



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

Tasarım Sürecinde Biyolojik İşbirlikleri: Mikrobiyal Selülozdan Maske Üretimi Üzerine Bir Deneme

Biocollaborations in the Design Process: A Pilot Experiment on the Production of Mask from Microbial Cellulose

İrem KALE¹, T. Didem ALTUN¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Tınaztepe Kampüsü, 35160 Buca/İzmir, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):30 Haziran 2022 (30 June 2022)

Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

İrem KALE, T. Didem ALTUN (2022): Tasarım Sürecinde Biyolojik İşbirlikleri: Mikrobiyal Selülozdan Maske Üretimi Üzerine Bir Deneme, *Tekstil ve Mühendis*, 29: 126, 96-105.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/1300759920222912607>

Arastırma Makalesi / Research Article

TASARIM SÜRECİNDE BİYOLOJİK İŞBİRLİKLERİ: MİKROBİYAL SELÜLOZDAN MASKE ÜRETİMİ ÜZERİNE BİR DENEME

İrem KALE^{1*}

T. Didem ALTUN¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Tınaztepe Kampüsü, 35160 Buca/İzmir, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 01.11.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 12.05.2022

ÖZ: Kentlerin büyümesi, doğal kaynakların bilinçsizce kullanımı ve doğada çözünemeyen madde birikiminin artarak bir yığın haline gelmesi durumu son yıllarda sıklıkla karşılaşılan ve sonuçlarının her geçen gün daha da çok görüldüğü problemlerden birisidir. Son olarak 2020 yılında küresel salgın olarak ilan edilen “Covid-19” pandemisiyle birlikte, kullan-at özelliğe sahip ve doğada çözünemeyen petrol esaslı maskeler en çok kullanılan ürünlerden biri olmuş; bu durum da çevreye verilen zararın giderek artmasına neden olmuştur. Bu çalışmanın amacı biyoişbirlikçi yaklaşımlarını tasarım sürecine dahil ederek, gündelik hayatta sıklıkla kullanılan medikal maskelerin doğa dostu alternatifini aramaktır. Bu doğrultuda bakteri ve mayanın simbiyotik kültürüyle elde edilen mikrobiyal selüloz uygulaması yüzey oluşturmada kullanılmıştır. Mikrobiyal selülozun tasarımla ilişkili alanlarda kullanımı henüz yeni yaygınlaşmakta ve araştırılmakta olan bir konudur; özellikle ulusal ölçekte bu alanda yeterince akademik araştırma bulunmamaktadır ve makale bu çerçevede literatüre katkı sağlamayı hedeflemektedir. Maskenin ev ortamında kolaylıkla üretilebilmesi için kolay erişilebilir malzemelerden oluşan bir reçete uygulanmış ve mikrobiyal selüloz kaynağı olarak Kombu çayı kültürü kullanılmıştır. Deney sürecinde farklı deney ortamları ve renklendirme denemeleri yapılmış, sonuç ürün olarak insan yüzünün şeklini daha kolay alabilmesi, katlanıp küçülme potansiyeli ve estetik görünümünü zenginleştirmek için, origamik katlama ile bir maske tasarımı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen maskenin tıbbi kullanımı, kullanım verimliliği ve yüzeyin fiziksel özellikleri ileriki süreçlerde detaylı analiz ve araştırma gerektirmektedir. Sonuç olarak bu çalışma kapsamında medikal maske özelinde konvansiyonel yöntemlere çevre dostu bir alternatif sunulmuş ve mikrobiyal selülozun plastik esaslı araç-gereçlerin yerini alma potansiyeli de ortaya konmuştur. Büyüyen biyomateryalleri kullanmanın ve bunları tasarım alanına dahil etmenin, gerçekten sürdürülebilir bir üretim yöntemine sahip malzemeleri kullanmak için eşsiz bir fırsat olabileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Biyomateryal, Mikrobiyal selüloz, Kombu çayı, Medikal Maske, Origami

BIOCOLLABORATIONS IN THE DESIGN PROCESS: A PILOT EXPERIMENT ON THE PRODUCTION OF MASK FROM MICROBIAL CELLULOSE

ABSTRACT: The growth of cities, the excessive use of natural resources, and the agglomeration of undegradable materials in nature are very common problems in recent years and whose results are seen more and more every day. Latest, with the "Covid-19" pandemic, which was declared as a global epidemic in 2020, petroleum-based medical masks with disposable and non-biodegradable properties became one of the most used products. This situation has led to an increase in the damage to the environment. The aim of this study is to seek for an environmentally friendly alternative to medical masks that are frequently used in daily life by incorporating biocollaborative approaches into the design process. In this direction, the microbial cellulose application obtained by the symbiotic culture of bacteria and yeast was used to create the surface. The use of microbial cellulose in design-related fields is a topic that is only recently becoming widespread and researched. There is not much academic research in this field, especially on a national scale, and the article aims to contribute to the literature in this context. The recipe of the mask consists of easily accessible materials to be easily produced in the home environment and Kombucha culture was used as a source of microbial cellulose. During the experiment process, different experimental environments and coloring experiments were made, and a mask design with origami folding was carried out to take the shape of the human face more easily as a final product, to enrich the potential for folding and its aesthetic appearance. The medical use of the developed mask, the efficiency of use and the physical properties of the surface require detailed analysis and research. As a result, within the scope of this study, an environmentally friendly alternative to conventional methods for medical masks has been presented and the potential of microbial cellulose to replace plastic-based masks has been revealed. Using growing biomaterials and incorporating them into the design field can be a unique opportunity to use materials with a truly sustainable production method.

Keywords: Biomaterial, Microbial cellulose, Kombucha, medical mask, Origami

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: irem.kale@deu.edu.tr

DOI: <https://doi.org/10.7216/1300759920222912607> www.tekstilmuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Plastik, genellikle petrol ve petrol türevlerinden elde edilen ve doğada yok olma süreleri yüzyıllar süren bir malzemedir. İlk plastik olan selüloid, 1869'da John Wesley Hyatt tarafından bilardo topu üretimine yönelik icat edildiğinde, bu topların üretimi için avlanan yabani fillerinden elde edilen fildişini bir kaynak olmaktan çıkarmış ve doğal çevreye olumlu bir yaklaşım sağlamıştı. Buna alternatif olarak 1907 yılında Leo Baekeland tarafından keşfedilen bakalit, kısa sürede geliştirilen diğer sentetik plastiklerin ve petrokimya alanındaki hızlı bir gelişmenin önünü açmıştır [1]. Süreç içinde polimerizasyon işlemi ile polimerler, polietilen gibi farklı plastik türevleri geliştirilmiş ve kullanımı yaygınlaşmıştır. Plastik ve türevleri kolay elde edilmeleri, kalıplanabilir ve farklı formlarda üretilebilir olmaları, güçlü ve esnek bir yapıya sahip olmaları doğrultusunda gıda, sağlık, endüstri gibi çok farklı sektörlerde tercih edilmektedir.

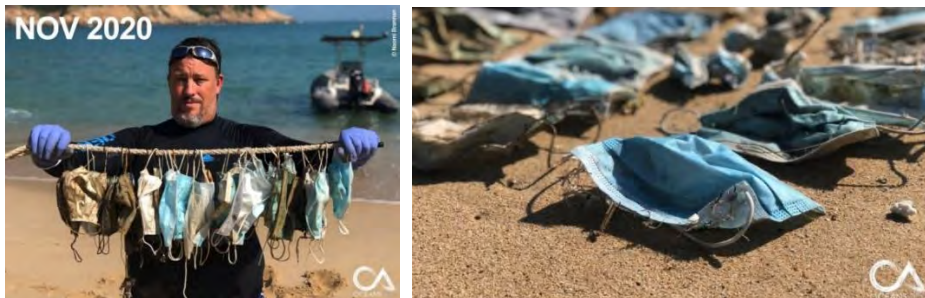
Ancak günümüzde hayatın her alanında oldukça büyük bir yere sahip olan plastik esaslı malzemelerin bilinçsiz kullanımı ve doğada geri dönüşüm süreçlerinin aşırı uzun olması doğrultusunda plastik ve türevleri, önemli çevresel atıklar haline dönüşmüştür. Bugün doğaya atılan atıkların yaklaşık % 11'ini plastikler oluşturmakta, doğal ortamda, çöplüklerde ve özellikle denizlerde önemli oranda plastik atık birikmektedir [2]. Pasifik Okyanusu'nun ortasında, yaklaşık 3,5 milyon metrekare büyüklüğünde ve 7 milyon ton ağırlığında plastik çöp yığından oluşmuş "Yedinci Kıta", Antroposen Çağı'nın küresel ısınmayla birlikte en gözle görülür problemlerinden biridir [3].

