

## **BIYOTEKSTİLLERİN YENİLİKÇİ MALZEME OLARAK HAZIR GİYİM ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI**

### **USING BIOTEXTILES AS INNOVATIVE MATERIALS IN READY TO WEAR INDUSTRY**

**Ayşegül Baydemir \*\* , Nuray Er Bıyıklı \*\*\***

#### **Öz**

Tüketim ürünlerinde estetik ve işlevsellik dışında yeni arayışlara dair eğilimler her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Bu doğrultuda “sürdürülebilirlik” temellendirmeli birçok vizyon ortaya çıkarken, tasarımcılar ve şirketler moda sektöründeki giyim ürünlerinin ekolojik ve etik olması için cevaplar aramaktadır. Bu temellendirme ile biyoteknoloji araştırmacılarının, biyotasarım ve biyofabrikasyon adı verilen sistemler ile biyolojik malzemeler üzerine çalışmaları devam ederken, tekstil ve moda tasarımcıları “yeni malzeme çağı” içinde disiplinlerarası ürün tasarımları geliştirmektedir. Bu gelişmeler çerçevesinde geleceğin giysi tasarımcıları için biyo-temelli malzemelerin varlığından haberdar olmak bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışmada biyo-temelli tekstil malzemelerinin kapsamı incelenerek, hazır giyim endüstrisindeki kullanım alanları ve fonksiyonları örneklerle ele alınacaktır. Böylelikle biyotekstillerin hazır giyim tasarımına uygunluğu irdelenerek, potansiyel yükselişine dikkat çekmek ve giysi tasarımındaki kullanımının yaygınlaşmasına katkı sağlamak amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyotasarım, Biyotemelli Tekstiller, Biyomateryaller, Biyofabrikasyon, Giysi Tasarımı.

#### **Abstract**

Apart from the aesthetics and functionality required in consumer products, new expectations are becoming widespread day by day. In this direction, while many visions based on “sustainability” emerge, designers and companies seek answers to make clothing products in the fashion industry ecological and ethical. With this basis, while biotechnology researchers continue to work on systems called biodesign and biofabrication and biological materials, textile and fashion designers develop interdisciplinary products in the "new material age". In the framework of these developments, it has become a necessity for future garment designers to be aware of the availability of bio-based materials. In this study, the scope of bio-based textile materials will be examined and their usage areas and functions in the ready-to-wear industry will be discussed with examples. Thus, by examining the suitability of biotextiles to ready-to-wear design, it is aimed to draw attention to the potential rise and contribute to the widespread use of them in clothing design.

**Keywords:** Biodesign, Bio-Based Textiles, Biomaterials, Biofabrication, Fashion Design.

---

*Derleme // Başvuru tarihi: 14.03.2021 - Kabul tarihi: 11.05.2021.*

**\*\*** Araş. Gör., İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi, Moda Tasarımı Programı, baydemira@itu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4026-1910>.

**\*\*\*** Dr. Öğr. Üyesi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, nuraybiyikli@msgsu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6780-1724>.

## 1. Giriş

Giysi tasarımcıları için bir ürünün form olarak tasarlanması yanı sıra, malzeme olarak doğaya zarar vermeyen seçimlerde bulunulması tasarım niteliğini arttıran en önemli faktörlerden biri haline gelmiştir. Bu doğrultuda tasarımcıların doğada çözünebilir biyo-temelli malzemelerden ve üretim modellerinden haberdar olması önem kazanmıştır. Hızlı modanın yükselişiyle yaygınlaşan düşük maliyetli tekstil malzemeleri ve bilinçsiz üretim yöntemleriyle hazır giyim endüstrisi, küresel karbon emisyonlarının %10'unu, endüstriyel su kirliliğinin ise %20'sini oluşturarak, petrol endüstrisinden sonra dünyanın en büyük ikinci çevre kirleticisidir (Sustain Your Style, 2020)<sup>1</sup>. Bu durum Dünyanın en büyük endüstrilerinden biri olan tekstil sektörünün, hızlı tüketimi teşvik eden moda sektörünün ve tüketimi destekleyen hazır giyim sektörünün yarattığı ürün atığının çevreye verdiği zararları kaçınılmaz olarak ön plana çıkarmıştır. Küresel ısınma ve doğal kaynakların azalmasıyla birlikte oluşan sürdürülebilirlik kavramı günlük yaşamımızda kullanılan ürünlerin tüketimi konusunda farkındalığının oluşmasını tetiklemiştir. Modanın ana bileşeni olan giysinin tasarım sürecinde seçilen malzemelerin ürünün tasarımına estetik ve fonksiyonel olarak katkı sağlamasının yanı sıra, doğal kaynaklara olan etkileri de göz ardı edilmemelidir. Artık yaşamımıza katılan tüm ürünlerin "etik" ve sürdürülebilir çerçeveden değerlendirilmesi bir gereklilik olmuştur. Tüketim oranı en yüksek ürünlerden olan giysinin hammadden başlayarak, üretim süreci dahil, kullanım ömrünün sonuna kadar çevreye olan etkilerinin bir bütün olarak tasarlanması artık bir zorunluluktur. Bu bağlamda hazır giyim sektöründe "geri dönüşüm" uygulamaları bir süre popülerlik kazansa da geri dönüştürülmüş ürünlerin uzun vadede bir çözüm olmadığı yönünde görüşler giderek artmıştır. Tasarımcılar, bilim insanları, araştırmacılar ve şirketler özellikle bu nedenle petrol bazlı sentetik malzemelerin kullanımından alternatif olarak doğada çözünebilir (biodegradable), çevreye duyarlı üretim modelleri ve malzeme kullanımı arayışına yönelmişlerdir. Çalışmanın başlangıcında açıklanan ve "Malzeme Devrimi" olarak da adlandırılan bu değişim doğada çözünebilir malzemelere ilgiyi artırırken, giysi üretiminde

