cunningham,A.M.,2006>
http://www.sciencentral.com/articles/view.php3?article_id=218392010&language=english
- URL-8. Malzeme Dağılımı [(erişim tarihi: 26 Eylül 2019)]. Çevrimiçi kullanılabilir: <https://materialdistrict.com/article/handbag-bacterial-cellulose/>
- Vandamme, E.J., Baets, D.S., Vanbaelen, Joris, K. and Wulf, D.P., 1998. Improved Production Of Bacterial Cellulose and Its Application Pottential, Polymer Degradation and Stability, 59, 93-99.
- Villarreal-Soto, S.A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchard, J.P. and Taillandier, P., 2018. Understanding Kombucha tea fermentation: a review, J Food Sci, 83(3), 580-588. DOI: 10.1111/1750-3841.14068
- Xiang Z., Liu Q., Chen Y., Lu F. Bakteriyel selülozun fiziksel ve kimyasal yapılarınınkâğıt fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi üzerindeki etkileri. Selüloz. 2017; 24:3513–3523. doi: 10.1007/s10570-017-1361-3.
- Yuan, N., Xu, L., Zhang, L., Ye, H., Zhao, J., Liu, Z., Rong, J., 2016. Superior hybrid hydrogels of polyacrylamide enhanced by bacterial cellulose nanofiber clusters, Materials Science and Engineering: C,67, 221-230. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.04.074>

ÖZGEÇMİŞ

Fotoğraf

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYAN Okan

Uyruğu : T.C

Doğum tarihi ve yeri :

Medeni hali :

Yabancı Dili : İngilizce

Telefon :

Faks :

e-posta :

Eğitim

Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet Tarihi

Yayınlar