Bu durum, Mart 2020'de küresel salgın olarak ilan edilen Covid-19 pandemisiyle birlikte, tek kullanımlık plastik esaslı maske ve eldiven gibi malzemelerin hayatımızda büyük yer edinmesi ve sonrasında söz konusu çevresel atıklara katılmasıyla ilerlemiştir. Medikal yüz maskeleri genellikle tela kumaştan imal edilmekle birlikte, virüs geçişine engel olmak üzere termoplastik bir polimer olan polipropilen içerir. Hong Kong merkezli bir çevre grubu olan Ocean Asia, 2020'de yaklaşık 1,56 milyar maskenin okyanuslarda bulunduğunu ve bunun 4.680 ila 6.240 metrik ton plastik kirliliğine tekabül ettiğini söylemiştir [4], (Şekil 1). Grup, "Covid-19'un Deniz Plastik Kirliliği Üzerindeki Etkisi" başlıklı son raporunda, bu maskelerin parçalanmasının 450 yıl kadar süreceğini ve bu arada mikro plastik kaynağı olarak denizdeki yaban hayatı ve ekosistemleri olumsuz etkileyeceğini söylemektedir [5].

Karşı karşıya kalınan bu problemlere karşı tasarım ve mühendislik disiplinleri çevreye olumsuz zararları düşük ürün ve tasarımlar üretmenin yeni yollarını aramakta; bu noktada da plastik esaslı malzemelere alternatif arayışları önemli bir yer tutmaktadır. Bu noktada mikrobiyal selüloz, güçlü ve esnek, insan metabolizmasına karşı etkisiz, toksik olmayan ve doğada kısa sürelerde çözünebilir bir biyopolimer olarak plastiğe alternatif nitelikler içermektedir [6]. Gıda, tekstil, tıp, farmakoloji, kozmetik, tarımsal üretim gibi çok farklı sektörlerde kullanım potansiyeli taşımakla birlikte, mikrobiyal selülozdan üretilen yüzeylerin kullanımı henüz yaygınlaşmamış ve literatürde yeni araştırılmakta olan bir konudur. Mikrobiyal selülozun bir tekstil yüzeyi olarak kullanımına ilişkin akademik olarak üretilmiş az sayıda çalışma bulunduğu, ayrıca ulusal ölçekte konunun az araştırıldığı görülmektedir [7-11]. İnsan cildine herhangi bir zararının olmadığını ortaya koyan çalışmalar olarak, kozmetik yüz maskesi denemeleri mevcuttur [12-14]. Ancak mikrobiyal selülozdan medikal maske üretimine ilişkin akademik bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çerçevede bu çalışma, plastiğe alternatif olabileceği potansiyeli barındırdığı düşünülen ve basitçe bir bakteri türünün atığı olarak nitelendirilebilecek "mikrobiyal selüloz"dan bir medikal yüz maskesi tasarımı ve üretimi denemesini içermektedir. Önerilen yöntem, normalde laboratuvar ortamında üretilen mikrobiyal selülozun, ev koşullarında rahatlıkla "kombu çayı" (kombucha)'ndan üretimini öngörmektedir.

2. MİKROBİYAL SELÜLOZ VE TASARIM ALANINDA KULLANIM POTANSİYELLERİ

Çağdaş dijital imalat araçları geometrik olarak karmaşık nesnelere ve yapılar üretebilir, ancak yapıların çoğu genel olarak sürdürülebilir veya enerji verimli değildir [15]. Bunun aksine canlı organizmalar, çok işlevli ve uyarlanabilir sistemler üretmek için az miktarda enerji kullanarak çok az atık üretir veya hiç atık üretmez [16]. Bu doğrultuda doğadan ilham alarak ya da onunla işbirliği içerisinde tasarım ve ürün geliştirmek, daha sürdürülebilir ve çevre dostu süreçlerin önünü açmaktadır. Ancak doğanın organik ve inorganik çok fonksiyonlu kompozitlerinin (kabuklar, mercanlar, dişler, ahşap, ipek, boynuz, kollajen ve kas lifleri) karmaşık yapılarını üretme yetenekleri, bilim dünyası tarafından bilinmesine rağmen; mimarlık, mühendislik, tasarım, tekstil gibi alanlarda uygulaması hala yeterince gelişmemiştir [16].



Şekil 1 Covid-19 pandemisi sonucu okyanuslarda görülen maske yığınları (Ctvnews.ca, 2020)

Biyopolimerler, canlı organizmaların yaşam süreçlerinde ürettikleri, doğada çözünebilir polimerik biyomoleküllerdir [17]. Biyopolimerlerin yapısal ve fonksiyonel çeşitliliği, mevcut sentetik polimerlerin yerini alma, yeni biyoimalat yöntemleri ile yeni uygulamalar, yapılar sağlama kapasitelerinin altını çizmekte ve ekolojik dengenin korunması, petrol bağımlılığı gibi konularda da önemli bir rol oynamaktadır [18]. Aynı zamanda biyopolimerlerin biyobozunur olma özellikleri de sürdürülebilir tasarım yöntemlerine alternatif olma konusunda büyük potansiyel barındırmaktadır. Güncel tasarım örnekleri incelendiğinde, farklı disiplinlerdeki öncü çalışmalarda kenevir, pamuk gibi doğal liflerin ön planda olduğu ve genellikle çevre dostu olarak nitelendirildiği görülmektedir. Ancak doğal lifler, doğada bulunan kaynaklardan üretilmelerine ve yenilenemeyen kaynaklara bağımlı olmamalarına rağmen, yetiştirilme sürecinde yüksek su tüketimi, ağır çevresel etkiler (ağır pestisit ve herbisit gibi), işleme sürecinde kullanılan kaynaklar ve bakım süreçleri düşünüldüğünde yüksek oranda çevresel zarar içermektedirler [19].

Bu noktada düşünülebilecek alternatif biyopolimerlerden biri olan selüloz, doğada en bol miktarda bulunan, biyolojik olarak parçalanabilen maddelerden biridir ve makromoleküler kimyada geniş araştırmaların konusu olmuştur [20]. Selülozun yüksek su içeriği (%99) ve mekanik özellikleri onu çeşitli boyutlarda ve şekillerde üretilen çok yönlü bir malzeme haline getirmektedir. Gıda, tarım, kozmetik, kağıt sanayisi gibi pek çok sektördeki ürünlerin içinde ya da ambalajlarında bulunan selülozun konvansiyonel yöntemlerle elde edilmesi giderek artan maliyete sebep olmaktadır. Ek olarak odundan elde edilen selüloz verimini %40-60 oranlarında olmasından dolayı araştırmacılar farklı kaynaklardan selüloz elde etmenin yollarını aramaktadır [21]. Selüloz çoğu bitkinin temel bir yapısal malzemesi olmakla birlikte, *Acetobacter*, *Sarcina Ventriculi* ve *Agrobacterium* türleri başta olmak üzere, bakteriler tarafından da üretilmektedir. Literatürde "bakteriyel nanoselüloz" (bacterial nanocellulose) ya da "mikrobiyal selüloz" (microbial cellulose) olarak da adlandırılan bakteriyel selüloz, bitki selülozundan farklı özelliklere sahiptir ve yüksek saflık, mukavemet, kalıplanabilirlik ve yüksek su tutma özelliği ile karakterize edilmektedir [22].