---

<sup>1</sup>"Modanın Çevresel Etkileri", [https://www.sustainyourstyle.org/en/whats-wrong-with-the-fashionindustry?gclid=Cj0KCQiAujb\\_BRDJARIsAKkycUIXRd1S\\_oXs6cERGyHoGPgn\\_\\_FSsa7\\_qW23LC7zvIQCa8Ft853Xm3gaAuhHEALw\\_wcB](https://www.sustainyourstyle.org/en/whats-wrong-with-the-fashionindustry?gclid=Cj0KCQiAujb_BRDJARIsAKkycUIXRd1S_oXs6cERGyHoGPgn__FSsa7_qW23LC7zvIQCa8Ft853Xm3gaAuhHEALw_wcB), Erişim tarihi: 26.12.2020.

kullanılabilir yönlerinin geliştirilmesi ise araştırmaların çeşitlenmesine ve biyotekstillerin sektördeki kullanımının yaygınlaşmasına olanak sağlamaktadır. Bu gelişmeler doğrultusunda çalışmanın içeriğini biyotasarım (biodesign), biyomateryaller, biyofabrikasyon (biofabrication), biyosentetik malzemeler ve bu alandaki son dönem araştırmalar oluştururken, tekstil ve moda tasarımcıları için “yeni malzeme çağı”nda disiplinlerarası yeniliklerin ve gelişmelerin tasarım fikirlerine öncülük eden ve gelecek öngörüsünde tasarımcıya ilham verebilecek yönleri ele alınmıştır.

Bilinmektedir ki gelişmekte olan biyotekstillerin sektörel kullanımının yaygınlığı hala yetersizdir. Bu yetersizlik göz önünde bulundurularak, tasarım açısından giysi üretiminde kullanılabilecek biyotekstillerin çeşitleri ve üretim yöntemlerini tanıtmak ve yaygınlaşmasına katkı sağlamak amacıyla çalışma konusu belirlenmiştir. Bu bağlamda, “Materyal Devrimi”nden başlamak üzere biyotasarım anlayışı, biyomateryaller, biyofabrike ve biyosentetik malzemelerin çeşitleri çalışmanın içeriğini oluşturmuştur. Böylelikle özellikle giysi tasarımında ve üretiminde kullanılan biyotekstillerin özellikleri ve fonksiyonları örneklerle ele alınarak, biyo-temelli malzemelerin tasarım geliştirme yönleriyle hazır giyim üretimine uygunluğu ve potansiyel kullanım alanlarını belirlemek amaçlanmıştır.

## **2. Materyal Devrimi**

Quinn (2012:12)'e göre, günümüz teknolojik gelişmeler ile modayı deneyimleme şeklimiz değişmekte ve yeni nesil tasarımcılar geleceğin biçimlerini, görünümünü ve malzemelerini tasarlayarak giysileri pasif görünümlerden aktif teknolojik araçlara dönüştürmektedir. Suzanne Lee'nin “BioCouture” girişimi gibi “yetiştirilebilir” giysiler, moda tasarımının dile getirilmeyen “bitmiş” giysi prensibini sorgulayarak bir giysinin tamamlanmış sayılıp sayılmayacağını sorgulayacaktır (Quinn, 2012:12-20). Smelik (2018:36)'e göre ise; yeni materyalist bir yaklaşım, ikilemleri yeniden düşünerek materyalin etkisini sorgulamalıdır. Malzeme; materyalist bir perspektiften bakıldığında, sadece pasif bir araç değil, aktif ve anlamlı bir aktör olarak düşünülmelidir (Barret vd.'den akt. Smelik, 2018:36).

2016'da, Hollandalı trend tahminçisi Lidewij Edelkoort, bir sonraki on yılda etkili olacak “Yeni Materyalizm” döneminin geldiğini belirtmiştir. Edelkoort, “Yeni Materyalizm” dönemi

içinde tasarım girişimcilerinin kendi malzemelerini üretmelerine dikkat çekerek yeni disiplinlerarası tasarım örneklerini işaret etmektedir (Edelkoort, 2016).

The Bussines of Fashion ve The McKinsey şirketinin yayınladığı 2020 raporunun “Malzeme Devrimi” (Materials Revolution) başlıklı bölümünde, moda markalarının yakın zamanda keşfedilen veya yeniden tasarlanan (re-engineered) ürünlerin yanı sıra, estetik ve işlev sunan yüksek teknolojlili malzemelerle birlikte daha sürdürülebilir malzemelere odaklandığına değinmektedir. “Moda’nın Biyolojik Devrimi” (Fashion’s Biological Revolution) başlıklı alt bölümde ise, moda ve güzellik endüstrisinde toplum ve değer zincirlerini değiştirebilecek, çevre üzerindeki baskıyı potansiyel olarak azaltabilecek biyolojik bir devrimden söz etmektedir. Raporun öngörüsüne göre bilimsel atılımlar ortaya çıktıkça, büyük markalar ve girişimciler arasında daha fazla ortaklık, daha derin araştırma ve çığır açan inovasyonların ticari açıdan artması beklenmektedir. Rapora göre, giyim şirketlerinin yüzde 45’i yenilikçi “biyo-temelli” (bio-based) malzemeleri, kaynak bulma yöneticilerinin yüzde 67’sinden fazlası ise yenilikçi sürdürülebilir malzemelerin kullanımını önemli bulmaktadır (The State of Fashion, 2019:61-65).

Bazı hükümetler sürdürülebilirlik kapsamında düzenlemelerini güncellemenin yanı sıra, araştırmaları teşvik etme ve finanse etme konusunda doğrudan rol oynamaktadır. Bu doğrultuda Avrupa Komisyonu, sürdürülebilir biyo-temelli tekstiller ve döngüsel iş modellerini desteklemek için 21 milyon € finansman sunmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2019).