Literatürdeki çalışmalardan en iyi selüloz üreten bakteri türünün, 1886 yılında A.J. Brown tarafından keşfedilen "*Gluconacetobacter Xylinus*" olarak yeniden adlandırılan ve asetik asit bakterisi olarak da bilinen *Acetobacter Xylinum*

olduğu bilinmektedir [23]. Şeker ve bitkisel karbohidratların fermantasyonunun gerçekleştiği her yerde bulunan bu bakteriler, hemiselülozlar ve lignin gibi diğer bitki bileşenlerinden arınmış saf selüloz üretmekte ve yüksek mekanik özellikler sağlayan üç boyutlu bir ağ oluşturmaktadır. Geniş yüzey alanları ve hidrofilik yapıları nedeniyle, bakteriler tarafından üretilen selüloz nanofibriller çok miktarda su tutar ve bu da onları çok güçlü bir hidrojel haline getirir [22]. *G. Xylinus*, doğada çürüten meyvelerde, şeker, alkol gibi sabit kaynakları veya karbon olan yerlerde bulunabilir ve selüloz sentezlemek için çeşitli şekerleri ve diğer bileşikleri kullanabilir. Oksijenli solunum yapan bir organizma olduğundan, genellikle hava ortamı arayüzünde bulunur ve bir selüloz üretimine başladığında varlığı kolayca anlaşılabilir [24]. Farklı bakteri türleri tarafından sentezlenen çeşitli mikrobiyal selüloz formları dışında, popüler bir içecek olan "kombu çayından" (kombucha) kolayca ve etkili bir şekilde selüloz sentezlenebilir. Kombu çayı, bakteri ve maya simbiyotik kültürü (Symbiotic culture of bacteria and yeast-SCOBY) kullanılarak tatlandırılmış siyah veya yeşil çayın fermantasyonu yoluyla elde edilen hafif asidik bir içecektir. Fermantasyon süreciyle eşzamanlı olarak, çayın hava / sıvı ara yüzünde yarı saydam ve jel benzeri bir selüloz membran gelişmektedir [24]. Bu selüloz zar, belirli bir kalınlığa eriştikten sonra çıkartılıp kurutulduğunda, kağıt ya da deri benzeri bir malzemeye benzemektedir ve sürdürülebilir malzemelere alternatif olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

Mikrobiyal selüloz, statik veya çalkalamalı kültür yetiştirme yöntemleriyle üretilir (Şekil 2). Çalkalamalı yetiştirmede, statik fermantasyonda üretilen mat benzeri selüloza kıyasla daha düşük derecede polimerizasyon, kristallik ve mekanik mukavemete sahip küçük mikrobiyal selüloz partikülleri üretilir [24]. Statik yetiştirme yönteminde ise selüloz, sabit bir kap içinde kültür ortamının yüzeyinde (hava sıvı arayüzünde) oluşturulmaktadır. Bu durumda, kabın şekline uygun olarak tüm kültür ortamı yüzeyinde bir selüloz membran/zar üretilmektedir. Statik yetiştirme işlemi sırasında, bakteri gövdesi içinde üretilen glikoz zincirleri, hücre zarlarında bulunan küçük gözeneklerden dışarı çıkmakta ve daha sonra, selüloz şeritleri oluşturmak için bir araya gelen mikrofibrilleri birleştirip oluşturmaktadır. Bu nanofiber şeritler daha sonra ince tabaka, zar, keçe, film vb. olarak adlandırılan oldukça gözenekli bir ağ yapısı oluşturmaktadır [19].



Şekil 2 Çalkalamalı ve statik kültür yetiştirme [22]

Mikrobiyal selülozun sentezlenmesi ve karakterize edilmesindeki gelişmelerle birlikte, malzeme, tekstil, kozmetik ve gıda ürünleri, tıbbi uygulamalar gibi çok çeşitli ticari uygulamalarda kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir. Mikrobiyal selüloz uygulamalarıyla ilgili birçok patent yayınlanmıştır ve çeşitli aktif araştırma alanları mikrobiyal selülozu daha iyi karakterize etmeye ve yeni alanlarda kullanmaya çalışmaktadır [21]. Mikrobiyal selüloz, sık gözenekli yapı, yüksek saflık, yüksek su tutma kapasitesine sahip olma, gerilme mukavemeti, termal stabilite ve biyobozunurluk gibi güçlü özelliklere sahiptir. Biyoloji, pek çok mühendislik ve tasarım disiplin işbirliğinde gerçekleşen son gelişmeler biyolojik materyal bilgisini geliştirmiş olsa da, endüstriyel ölçekte mikrobiyal selüloz üretmek; standart üretim ve dijital tekniklerle üç boyutlu (3D) bileşenleri kontrol etmek hala mümkün değildir [22]. Petrol esaslı olmayan malzemelerle fiziksel prototip oluşturmaya yönelik mevcut yaklaşımlar malzeme potansiyelleri yeterince keşfedilemediği için modelleme ve üretim kapasitesinden yoksundur [18]. Bu nedenle selülozu tasarım alanında kullanılan bir malzeme olarak tanıtmak için, hesaplamalı modelleme ile bağlantılı biyoimalat metodolojilerinin geliştirilmesi önemlidir.

3. TASARIM ALANINDA MİKROBİYAL SELÜLOZ

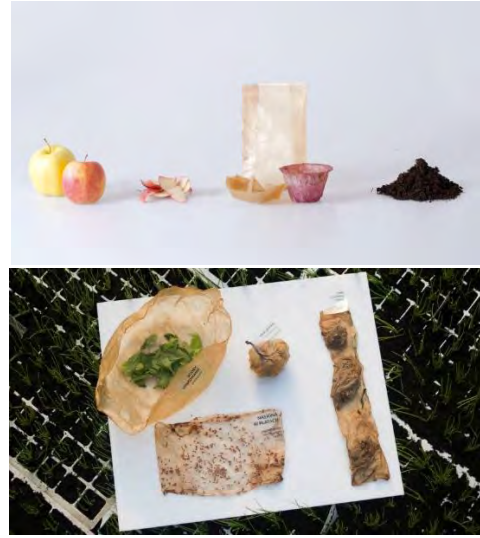
Yüksek su tutma kapasitesi ve ıslak formdayken çekme dayanımı yüksek bir malzeme olan mikrobiyal selülozun tekstil tasarımı ve obje tasarımında kullanıldığı az sayıda çalışma içinde tekstil uygulamaları öne çıkmaktadır. Malzeme genellikle kuru formda kullanılmaktadır. Kuruduktan son ince bir deri görünümünde olan mikrobiyal selülozun tasarımda kullanımının en bilindik örneklerinden olan Biocouture, 2003 yılında, Londra'da Central Saint Martins Tekstil ve Moda Tasarım Okulu'nda öğretim elemanı olan Suzanne Lee tarafından yürütülen bir projenin sonuç ürünüdür. "Sürdürülebilir bir gelecek için daha başka nasıl malzemeler yaratabiliriz?" sorusuyla yola çıkılan proje, yaşayan malzemelerin tekstil alanındaki ilk uygulamalarındandır [26]. SCOBY olarak bilinen bakteri ve maya kültürü olan mikrobiyal selüloz tabakalardan ceket, etek, ayakkabı gibi tekstil ürünleri tasarlanmaktadır (Şekil 3).

Profesyonel bir peynir üreticisi olan ve fermente gıdalar üzerinde çalışmalar yürüten Sacha Laurin'in kurucusu olduğu "Kombucha Couture" kombü çayından üretilen tabakalarla çevre dostu tekstil ürünlerini birleştiren tasarımlar gerçekleştirilmektedir. Işık-doku, şeffaf-opak arasındaki uyumu yakalayabilmek adına gıda boyaları da kullanılmıştır. "Kombucha Jewelry and Couture" adlı koleksiyon 2015 Paris Moda Haftası da dahil olmak üzere çeşitli ortamlarda sergilenmiştir (Şekil 3) [27].



Şekil 3 Suzanne Lee, Biocouture ceket [26] ve Sacha Laurin, Kombucha Jewelry and Couture [27]

Bir başka örnekte, İtalyan tasarımcı Emma Sicher, plastiğe sürdürülebilir bir alternatif sağlamak amacıyla, "From Peel to Peel" adlı projesinde, gıda atıklarıyla birlikte SCOBY'den çevre dostu gıda ambalajları üretmiştir. Sicher ayrıca, malzemeyi farklı renk ve dokularda oluşturmak adına elma, patates, pancar, üzüm posası gibi farklı meyve ve sebzelerle de deneme yapmıştır (Şekil 4). Sicher, her bölgenin kendi ambalajı için yerel organik atıklarıyla birlikte mikrobiyal selüloz filmi ürettiği küresel bir senaryo öngörmektedir [28].

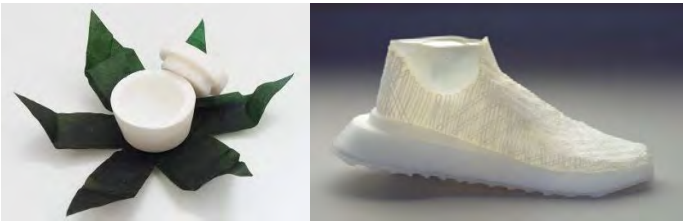


Şekil 4 SCOBY kullanılarak üretilen, doğa dostu ambalaj malzemeleri [28], [29]

Benzer bir yaklaşımla Polonyalı tasarımcı Roza Janusz, Poznań'daki School of Form'daki bitirme projesinin bir parçası olarak, ambalaj malzemelerinin gıda ürününün dayanıklılığını uzatabileceği ve devamında sürdürülebilir bir şekilde imha edilebileceği iddiasıyla yola çıkmıştır. Projesinde, çevreyi kirletmek yerine "zenginleştirmek" amacıyla plastik esaslı ambalaj malzemelerine alternatif olarak SCOBY kullanmıştır (Şekil 4). Üretilen ambalajlar tohum, kuruyemiş, bitkiler ve salatalar dahil olmak üzere, kuru ya da yarı kuru gıda malzemelerinin korunmasında kullanılmaktadır [29].

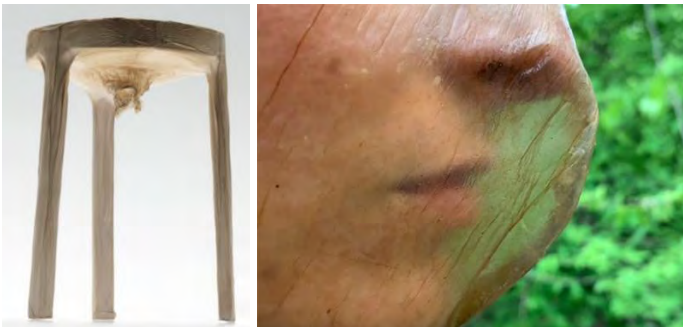
Guatemalalı tasarımcı Elena Amato, Ponto Design altında kişisel bakım ürünlerinde kullanılan plastik ambalajlara sürdürülebilir bir alternatif olarak kağıt benzeri niteliklere sahip mikrobiyalselüloz tabakaları üretmiştir. Kuru formdaki mikrobiyal selüloz tabakaları su kullanarak birbirine yapıştırılmakta, bu da ambalajı kapatırken harici bir yapıştırıcı ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Farklı renkler elde etmek için karıştırma işlemi sırasında karışıma spirulina, ebeğümeci, safran ve odun kömürü gibi doğal pigmentler eklenmiştir. Tasarım, merkezde ürün, ortada sabundan yapılmış bir kalıp ve dışta mikrobiyal selülozdan üretilen tabaka olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır (Şekil 5). Yenilenebilir kaynaklardan üretilen tasarım tamamen gübrelenebilir ve vegan olmasının yanı sıra düşük teknoloji üretim süreci ve minimum düzeyde enerji kullanımına sahiptir [30].

Tasarımcı ve araştırmacı Jen Keane, Central Saint Martins Londra Sanat Üniversitesi'nde gerçekleştirmiş olduğu yüksek lisans çalışması için yeni bir mikrobiyal dokuma tekniği kullanarak, dikişsiz tek bir parça halinde bakteriler tarafından üretilen selüloz tarafından sabit tutulan bir sürekli iplikte büyütülen bir ayakkabı tasarlamıştır (Şekil 5). "This is Grown" olarak adlandırılan projede Kombu çayı yapımında kullanılan bakteri türlerinden biri olan *Komagataeibacter rhaeticus*'un büyüme süreci manipüle edilerek mikrobiyal selülozun doğal özelliklerini optimize etmek ve güçlü, hafif ve potansiyel olarak nano ölçeğe göre özelleştirilebilen yeni bir hibrit malzeme kategorisi oluşturmak için bakteri ve maya gibi mikroplarla çalışan yeni bir "mikrobiyal dokuma" biçimi geliştirilmiştir. Geleneksel dokuma bağlamında bakıldığında çözüğünün tasarımcı tarafından örüldüğü, atkının ise bakteriler tarafından büyütüldüğü projede, bakterilerin nano ölçekli canlılar olmasından dolayı, geleneksel dokuma tezgahında karşılaşılan yön kısıtlamalarına rastlanılmamaktadır. Bu durum da tasarımcının malzeme özellikleri üzerinden daha fazla kontrol ve mekanik tezgahlarla mümkün olmayan desenler oluşturma fırsatı sağlamaktadır. Ek olarak iplik sadece gerektiğinde kullanılacağından toplam iplik miktarının azalmakta ve mikroplastik israfı azaltılmaktadır [31].



Şekil 5 SCOBY kullanılarak üretilen ambalaj [30] ve mikrobiyal dokuma yöntemiyle üretilen ayakkabı [31]

Berlinli tasarımcı Jannis Hülsen'in Xylinum projesi, "gelecekteki malzemeler ve bu malzemelerin üretim süreçleri nasıl olabilir?" sorusuyla yola çıkmış bir projedir. Proje adını sıvı kültürün bulunduğu bir tanka batırılan taburenin yüzeyinde, bakterinin şekeri tüketmesiyle oluşan selüloz yapıdan almaktadır. İşlem bir beslenme sıvısı içinde gerçekleştiğinden, yaş formdaki malzeme daha sonra kurutulabilmekte, bu da dayanıklı ve %100 biyolojik olarak parçalanabilir bir malzeme elde edilmesini sağlamaktadır. Tasarımcı, Jenpolymers şirketi ile iş birliği içinde, kaplama ve oturma yüzeyini oluşturan ahşap bir tabure çerçevesi etrafında bir "deri" oluşturmak üzere bir teknik geliştirmiştir (Şekil 6) [33].



Şekil 6 Xylinum chair [32] ve Xylinum maskesi [33]

Kişisel koruyucu ekipmanların Covid-19 salgını sürecinde her ülkede yeterince üretilemediğinden ve özellikle çok fazla ihtiyaç duyulan N95 tipi yüz maskelerinde kullanılan plastik elyaftan yapılmış polimer bazlı filtrenin teminindeki sıkıntıdan yola çıkan tasarım şirketi Sum Studio'dan Garrett Benisch ile Elizabeth Bridges, bu probleme doğal ve sürdürülebilir bir alternatif getirmek üzere, mikrobiyal selülozdan 'Xylinum maskesi' adını verdikleri tasarımı üretmişlerdir (Şekil 6). "Xylinum Acetobacter" adlı bakteri kullanılarak oluşan tabakaya mikroskop ile bakılınca, virüslerin geçmekte zorlanacağı küçüklükte delikleri olan sıkı bir selüloz lifi örgüsüne sahip olduğu keşfedilmiş ve bunun sağlam bir çeşit doğal maske olabileceği düşünülmüştür [33]. Prototipte bakterilerin ördüğü lif yüzeyin, insanların rahat nefes almasını engelleyebilecek kadar sıkı olacağından hareketle büyüme ortamına balmumu parçacıkları eklenmiş; bakterilerin selüloz lifleri balmumu küreciklerinin etrafına öreceği ve balmumu eridiğinde geride kalan tabakanın mikroskopik ölçekte boşluk parçalarına sahip olacağı öngörülmüştür. Böylece teoride hem Koronavirüsü geçirmemekte hem de kullanıcının nefes almasını sağlamaktadır. Xylinum biyomaske konsepti henüz laboratuvar ortamında test edilmemiş; prototip maske, biyotasarımın yeniliklerle dolu olduğunu vurgulayan bir proje olarak kalmıştır. Benisch ve Bridges henüz test edilmemiş olsa da maskenin filtre özelliğinin N95 solunum maskesine denk olmasını beklediklerini söylemektedir.