Parsons School of Design bünyesinde tasarım araştırma laboratuvarı olarak kurulan Healthy Materials Lab; gerçekleştirdiği eğitim ve etkinliklerin yanı sıra sektörde kullanılan ürünlerin yapımında zehirli maddeler hakkında farkındalık, yeni nesil tasarımcı ve mimarlara kaynak yaratma amaçlı sertifikalı bir koleksiyon oluşturmuştur. Koleksiyonunda; biyofabriğe materyaller, mantar ve bakteri temelli tekstiller gibi birçok mimari ve tekstil ürünü bulunmaktadır (Healthy Materials Lab, 2020) Seçilen ürünler; Amerika, Avrupa ve Kanada gibi ülkelerde geçerli olan yanmazlık, haslık, anti bakteriyel ve leke tutmazlık gibi çeşitli kriterlere göre değerlendirilerek seçilmekte ve tasarımcılara geniş bir biyomateryal kütüphanesi sunmaktadır. Laboratuvar kapsamında kurulan Donghia Sağlıklı Malzeme Kütüphanesi’nde, öğrenciler, öğretim üyeleri ve araştırmacıları için kaynak sağlayacak malzemelerden oluşan bir arşiv oluşturmuştur. Arşivdeki ürünler; sağlık, karbon izi, dönüştürülebilirlik, su kaynaklarının

kullanımını, sosyal değer çerçevelerinde toplam 6 kategoride değerlendirilerek seçilmiştir (Donghia Healthier Materials Library, 2020).

Bu bilgiler ışığında bir ürünün yalnızca geri dönüştürülebilir ya da plastik içermemesinin günümüz sağlıklı malzemeler ve sürdürülebilirlik çerçevesinde yeterli olmadığı söylenebilir. Böylelikle “Materyal Devrimi” kapsamı içinde biyotemelli tekstil malzemelerinin biyotasarım alanının çeşitlenmesine katkı sağlamanın yanı sıra, yaygınlaşan malzeme bilinci sayesinde yeni ticari fırsatlara olanak sağlanacağından söz edilebilir.

### **3. Tekstilde Biyotasarım İnovasyonları**

Küresel pazarda geniş yer tutan tekstil endüstrisi, biyoteknoloji gibi yeni inovasyon kaynakları aramakta, tekstil ve konfeksiyon şirketleri çevre ile ilgili konulara daha fazla zaman ve yatırım ayırmaktadırlar. Biyoteknoloji ürünleri, hali hazırda var olan kaynak ve üretim yöntemlerine oranla daha az kirleticilik ve atık yarattığından dolayı hem tekstil hem de deri üreticileri için düzenleme baskıları ve teşvikleri yoğunlaşmıştır.

Bu doğrultuda tekstil, hazır giyim ve moda endüstrisindeki biyomateryallerin kapsamı ve inovasyonlarını incelemek için biyoteknolojinin temel tanımı ve biyotasarım olgusunu anlamak gereklidir. Biyoteknoloji, tekil bir teknolojik araştırma alanı değil, geniş çerçevede bir bilim ve teknoloji alanı olarak nitelendirilebilir. Canlı hücreler ve moleküller üzerine araştırmaları dahil, gıda mahsüllerinden, kanser tedavisine, insan genlerinin manüplasyonundan, yeni nesil tekstil malzemelerine kadar çeşitli uygulama alanlarını kapsayan bir teknoloji grubudur. Biyoteknoloji genel haliyle, “organizmaları veya ürünlerini ticari amaçlarla kullanmak” olarak tanımlanmaktadır (Bhat vd., 2016). Temel tanım itibarıyla biyoteknoloji; “Canlıların, özellikle hücrelerin ve bakterilerin endüstriyel süreçlerde kullanılması” anlamına gelmektedir (Biyoteknoloji, t.y)<sup>2</sup>

Biyotasarım ise, kültürlenmiş dokular ya da bitkiler gibi canlı malzemeleri kullanarak organik tasarım sorularına cevap aramaktadır. Tasarım malzemeleri canlılar veya canlı dokular olduğunda, projenin form/ fonksiyon denkleminin ya da modernlik/ ilerleme fikrinin çok ötesine

---

<sup>2</sup>“Biyoteknoloji”, <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/biotechnology>, Erişim tarihi: 5.01.2021.

geçtiğini belirten Myres (2018:7), biyotasarımın konvensiyonel sınırların ötesinde doğrudan ahlaki alanın özünü hedeflediğine değinmiştir. Böylelikle biyotasarım, tasarım ve üretim için biyolojiden ilham alan birçok yaklaşımdan farklılık göstermektedir. Biyomimikri, beşikten beşiğe (cradle to cradle) ve yeşil tasarım (green design) alanlarının aksine biyotasarım alanı, canlı organizmaları ya da ekosistemleri temel bileşenler olarak eler alır ve nihai ürünün işlevini geliştirir (Myres, 2018:7-8). Bu doğrultuda biyolojik ve biyomimetik süreçler 20. yy'daki makineleşmenin yerini alarak bir sonraki tasarım paradigması olarak karşımıza çıkabilir (Myres, 2018:17).