4. KOMBU ÇAYI İLE MASKE ÜRETİMİ

Bu çalışma kapsamında, mikrobiyal selülozun tasarım alanına entegre edilebilmesi konusunda, özellikle içinde bulunduğumuz pandemi döneminde karşımıza çıkan bir problem olarak maske atıklarının çevreye verdiği zararı azaltmak adına evsel atık malzemelerin kullanılarak üretildiği bir maske denemesi yapılmıştır.

4.1 Mikrobiyal Selüloz Yetiştirme Koşulları

Laboratuvar şartlarında mikrobiyal selüloz yetiştirmedeki temel parametreler, azot kaynağı, karbon kaynağı, inkübasyon süresi, ortam sıcaklığı, pH derecesi ve ışık miktarıdır. Literatüre göre mikrobiyal selüloz oda sıcaklığı (25°C) ve karanlık ortamda optimum büyüme göstermektedir. Besi ortamı, karbon ve azot kaynağı içermelidir. Tanımlanmış ilk besin ortamı Hestrin & Schramm tarafından geliştirilen %2 glukoz içeren besin ortamıdır. Üretim ortamının optimum pH aralığı 4-7 arasında değişmekle birlikte selüloz üretimi sırasında pH'nın 3,5 ve altına düşebileceği bilinmektedir. İnkübasyon süresi arttıkça BS kalınlığı ve miktarı artmakta, ancak belirli bir süre sonrasında canlı hücre sayısında artış olsa dahi selüloz üretimi anlamlı bir şekilde artmamaktadır [34, 35]. Bunun temel nedeni BS sentezinin oksijen bakımından zengin sıvı/hava ara yüzeyinde gerçekleşiyor olması ve kalınlık arttıkça aşağı doğru oksijen difüzyonunun azalmasından kaynaklı üretimin yavaşlamasıdır.

Mikrobiyal selüloz üretimi için, laboratuvar koşulları dışında da mümkün olan alternatif bir yol sunan Kombucha Kültürünün yetiştirme koşulları da buna benzerdir. Besi ortamında farklı olarak kombu anası olarak adlandırılan bakteri-maya kültürünün yanı

sıra, azot kaynağı yerine siyah ya da yeşil çay ile, kontaminasyon riskini azaltmak ve pH'ı dengelemek için sirke kullanılmaktadır. Laboratuvar koşulları dışında gerçekleştirilen bu çalışmada da mikrobiyal selüloz üretimi için Kombu çayı kültürü kullanılmıştır.

Literatürde yapılmış çalışmalarda, kullanılan çay ve sirke türlerinin kombu kültürünün selüloz büyümesine olan etkileri incelenmiştir. Bissember ve diğ. (2018) çalışmalarında beyaz sirke kullanılan deney ortamlarında selüloz tabaka büyümesinin elma sirkesinden daha yavaş olduğunu gözlemlemiştir [37]. Aynı çalışma kapsamında, yeşil çay kullanılarak üretilen mikrobiyal selüloz tabakaların, siyah çaydan üretilen tabakalara göre daha ince olduğu gözlemlenmiştir. North Florida Üniversitesi'nde yapılmış bir çalışmada şeker miktarının dayanıklılığa etkisi araştırılmış ve bu kapsamda yapılan deneylerde, yüksek şeker konsantrasyonu olan mikrobiyal selüloz tabakaların daha dayanıklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [37].

Besi ortamı kurulduktan sonra, kimyasal süreç sonunda besi ortamının üzerinde selüloz yüzey birikimi başlamaktadır. Yaklaşık 4 hafta süren bu süreç sonunda yüzeyde oluşmaya başlayan tabaka 1-2cm'e kadar çıkabilmektedir. Sonrasında hasat edilen malzemeye uygulanan birtakım işlemlerden sonra istenilen alanda kullanılmaktadır. Hasat edildikten sonra selüloz tabaka genellikle sodyum hidroksit (NaOH) ile saflaştırılmaktadır [38]. Sodyum hidroksit ile saflaştırmanın yanı sıra sabunlu suyla yıkamak gibi alternatif sterilizasyon yöntemleri de kullanılmaktadır.

Hidrojel formundayken krem rengi rengine ve neredeyse opak bir yapıya sahip olan mikrobiyal selüloz tabaka, kurutulduktan sonra kahverengi ve yarı saydam bir yapıya sahip olmaktadır. Mikrobiyal selüloz tabakaların estetik niteliklerini artırmak adına kültür ortamına birtakım boyaların eklendiği çalışmalar da bulunmaktadır [38]. Sentetik boyalara ek olarak, daha sürdürülebilir ve çevreci bir yaklaşımla, hibiskus, matcha tozu, iris çiçeği, pancar gibi birtakım doğal boyama maddeleri de kullanılabilir. Ancak Bissember ve diğ. (2018)'e göre

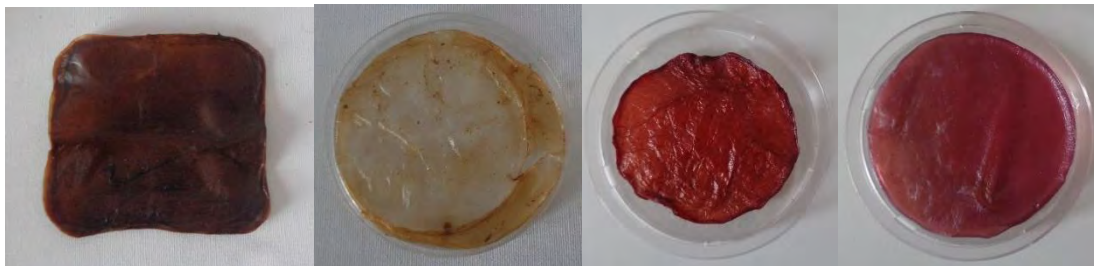
sentetik boyalar doğal boyalara göre daha iyi bir sonuç vermektedir. Ek olarak malzemeye ışımaya özelliği kazandırmak adına floresan boya ile de deneme yapılmıştır [38]. Mikrobiyal selüloz kuru formdayken esnekliğini kaybetmekte ve oldukça kırılabilir bir yapı haline gelmektedir. Malzemeye esneklik kazandırmak adına, kurutma işlemi sonrasında balmumu ya da zeytinyağı, Hindistan cevizi yağı gibi birtakım yağlarla kaplandığı çalışmalar bulunmaktadır.

4.2 Mikrobiyal Selüloz Üretimi

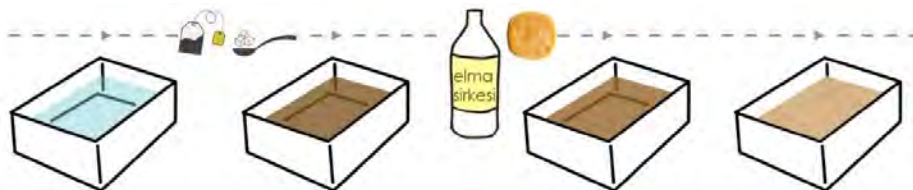
Kültür ortamında azot kaynağı olarak siyah çay, yeşil çay, pancar suyu, mavi sarmaşık bitkisi; glikoz kaynağı olarak ise granül şeker ve meyve atıklarını içeren farklı deney ortamları oluşturulmuştur. Üretim sürecindeki büyüme ortamı denemelerinde evsel gıda atıkları kullanım potansiyeli taşımakla birlikte, sonuç ürünün verimliliği için bu alanda daha fazla deneme yapmaya ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda deneylere en iyi verimin alındığı siyah çay ve granül şeker ile devam edilmiştir (Şekil 7).

Bu doğrultuda deney ortamında kombu çayından mikrobiyal selüloz üretimi için kullanılan malzemeler ve miktarları şu şekildedir:

- 1 adet kombu çayı (kombucha) kültürü
- 200 ml organik elma sirkesi
- 200 gr çözünebilir şeker (glikoz kaynağı)
- 2 poşet siyah çay (azot kaynağı)
- 2 litre steril su
- Deney ortamı için 40 cm çaplı dairesel bir kap
- Işık geçirmeyen, hava geçirebilen örtü
- Sterilizasyon için izo propil alkol ve eldiven
- Hasat sonrası boyama işlemleri için matcha tozu, hibiskus, kırmızı pancar, mavi sarmaşık bitkisi, spirulina
- Hasat sonrası esneklik kazandırma işlemleri için Hindistan cevizi yağı



Şekil 7 Farklı azot kaynağı denemeleri (sırasıyla siyah çay, yeşil çay, pancar suyu, mavi sarmaşık bitkisi)



Şekil 8 Kültür ortamının hazırlanması ve mikrobiyal selüloz oluşum süreci

Deney aşamasında ilk olarak 2 litre su kaynadıktan sonra siyah çay (2 poşet) suya eklenmiş ve 15 dakika ortamda bekletildikten sonra çıkarılmıştır. Sonrasında toz şeker (200 gr) eklenmiş ve ortamda tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Bu karışım sterilize edilen kaba aktarılmıştır ve oda sıcaklığına ulaşınca kadar soğutulmuştur. Karışım 30°C'ye geldiğinde hem fermantasyon sürecini hızlandırmak hem de ortamın kontaminasyon riskini azaltmak için 200 ml elma sirkesi eklenmiştir. Son olarak kombü kültürü kaba eklenmiş ve fermantasyonun başlayabilmesi adına

ortam nefes alabilen bir örtü ile kapatılmış, 25°C'de karanlık ortamda beklemeye bırakılmıştır (Şekil 8).

7. günden itibaren deney ortamında mikrobiyal selüloz tabakası oluşumu gözlemlenmeye başlamıştır. 4 haftalık süreç sonunda 4mm kalınlığa ulaşan mikrobiyal selüloz tabaka deney ortamından çıkarılmış; selüloz üretiminin durdurulması ve diğer maddelerden tabakayı arındırmak adına sabunlu suyla yıkanmıştır. Mikrobiyal selüloz tabaka hasat edildikten sonra kurutma ve maske tasarımı sürecine geçilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9 Mikrobiyal selüloz deney ortamı, hasat ve kurutma süreçleri

4.3 Maske Tasarımı ve Sonuç Ürüne Yönelik Denemeler

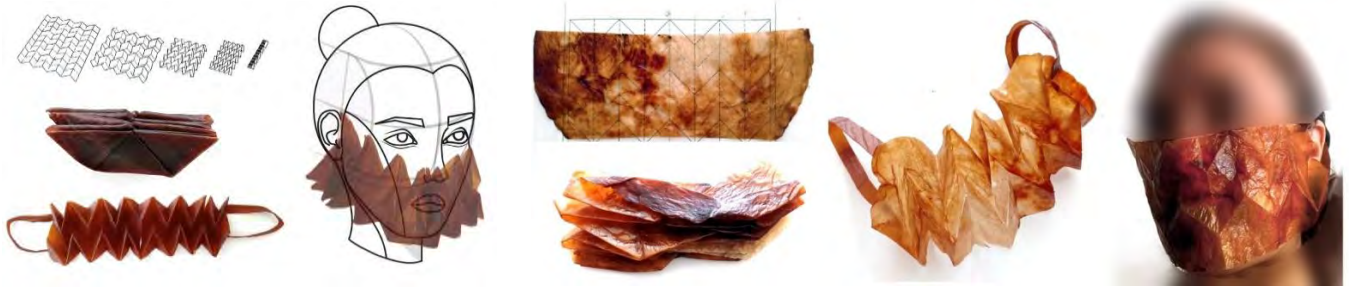
12 günlük kurutma işlemi sonunda maske denemeleri yapılmıştır. Maskelerden ilki basit bir dikdörtgen yüzey olarak düşünülmüştür. Kurutma sürecinde iki farklı yaklaşım izlenmiş olup bunlardan ilki düz bir yüzeye selüloz tabakanın gerilerek kurutulmasıdır. Kullanılan diğer yöntem ise yüz kalıbının çıkarılmış olduğu alüminyum folyo üzerine ıslak formdaki selüloz tabakanın yerleştirilmesiyle gerçekleştirilen havada kurutma yöntemidir. Ancak iki yöntem arasında gözle görülür bir fark tespit edilmemiş, her iki sonuç ürünün de benzer esneklik taşıdığı gözlenmiştir.

Kurutma aşamasından önce tabaka, önceden belirlenen yüz maskesi boyutlarına uygun dikdörtgen formda kesilmiş ve havada kurutma tekniğiyle kurutulmuştur. Literatürde görülen çalışmalarda mikrobiyal selülozun yüksek su içerdiği zaman farklı parçaların üst üste konularak kurutulduğunda dikme ya da yapıştırma gibi başka bir işlem gerektirmediği, malzemelerin kuruma sürecinde birbirlerine sağlam bir şekilde yapıştıkları bilindiğinden, sonraki süreçlerde kulağa asmak için iki adet şerit eklenerek o şekilde kuruması sağlanmıştır (Şekil 10).

İkinci deneme kapsamında ise, insan yüzünün şeklini daha kolay alabilmesi, katlanıp küçülme potansiyeli ve estetik görünümünü zenginleştirmek için, origami katlama ile bir maske tasarımı öngörülmüştür (Şekil 10). Kağıt ya da deri benzeri bir yüzey olan mikrobiyal selüloz sonuç ürünü için origami, potansiyel bir şekil verme aracı olup pek çok farklı katlamayı uygulamak mümkündür. Bu maske denemesinde düz bir malzemeyi tek hamlede katlayıp tek hamlede açma imkânı veren bir origami tekniği olan Miura-Ori katlaması kullanılmıştır Şekil 11. Bu geometrik modüler katlama sayesinde, maskenin kapandığında oldukça az yer kaplayan küçük ve iki boyutlu bir ürün iken, açıldığında insan yüzünü örtmesi mümkün olmaktadır. Öte yandan katlama tekniğinin dönebilme potansiyeli sayesinde, maskenin insan yüzünün ergonomisine uyumlanması daha kolaydır. İnsan yüzüne uyumlu bir yüzey elde etmek için yaklaşık olarak 15x30 cm boyutlarında bir tabaka yeterli olmaktadır. Maskenin kulağa asma şeritlerinin bu yöntemde de kurutma esnasında ya da sonrasında dikme, yapıştırma gibi tekniklerle eklenmesi mümkündür.



Şekil 10 15-27 Ocak 2021 tarihleri arasında gerçekleştirilen kurutma işlemi süreci ve maske



Şekil 11 Origamik katlamayla elde edilen maske denemeleri

Yapılan farklı denemelerde, inkübasyon süresi arttıkça, kalınlığın da arttığı gözlemlenmiştir. Öte yandan kalınlık arttıkça, kurutulmuş malzemenin opaklığı da artmaktadır. Mevcutta kullanılan maskelerin kapalı, kişinin ağız ve mimiklerini tam olarak göstermeyen yapısına alternatif olarak yarı saydam oluşu, görsel açıdan tercihe bağlı olarak avantaj sağlayabilmektedir. Bu çerçevede inkübasyon süresi değiştirilerek, daha saydam ya da daha opak maskeler elde etmek mümkündür. Öte yandan yapılan denemelerde, maske kalınlığı arttıkça dayanım arttığından, ince maskelerde yırtılmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle daha uzun inkübasyon süresi ile (yaklaşık 28 gün), 1 cm. kalınlığında üretilmiş mikrobiyal selüloz, maske üretimi için daha uygun olduğu görülmektedir.

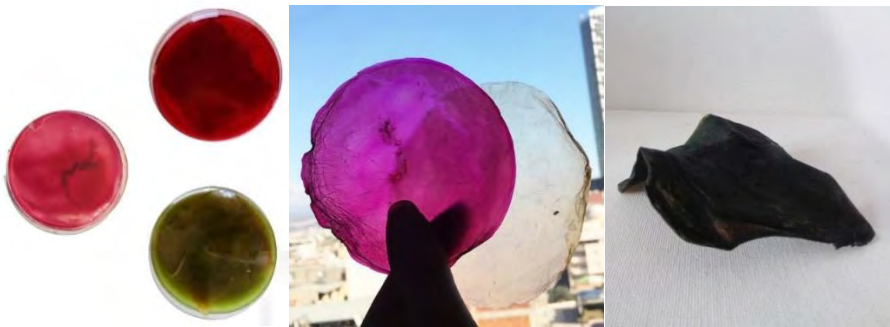
Bunun dışında, maske için esneklik ve renklendirme denemeleri gerçekleştirilmiştir. Selüloz tamamen kurduğunda kısmen esnekliğini kaybetmekte, zaman ilerledikçe daha kırılğan hale gelebilmektedir. Esneklik sağlamak adına hasat işlemi yapıldıktan sonra hindistan cevizi yağı ile yüzeyler silinmiştir. Esneklik konusunda Hindistan cevizi yağı bir numunede kuruma aşamasındayken uygulanmış, başka bir numunede ise kuruma işlemi tamamen bittikten sonra uygulanmıştır. Ancak iki yöntem arasında gözle görülür bir fark tespit edilmemiştir.