Biyotasarım anlayışıyla üretilen biyo-temelli tekstillerin araştırmalarına yönelik girişimlerde, araştırmacılar doğal liflerin özelliklerini geliştirmek ya da değiştirmek amacıyla büyük kimyasal işletmelerle ortak girişimler kurmuşlar, canlı organizmaları kullanan biyotekstil çalışmaları ve biyoteknolojideki keşifler yeni önermeler ortaya çıkarmaktadır. Örneğin; Genecor ve DuPont, genetik olarak modifiye edilmiş ve yeni bir sentetik elyaf üretiminde kullanılan bir çeşit polimer olan propandiyol (PDO)'ya dönüştürülebilen bir mikroorganizma patenti almış, Kanadalı şirket Nexia Biotechnologies; içinde spirodroin üretiminin genetik olarak uyarıldığı keçi sütünden elde edilen bir elyaf olan "Biosteel" isimli bir malzeme geliştirirken, DuPont araştırmacıları, rekombinant DNA tekniklerini kullanarak yeni protein bazlı polimerler üretmektedir ve dokuma örümceğinin genini ipekböceklerine entegre ederek, ipek muadili çok ince ve çok güçlü elyaf yaratmak üzere çalışmalar ortaya koymaktadırlar.

Bu gibi örneklerle doğanın yarattıklarının insan icatlarıyla birleşmesi, giysi malzemeleri ve formlar için yeni önermeler ortaya çıkarmıştır. Bakterilerle yapılan bilimsel deneylerde biyotekstiller oluşturulmuş, biyomimikri alanlarındaki araştırmalar doğayı yeni gelişmeler için kaynak olarak incelemektedir (Seymour, 2010:82). Bu gelişmelerle "biyo-temelli", "biyofabrike" (biofabricated), "biyosentetik" (biosynthetic) gibi kavramlar ve bu kavramları kapsayan "biyomateryal" (biomaterial) ürünleri tekstil, hazır giyim ve moda sektöründeki yerini almıştır.

#### 4. Biyomateryaller

Biyomateryaller öncelikle tıbbi uygulamalar için kullanılsada, günümüz sürdürülebilirlik ve yeni malzeme arayışları içinde giysi tasarımı ve tekstil sektöründe yeni tanımlar edinmektedir. Bu sebeptendir ki literatür aramalarında “biyomateryal” genellikle tıbbi bir terim olarak karşılık bulmaktadır. Tıpta biyomateryal, “biyolojik sistemlerle etkileşime girmesi amaçlanan, tıbbi bir cihazda kullanılan cansız bir materyal” olarak tanımlanmaktadır (Williams’tan akt., Ratner vd., 2004:1). Tanımdaki “tıbbi” kelimesi kaldırılırsa terim daha geniş bir uygulama yelpazesini kapsayacaktır (Ratner vd., 2004:1). Bu sebeple biyomateryal terimi kullanım alanı göz önünde bulundurulurak ve hedef yelpazesinin genişliği daraltılarak araştırılmalı ve tanımlanmalıdır.

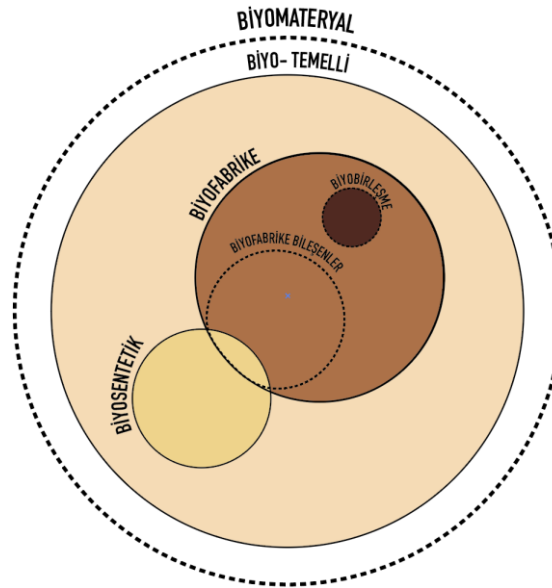
Hollanda’yı Avrupa (CEN ve CENELEC) ve uluslararası (ISO ve IEC) standardizasyon faaliyetlerinde resmi üye olarak temsil eden ve Hollanda standartları kuruluşu olan NEN çatısı altında oluşturulan programlardan “Bio Based”; biyo-temelli içerikler sertifikası veren bir programdır. NEN’e göre biyo-temelli ürünler, tamamen ya da kısmen biyokütleden elde edilen ürünlerdir. Bu nedenle, üründe bulunan biyokütle miktarını karakterize etmek önemlidir (Bio Based Content, 2021).

Ayrıca, biyomateryallerin tanımında aşağıdaki değişkenlikler göz önünde bulundurulmalıdır;

- Tüm biyomateryaller biyo-temellidir (ancak biyo içeriği %10’dan %100’e kadar radikal bir şekilde değişebilir).
- Çoğu biyosentetik, biyofabrike ya da biyo-birleştirilmiş malzemeler biyo-temelli olarak tanımlanabilir.
- Bazı biyosentetik malzemeler biyo-temellidir ancak biyofabrike değildir.
- Bazı biyosentetik malzemeler, üretiminde canlı organizmaları kullanan biyofabrikasyon bileşenleri içerir.
- Tüm biyofabrike materyallerin üretiminde canlı organizmalar (bitkiler ya da hayvanlar yerine mikroplar) kullanılır.

- Tüm biyofabrike bileşenler, makro ölçekli bir malzeme yapısı oluşturmak için daha fazla işlemden geçirilmesi gereken yapı bloklarını üretmek için canlı organizmaları kullanır.
- Biyo-birleştirilmiş tüm malzemeler, gerçek makro malzeme yapısına doğru büyümek için canlı organizmayı kullanır (Understanding “Bio” Material Innovations, 2020).