Deney sürecinde, doğal yollarla selülozun boyanması ile ilgili çalışmalar da yapılmış ve bu kapsamda matcha tozu, hibiskus, spirulina, mavi sarmaşık bitkisi ve kırmızı pancar kullanılmıştır. İlk ekimden yaklaşık 2 hafta sonra petri kaplarındaki numunelerden birine pancar suyu deney ortamına eklenmiş ve mikrobiyal selülozun verdiği tepki izlenmiştir. Süreç sonunda deney ortamında herhangi bir kontaminasyona rastlanmamıştır

ve mikrobiyal selüloz büyümesinin de devam ettiği gözlemlenmiştir. Diğer malzemelerle boyama yapmak için eşdeğer parçalar halinde kesilmiş kuru formdaki selüloz tabakalar, hibiskus, spirulina, mavi sarmaşık bitkisi ve matcha çayının bulunduğu petri kaplarına aktarılmıştır. Deney sonunda hibiskusla boyama başarılı olarak kabul edilirken, matcha çayı ve spirulina ile yapılan denemede istenilen sonuç elde edilememiştir (Şekil 12). Maske tasarımında işlevsellik ve ergonomiyle birlikte estetik kavramı da ön plandadır. Bu noktada geliştirilen ürünün laboratuvar ortamında test edilip kullanıma uygun hale getirilme sürecinden sonra doğal yollarla elde edilen farklı renk seçeneklerinin kullanıcıya sunulmasının da geliştirilen tasarımın olumlu yönlerinden biri olduğu düşünülmektedir.

Konvansiyonel maske kullanan insanların yaşamış olduğu problemlerden bir diğeri ise sivilce gibi cilt sorunlarıdır. Bu noktada mikrobiyal selüloz maske kekik, çay ağacı gibi antibakteriyel yağlarla kürlenerek cilt için faydalı hale getirilmesi de olasıdır.

Maskenin plastik esaslı ya da katkılı malzemelere alternatif olabilecek en güçlü yönü doğada çözünebilir yani biyobozunur olmasıdır. Bu çerçevede bir deneme yapılarak, üretilen selülozlar küçük parçalara ayrılmış ve toprağa bırakılmıştır. Yaklaşık 2 aylık bir süreç içerisinde büyük oranda çözülerek toprağa karıştıkları gözlemlenmiştir (Şekil 13). Literatürde kombu çayından üretilen selüloz tabakaların kuru formda en fazla 6 ay kalabildiği ifade edilmektedir [27]. Bu doğrultuda ulaşılan sonuç literatürdeki çalışmalarla uyumludur.



Şekil 12 Doğal malzemelerle (matcha, hibiskus, pancar, spirulina) mikrobiyal selüloz boyama denemesi



Şekil 13 14 Şubat-14 Nisan 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilen toprakta çözünme süreci

Özetle bu çalışma kapsamındaki maske denemesinin, kağıda benzer yapısı, kolay şekil alabilme kapasitesi, sıkı dokusu ile, mevcutta kullanılan maskelerle kıyaslandığında malzemenin fiziksel özellikleri ve işlevi açısından temel bir eksiklik barındırmadığını söylemek mümkündür. Bununla birlikte üretim kolaylığı, düşük maliyeti, herkes tarafından kolaylıkla yapılabilir olması, biyobozunur nitelikte olduğu için çevresel zarar taşımaması kullan-at maskelere göre avantajlı yanları olarak belirlenmiştir. Önerilen yöntem, normalde laboratuvar ortamında üretilen mikrobiyal selüloz, ev koşullarında da üretilmesini öngördüğünden, hem gelecekte bu sürecin toplumsal anlamda yaygınlaşabilmesi, hem de evsel atıkların geri dönüşümü için potansiyel taşımaktadır. Sonuç ürün, kozmetik anlamda üretilen pek çok yüz maskesinde de ortaya konduğu gibi, cilde zararlı herhangi bir bileşen taşımamakla birlikte, tıbbi anlamda kullanımı için daha kapsamlı analiz ve testlere ihtiyaç duyulmaktadır. Öte yandan sıkı gözenekli yapısı nedeniyle konvansiyonel maskelere göre nefes almanın kısmen zor olduğu görüldüğünden; gözenekli yapısının artırılması için nefes almayı kolaylaştıran ancak zararlı maddelerin geçişini engelleyen yöntemlerin geliştirilmesi önemlidir. Sonraki çalışmalarda, farklı çay ve sirke türlerinin denenmesi, çeşitli evsel atıkların büyüme ortamı olarak kullanımı ve bunların mikrobiyal selüloz büyümesine olan etkilerini araştırmak; farklı doğal ve sentetik boya ile renklendirme denemeleri yapmak da ayrıca gereklidir.

5. SONUÇ

İlk plastiğin üretimi bilardo adına bütün bir canlı türünü yok olmaktan kurtarmış olsa da yaklaşık 150 yıl sonra, petrol plastiği ve fosil yakıt bağımlılığı nedeniyle, insanlık da dahil olmak üzere daha birçok tür risk altında kalmaya başlamıştır. Covid-19 pandemisi sırasında insanlığın, gözle görülemeyecek kadar küçük bir doğal varlık tarafından durdurulduğu düşünülürse, gelecekte doğaya karşı değil doğa ile ilerlemeye zorunlu olduğumuz görülmektedir. Güncel tasarım yaklaşımlarında gün geçtikçe önemli bir yer almaya başlayan biyotasarım da doğayla daha uyumlu ve onunla işbirliği içine söz konusu biyoüretim süreçlerini keşfetmenin yollarını aramaktadır. Bu çalışma temelde, günlük hayatta sıklıkla kullanılan plastik esaslı malzemelere alternatif olabilmesi adına, doğada bulunan bakteriler tarafından üretilen mikrobiyal selüloz tabakaların

kullanımı ve tasarım alanına entegrasyon potansiyellerini tartışmayı, malzemenin yenilikçi yönüne dair farkındalık yaratmayı hedeflemektedir.

Mikrobiyal selülozün standart üretim süreci, neredeyse hiç atık, enerji kaybı veya karbon emisyonu içermemekte; önemli bir kaynak tüketmemektedir. Biyolojik olarak parçalanabilir bir madde olmasının yanı sıra, yüksek yoğunluğu nedeniyle doğada bulunan selülozdan daha yüksek bir mukavemet göstermektedir. Kombucha kültürü ile üretim ise, kültür ortamı yerel kaynaklardan veya atıklardan sağlanabildiğinden ve laboratuvar koşulları dışında da üretilbildiğinden kolaylık sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında medikal maske özelinde konvansiyonel plastik esaslı araç-gereçlerin yerini alma potansiyeli de ortaya konmuştur. Özetle mikrobiyal selüloz üretiminin kolaylığı göz önüne alınırsa, bu ve benzeri biyomalzemeler kullanmak, bunları tasarım ve ilişkili endüstrilere dahil etmek, sürdürülebilir üretim yöntemleri için önemli vaatler içermektedir.