Girişim şirketleri, markalar ve yatırımcılar için biyo-tasarım, biyofabrikasyon ve biyotekstil alanlarında danışmanlık veren BioFabricate’in raporuna göre biyomateryal; “spesifik olmayan biyolojik ilişkiye sahip materyalleri belirtmek için kullanılan bir terim”dir. Biyomateryaller; “biyo-temelli” sentetik polimerlerle birleştirilmiş meyve ya da sebze atıkları içeren, geleneksel ve hayvansal olmayan derilerden, saf bir pamuklu kumaşa ya da bir polyester pamuk karışımına kadar birçok malzemeyi içerebilir (Understanding “Bio” Material Innovations, 2020). Raporda sunulan grafikte biyomateryaller, “biyofabrike” ve “biyosentetik” olarak iki sınıfa ayrılmaktadır (Görsel 1). Resmi olarak biyo-temelli olarak adlandırılacak nihai bir ürün, en az %20 yenilenebilir karbon içermelidir. Bu yenilenebilir karbon içeriği, bitkilerden veya özel olarak yetiştirilmiş enerji mahsulleri gibi organik maddelerden elde edilmektedir (Fulgar, t.y.).



Görsel 1. Biyomateryallerin Kapsamı (Understanding “Bio” Material Innovations, 2020).



Bu çalışmada, giysi tasarımında kullanılan ya da potansiyel olarak kullanılacak biyotemelli malzemeler, “Biyofabrike Tekstiller” ve “Biyosentetik Tekstiller” sınıflarında incelenmiştir.

#### **4.1 Biyofabrike Tekstiller**

Biyofabrikasyon, alglerden biyoyakıt üretimi, hayvansız et üretimi, hayvansız deri ve kürk üretimi, insan implantasyonu için doku ve organ üretimi, doku modelleme, ilaç toksisitesi ve ilaç keşif deneyleri, uzay araştırmalarında kullanılan biyosensörler ve biyosanat (bioart) gibi çok çeşitli pratik uygulamaları kapsamaktadır (Mironov vd., 2009). Özellikle biyomühendislik terminolojisinde yaygın olarak kullanılan “biyo-üretim” (biofacture) ya da “biyofabrikasyon” (biofabrication), uygulamalı tasarım disiplinlerindeki kullanımı arttıkça tasarımcılar için de anlam kazanmaya başlamıştır. Biyomateryallere gıda, malzeme bilimi ve tekstil gibi diğer endüstrilerde artan ilgi, farklı uygulama alanlarındaki terminoloji farklılıklarını oluşturmaktadır. Bir malzeme tasarımcısı için biyofabrikasyon, dijital teknolojileri de kullanarak, biyomimikri ilkeleri içinde ve doğada bulunan süreçleri ya da davranışları taklit etmektir. Biyofabrikasyon üretim çerçevesinde tasarımcı, bir çiftçi gibi, arılar, mantarlar, bakteriler, algler ya da bitkiler üzerine çalışabilir ve ürünleri yetiştirmek ve üretmek için yeni teknikler geliştirebilir (Chieza vd. 2015:2).

Biyofabrikasyon terimi ilk olarak 1994 yılında, doğal yollarla oluşan bir biyofabrikasyon biçimi olan “biyomineralizasyonu”nu tanımlamak için kullanılmıştır (Fritz vd., 1994:49) Biyofabrikasyonun gelecekte geleneksel üretim yöntemlerini ve kaynaklarını önemli ölçüde dönüştürebileceğini öngören Mironov (2009:1); biyofabrikasyon terimini “canlı hücreler, moleküller, hücre dışı matrisler ve biyomalzemeler gibi ham maddelerden oluşan, karmaşık, canlı ya da cansız biyolojik ürünlerin üretimi” olarak tanımlamıştır. Mironov (2009:10)’a göre biyofabrikasyon, hayvansız doğal deri ve kürk üretimi için fırsatlar açabilir ve doğada var olmayan daha sofistike kürkler tasarlamak ve modellemek için yeni araçların oluşturulmasını sağlayabilir.

Günümüz tekstil ve giysi tasarım alanında hızla yaygınlaşan “biyofabrike” (biofabricated) malzeme sınıfı, fermantasyon, maya ve maya mühendisliği, bakteri, mantar, alg,

kültür ve memeli hücreler gibi yaşayan materyaller yetiştirilen ve tasarlanan bir alan olarak tanımlanmaktadır (Healyhy Materials Lab, 2020). Bu çerçevede üretilen malzemeler, Mironov'un öngörüsünü doğrular şekilde, alternatif estetik ve fonksiyonel özellikleri içinde barındırmaktadır. Biyofabrike materyal örnekleri incelenirken, Görsel 1'de değinildiği gibi, biyofabrike bileşenler (biofabricated ingredients) ve biyo-birleştirilmiş (bioassambled) yöntemle üretilen materyaller de göz önünde bulundurulmalıdır.

"Biyofabrike bileşenler", ipek ya da kolajen gibi karmaşık proteinlerle örneklenebilecek ve hem "doğal" hem de "sentetik" polimerler için mikrobiyal olarak üretilmiş yapı bloklarını içerir. "Biyolojik olarak birleştirilmiş miselyum, bakteri ya da memeli hücreler gibi canlı mikroorganizmalar tarafından büyütülen ve makro ölçekli yapılar" olarak tanımlanan "biyo-birleştirilmiş" malzemeler arasında ise; miselyum ve mikrobiyal selülozik deriler yer almaktadır (Understanding "Bio" Material Innovations, 2020). Miselyum; kitin, selüloz ve proteinlerden doğal yollarla oluşan, polimerik bir kompozit materyaldir. Nispeten hızlı büyümesi ve yoğun işleme yöntemleri gerektirmedikinden, "miselyum deri" çevresel etki açısından geleneksel deriye oldukça uygun bir alternatif oluşturmaktadır. Giysi tasarımına uygunluğu açısından değerlendirildiğinde, miselyumun biyolojik nitelikleri sığır derisini taklit eden görsel özellikler barındırmaktadır. Nihai kompozit, sığır derisine benzer bir şekilde kesilebilir ve şekillendirilebilir, preslenebilir ya da tekstüre edilebilir, renklendirilebilir ya da tabaklanabilir. İçindeki proteinler, hayvan derilerinde kolajen yoluyla oluşan deriye çok benzer şekilde davranan bir dış "deri" oluşturur. Ek olarak, miselyumun esnek hücre duvarları, derinin işlenebilirliği ile karşılaştırılabilen esneklik ve yumuşaklık sağlar. Yüzey homojenliği, aşınma direnci ve su iticilik gibi özellikler, kullanılan mantar türüne göre değişkenlik göstermektedir. Ağırlık bakımından, aksesuar ve ev eşyası gibi ürünlerin kullanımı için hafif olarak nitelendirilmektedir ancak giysi tasarımına uygunluğu yüksektir (Material Innovation Initiative, 2020).

Bu çerçevede Bolt Threads firması tarafından bakteriyel bir koloninin oluşturduğu bir mantar türü olarak adlandırılan miselyum tasarımı ile üretilen "MYLO", biyofabrikasyon çatısı altında "biyo-birleştirilmiş" malzeme sınıfına örnek olarak gösterilebilir (Görsel 2).



Görsel 2. Bolt Threads, Mylo, Miselyum Deri.

#### 4.2. Biyosentetik Tekstiller

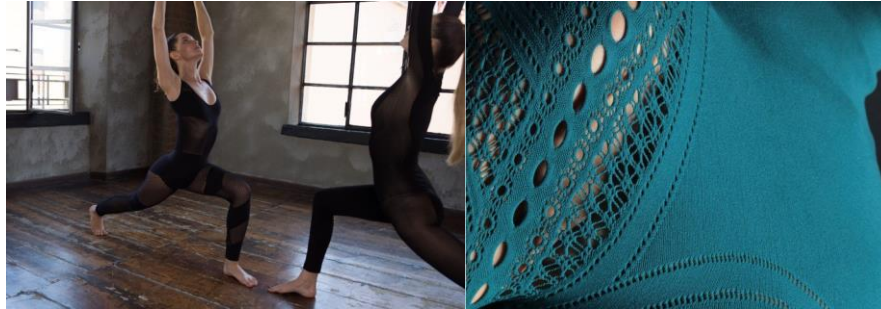
Biyosentetikler, geleneksel sentetik ürünlere potansiyel bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Geleneksel sentetik lifler ile biyosentetik lifler arasındaki temel fark, tamamen veya kısmen yenilenebilir kaynaklardan yapılan polimerlerden oluşmalarıdır. Polyester, naylon ve akrilik gibi geleneksel sentetikler petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan elde edilen ham maddeleri kullanır. Biyosentetik lifler ise %100 biyo-temelli ve kısmen biyo-temelli kaynaklardan yapılabilir (Textile Exchange, 2018a). Biyosentetik örnekleri, naylonlar, polyesterler ve poliüretanlar gibi sentetik polimerlere öncü kimyasallar yaratmak için biyokütlenin fermantasyonunu ya da katalitik dönüşümünü içermektedir. Bu sebeple bazı biyosentetik malzemeler biyo-temelli ancak biyofabriğe değildir (Understanding “Bio” Material Innovations, 2020).

Biyosentetik polimerler için kullanılan kaynaklar hem performansı artırmak hem de çevresel etkiyi azaltmak için sürekli gelişmektedir. Biyosentetik malzemeler geliştirme aşamalarına ve üretildikleri biyolojik kaynağa bağlı olarak 1., 2. ve 3. nesil biyolojik hammaddeler olarak ayrılmaktadır. Mahsul olarak elde edilen mısır, şeker kamışı, şeker pancarı ve buğday gibi 1. nesil biyopolimerler ticari olarak temin edilebilir ve daha yaygın olanlarıdır. Tarım ve ormancılık atıklarından elde edilen biyokütle kaynakları ise 2. nesil biyolojik hammaddeler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu hammaddeler geniş ölçekte ticari olarak mevcut değildir ve daha fazla teknik geliştirme gerektirmektedir. Özellikle biyolojik bir kaynak olarak yetiştirilen alg ve bakteri gibi hammaddeler 3. nesil sınıfındadır. Bu nesil konsept ve pilot aşamasındadır ve ticari olarak yaygınlığı hala yetersiz sayılmaktadır.

3. nesil biyosentetik sınıfına ait ürünler aynı zamanda “biyofabrike bileşenler”den oluşabilir (Görsel 1). Tekstil endüstrisi fosil bazlı sentetik liflerden biyo-temelli liflere geçişte, yapay örümcek ipeği gibi tamamen sentetik malzemelerle birlikte poliamidler (nyaylonlar) için biyolojik tabanlı alternatifler de geliştirilmektedir. Bu yeni alandaki biyolojik temelli alternatifler içerisinde; biyo poliaktik asit (PLA) , biyo poli trimetilen tereflatal (PTT), biyo polietilen tereflatal (PET) ve biyotemelli poliamid gibi biyopolyesterlerin yanı sıra, sentetik örümcek ipeği ve miselyumdan oluşturulan sentetik deriler sayılmaktadır (Textile Exchange, 2018b).

Biyokütle kaynağı kene otu olarak da bilinen hint yağı bitkisi “*Ricinus Communis*”den elde edilen polimerler ile üretilen “EVO”, poliamid (PA) lifi ile üretilmiş biyosentetik teksillere örnek olarak gösterilebilir. 1970’lerde kurulan İtalyan firma Fulgar tarafından geliştirilen “EVO”, hafiflik, yüksek esneklik, hızlı kuruma, bakteriyostatik, termal ve nefes alabilme gibi teknik nitelikleri sayesinde özellikle spor giyim olmak üzere tüm giyim türleri için uygun bir malzemedir (Fulgar, t.y.).