KAYNAKLAR

1. Kayan, A. ve Küçük, A. (2020). Plastik Kirliliğin Çevresel Zararları ve Çözüm Önerileri, *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22/2, pp. 403-427
2. Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Seigler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. ve Law, K.L. (2015). Pastic waste inputs from land into the ocean, *Marine Pollution Bulletin*, 347(6223), 768-770.
3. Boyacıoğlu, C. (2019). Yedinci kıtada Antroposen'i bulmak. *Mimarlık*, 410. 29-32.
4. Jones, A. M. *More than 1.56 billion face masks could end up polluting oceans: report.* <https://www.ctvnews.ca/sci-tech/more-than-1-56-billion-face-masks-could-end-up-polluting-oceans-report-1.5221239>, Web adresinden 5 Haziran 2020 tarihinde erişildi.
5. Sharma, M. *COVID-19 hazard: 1.56 bn masks polluted oceans in 2020, claims study.* <https://www.businessstoday.in/coronavirus/story/covid-19-hazard-156-bn-masks-pollute-oceans-in-2020-claims-study-283044-2020-12-30>, Web adresinden 29 Kasım 2020 tarihinde erişildi.
6. Niyazbekova, Z.; Nagmetova, G. ve A. Kurmanbayev, A. (2018). An Overview Of Bacterial Cellulose Applications, *Eurasian Journal of Applied Biotechnology*, 2, <https://biotechlink.org/index.php/journal/article/view/84>, Web adresinden 10 Mart 2022 tarihinde erişildi.
7. Kılınc, M. (2021). *Bakteriyel Selüloz Eldesi ve Bakteriyel Selüloz Kaplanmış Kumaşların Tekstil Endüstrisinde Kullanım Alanlarının Araştırılması*, Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği ABD.
8. Öneş, A. (2019). *Tekstil Tasarımında Kullanılan Biyomateryaller ve Bir Biyo-Tasarım Uygulaması: Kombucha Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Tasarımı ABD.
9. Chan, C.K.; Shin, J.; Jiang, S.X.K. (2017). Development of tailor-shaped bacterial cellulose textile cultivation techniques for zero-waste design. *Cloth Text Res Journal*, 36, 33-44.
10. Costa, A.F.S.; Rocha, M.A.V.; Sarubbo, L.A. (2017) Bacterial cellulose: an ecofriendly biotextile. *International Journal of Textile Fashion Technology*, 7, 11-26.
11. da Silva, C.J.G., de Medeiros, A.D.M., de Amorim, J.D.P. et al. (2021). Bacterial cellulose biotextiles for the future of sustainable fashion: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 2967-2980.
12. Bilgi, E.; Homan Gökçe, E.; Bayır, E.; Şendemir, A.; Özgen Özer, K.; Hames Tuna, E.E. (2021). Bacterial Cellulose Based Facial

- Mask With Antioxidant Property and High Moisturizing Capacity, *Cellulose* 28, 10399–10414 (2021).
13. Ludwicka, K.; Jedrzejczak-Krzepkowska, M.; Kubiak, K.; Kolodziejczyk, M.; Pankiewicz, T.; Bielecki, S. (2016). Medical and Cosmetic Applications of Bacterial NanoCellulose, *Bacterial Nanocellulose* (edt: M.Gama, F.Dourado, S. Bielecki) içinde, Elsevier, 145-165.
 14. Amnuait, T.; Chusuit, T.; Raknam, P.; Boonme, P. (2011). Effects of a cellulose mask synthesized by a bacterium on facial skin characteristics and user satisfaction, *Med Devices*, 4, 77–81.
 15. Oxman, Neri, Christine Ortiz, Fabio Gramazio, and Matthias Kohler. 2014. "Material Ecology." *Computer-Aided Design*. doi:10.1016/j.cad.2014.05.009.
 16. Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry*. New York: Harper Collins Publishers.
 17. *Polimer*. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Polimer>, 11 Ekim 2021 tarihinde erişildi.
 18. Çelik M. Ve Kılıç E. (2020). *Bitkisel Kaynaklı Biyopolietilenin Biyokompozit Üretiminde ve Polimer Karışımlarında Kullanımı*. *Tekstil ve Mühendis*, 27: 119, 197-215.
 19. Lee, Y. A. (2016). Case study of renewable bacteria cellulose fiber and biopolymer composites in sustainable design practices. S. S. Muthu ve M. A. Gardetti, (Ed.), *Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes: Sustainable Fibres for Fashion Industry* içinde (141-162). İsviçre: Springer.
 20. Mohite, Bhavna V. and Satish V. Patil. (2014). *A Novel Bio Material: Bacterial Cellulose and its New Era Applications* *Biotechnology and Applied Biochemistry* 61 (2): 101–110.
 21. *Fakültemiz Öğretim Üyeleri Bakteriye Selüloz Üretti*. <https://fef.hitit.edu.tr/tr/Haberler/2019/6/17/fakulitemiz-ogretim-uyeleri-bakteriyel-seluloz-uretti>. 25 Ekim 2021 tarihinde erişildi.
 22. Jonas, R. ve Farah, L. F. (1997). Production and application of microbial cellulose. *Polymer degradation and Stability* 59 (1998) 101-106.
 23. Zolotovskiy, K. (2012). *BioConstructs - Methods for Bio-Inspired and Bio-Fabricated Design*. Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture.
 24. Brown, R. M. 1985. Cellulose Microfibril Assembly and Orientation: Recent Developments. *Journal of Cell Science* 1985 (Supplement 2): 13–32. doi:10.1242/jcs.1985.Supplement_2.2.
 25. Zolotovskiy, K. (2017). *Guided Growth: Design and Computation of Biologically Active Materials*. Doktora Tezi, Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture.
 26. Suzanne lee: biocouture growing textiles (2010). *Designboom*. Web adresinden 6 Mayıs 2021 tarihinde erişildi: <https://www.designboom.com/design/suzanne-lee-biocouture-growing-textiles/>.
 27. Preston, E. (2018). *That Kombucha Looks Fabulous on You*. Web adresinden 6 Kasım 2021 tarihinde erişildi: <https://medium.com/neodotlife/kombucha-leather-9a79826d1a66>.
 28. [28] Hitti, N. (2018). Emma Sicher makes eco-friendly food packaging from fermented bacteria and yeast. *Dezeen*. Web adresinden 6 Mayıs 2021 tarihinde erişildi: <https://www.dezeen.com/2018/11/13/sustainable-food-packaging-emma-sicher-peel/>.
 29. Yalçınkaya, G. (2018). Roza Janusz grows edible food packaging. *Dezeen*. Web adresinden 5 Mayıs 2021 tarihinde erişildi: <https://www.dezeen.com/2018/05/21/roza-janusz-creates-sustainable-edible-food-packaging-design/>.
 30. Hitti, N. (2019). *Elena Amato creates sustainable cosmetics packaging from bacteria*. Web adresinden 5 Nisan 2022 tarihinde erişildi: <https://www.dezeen.com/2019/02/28/elena-amato-bacteria-packaging-design/>
 31. *Microbial weaving* (b.t.). Web adresinden 5 Nisan 2022 tarihinde erişildi: <https://modern-synthesis.com/microbial-weaving/>
 32. Etherington, R. (2012). Xylinum by Jannis Hülsen. *Dezeen*. Web adresinden 6 Mayıs 2021 tarihinde erişildi: <https://www.dezeen.com/2012/03/06/xylinum-by-jannis-hulsen/>.
 33. [33] Sum design. (b.t.). Xylinum mask [Fotoğraf]. Web adresinden 29 Kasım 2020 tarihinde erişildi: https://www.sum.design/work/xylinum-mask_
 34. Bilgi, E. (2015). Bakteriye selülozdan doğal yüz maskesi üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Biyomühendislik.
 35. Nakagaito, A., Iwamoto, S., and Yano, H., (2005). Bacterial cellulose: The ultimate nano-scalar cellulose morphology for the production of high-strength composites, *Applied Physics A*, 80(1), 93-97
 36. Bissember, A , Hindrum, S, Hornblow, M , Kilah, N , Power, J , Thickett, S and Yong, A 2018 , 'Growing and bio-fabricating SCOPY: a project developed in an extended cross-disciplinary research team', in DW Maxwell (ed.), *Proceedings of the 1st Annual Design Research Conference (ADR18)* , University of Sydney, Australia, pp. 581-595.
 37. Constantas, J. A. ve Hatle, J. D. (2020). *Kombucha Leather Durability: Sugar Concentration's Effect on Bacterial Cellulose*. Web adresinden 9 Mayıs 2021 tarihinde erişildi. <https://unfsoars.domains.unf.edu/kombucha-leather-durability-sugar-concentrations-effect-on-bacterial-cellulose/>
 38. Kim, H., Song, E. J. ve Kim, H. R. (2021). Comparative study on the physical entrapment of soy and mushroom proteins on the durability of bacterial cellulose bio-leather. *Cellulose*, 28, 3183-3200. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03705-0>