2018’de, sürdürülebilir spor giyim ürünleri üreten İtalyan marka Cifra ve Fulgar iş birliği içinde, “EVO” kullanılarak üretilen örme giysiler satışa sunulmuştur (Görsel 3).



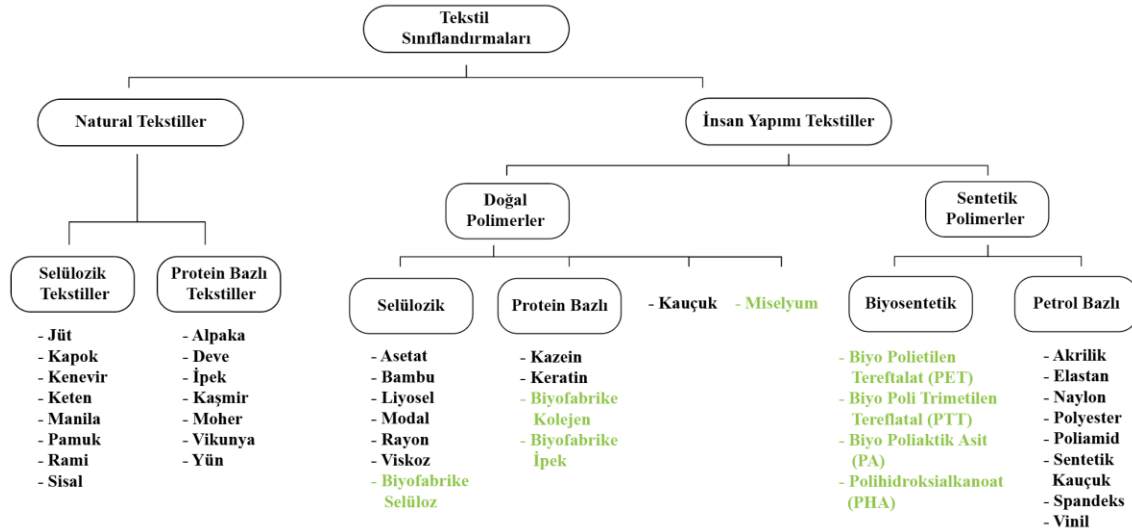
**Görsel 3.** Fulgar ve Cifra, EVO, 2018, Biyo-temelli Elyaftan Üretilen Giysiler.

Diğer biyosentetik üretici örnekleri ve elyaf arasında; AMSilk firmasından “Biosteel”, Teijin firmasından “Biofront”, Toray firmasından “Ecodear”, Tosaf firmasından “TopGreen”, Far Eastern Group’tan “Top Agro ve Bio-EG”, Virent firmasından “Bio BTX ve BioFormPX Paraxylene”, NatureWorks firmasından “Ingeo” ve Arkema firmasından “Rilsan” sayılmaktadır. Giysi tasarımına uygun nihai tekstil ürünleri üreten firmalar arasında ise; Fulgar’ın yanı sıra, Bolt Threads, Mango Materials ve DuPont örnek gösterilebilir (Council of Fashion Designers of America, t.y.).

## 5. Biyo-temelli Tekstillerin Giysi Tasarımında Kullanımı

Doğal kaynakların tüketilmesi, petrol bazlı malzemelerden kaynaklanan çevresel kirlilik gibi faktörlerle oluşan tüketim bilinci ve aynı sebeplere bağlı olarak çeşitlenen hükümet teşvikleri, biyo-temelli tekstil araştırmalarının hızlanmasına olanak sağlamıştır. Yukarıda değinilen alanlar içinde son yıllarda yaygınlaşan “biyo-temelli tekstil üretimi” girişimleri artmış, çeşitlenen malzemeler giysi tasarımcılarının radarına girerek, markalar ve tasarımcılar biyo-temelli tekstil üreten girişimciler ile çeşitli iş birliklerinde bulunmuşlardır. Böylelikle biyo-temelli tekstillerin giysi tasarımında kullanım alanları “outdoor” ve spor (activewear) giyimden, lüks moda kadar geniş bir sektör yelpazesine ulaşmıştır. Bu doğrultuda giysi tasarımcıları için tekstil sınıflandırmalarına eklenen biyo-temelli malzemelerden haberdar olmak zorunluluk olmuştur.

“Doğal Polimerler” sınıfına eklenen miselyum, biyofabrike kolajen, biyofabrike ipek ve biyofabrike selüloz gibi polimerlerin yanı sıra, geleneksel petrol bazlı sentetik polimerler sınıfına eklenen “Biyosentetik Polimerler”den üretilen tekstiller günümüz “etik” hammadde kullanımında önemli rol almaktadır (Görsel 4).



**Görsel 4.** Tekstil Sınıflandırma Tablosu (Understanding “Bio” Material Innovations, 2020).

Çalışmada incelenen giysi örneklerinde; “biyofabrikasyon” yöntemleri kullanılarak geliştirilmiş alg, bakteri, mantardan oluşan doğal polimerler ve biyosentetik olarak da

adlandırılan insan yapımı ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyolojik tabanlı sentetik polimerler kullanılarak üretilen tekstiller kullanılmıştır.

Yaygınlaşan “biyomateryal” girişimcilerinin öncü firmalarından Bolt Threads, 2009 yılında Dan Widmaier, David Breslauer ve Ethan Mirsky tarafından biyoteknolojik inovasyonu kullanan yenilikçi malzemeler oluşturmak için kurulmuştur. Biyofabrike tekstil malzemeleri alanında önemli buluşlar ortaya koyan firma, 2012’de bir çeşit örümcek ipeği lifi “Microsilk”i, 2018’de ise “Mylo”yu piyasaya sürmüştür. Tarımsal atıklar ve yan ürünler üzerinde yetiştirilen ve miselyumdan elde edilen Mylo kullanılarak, sürdürülebilir malzemelere koleksiyonlarında sıkça yer veren Stella McCartney ile iş birliği içinde, ilk prototip oluşturulmuştur (Material Innovation Initiative, 2020). Adidas, Stella McCartney, Lululemon ve Gucci’nin ana şirketi Kering, vegan derilerin ticari olarak uygun ölçekte üretilmesine izin verecek bir tedarik zinciri oluşturmak adına, “Mylo” isimli malzemeye yatırım yapmak için bir araya gelmiştir. Bu doğrultuda Mylo ile üretilen ürünler, 2021 yılından itibaren Adidas, Lululemon ve Stella McCartney gibi dünya çapında önemli markaların üretimiyle temin edilebilecektir (Mylo-Unleather, t.y.).

Bolt Threads’in giysi üretiminde kullanılabilen ve selülozik polimerlerden elde edilmiş diğer malzemesi “Microsilk”, örümcek ağı ile aynı proteinlerden eğrilmiş ve biyoloji, fermantasyon ve geleneksel tekstil üretimi kullanılarak sürdürülebilir ilkelerle üretilmiştir. Örümcek ipeğinin biyomimetik bir uyarlaması olarak, yüksek gerilme mukavemeti, elastikiyet, dayanıklılık ve yumuşaklık gibi özellikleri barındırmaktadır (Bolt Threads, t.y.).

Malzemenin bir tasarımcı tarafından ilk kullanımı, Stella McCartney iş birliği içinde, 2017’de “Gold Dress” ismiyle New York MoMA’da tanıtılmıştır. Malzemenin ticari olarak kullanımı ise, New York merkezli Best Made Co. Markası ile yapılan iş birliğidir. Microsilk ve yün elyaf karışımıyla elde edilen triko bere, “Cap of Courage” ismiyle satışa sunulmuştur. Temmuz 2019’da ise Stella McCartney ve Adidas, Mikrosilk ve selüloz karışımı elyaftan üretilen ve tamamen biyolojik olarak parçalanacak şekilde tasarlanan “Biofabric Tennis Dress”i tanıtmıştır (Görsel 5).



Görsel 5. Stella McCartney, *Gold Dress*, 2017, Best Made Co., *Cap of Courage*, 2017, Stella McCartney ve Adidas, *Biofabric Tennis Dress*, 2020.

Örümcek ipeğinin bir diğer biyomimetik uyarlaması ise Nexia Biotechnologies tarafından 1990'ların sonlarında, transgenik olarak keçi sütünde büyüyen bir proteinden elde edilen BioSteel adındaki elyaftır. Şirketin kapanmasının ardından Japonya merkezli Spiber, fibroin<sup>3</sup> üreten genin kodunu çözerek keçi sütü kullanmak yerine, biyomühendislik ürünü bakteri ve rekombinant<sup>4</sup> DNA'nın birleşmesi ile bir çeşit protein üretmiştir. "Qmonos" isimi verilen elyaf adını Japonca örümcek ağı anlamına gelen "kumonosuna"dan almıştır (Spiber,t.y.a). Geliştirilen bu proteinle Spiber, özellikle dağcılık ürünleriyle bilinen North Face markasıyla iş birliği içinde, "Moon Parka"yı 2019 yılında piyasaya sürmüştür (Hollister, 2016). Ürün, mevcut endüstriyel üretim teknolojisi dahilinde, sentetik örümcek ipeği "QMONOS" lifi ile üretilen ilk dış giyim prototipidir (Görsel 6).

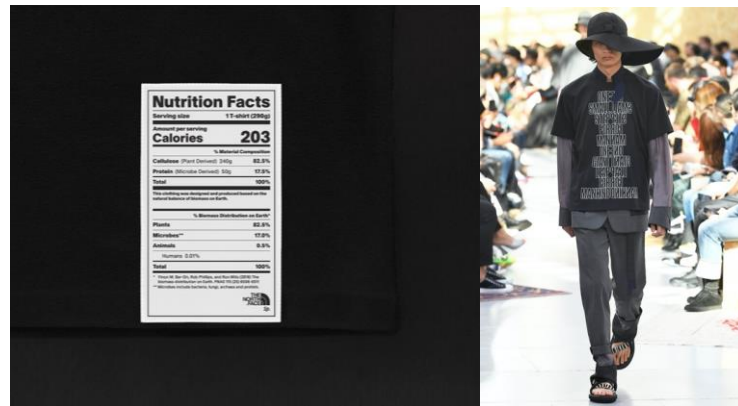


Görsel 6. Spiber ve North Face, *Moon Parka*, 2019.

<sup>3</sup>"Fibroin", İpek, örümcek ağları ve süngerlerin iskeletinin temel bileşeni olan kimyasal bir madde. <https://www.oed.com/view/Entry/69776?redirectedFrom=fibroin#eid>, Erişim tarihi: 13.01.2021.

<sup>4</sup>"Rekombinant", Çoğunlukla farklı biyolojik türlerden elde edilen DNA moleküllerinin, genetik mühendislik teknolojisiyle kesilmesi ve elde edilen farklı DNA parçalarının birleştirilmesi işlemlerini kapsayan bir teknolojidir. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Rekombinant\\_DNA](https://tr.wikipedia.org/wiki/Rekombinant_DNA), Erişim tarihi: 13.01.2021.

Spiber'in geliştirdiği bir diğer malzeme "Brewed Protein", mikrobiyal fermantasyon süreci kullanılarak oluşturulan, bitki kaynaklı biyokütleden üretilen protein temelli bir malzemedir. Malzeme, kaşmir benzeri yumuşak ya da yün benzeri termal ve nem emici özelliklere yönelik işlenebilmektedir (Spiber, t.y.b). Aynı zamanda kürk ve deri muadili kumaş üretiminde ve kaplumbağa kabuğu ya da hayvan boynuzu benzeri reçineler olarak da işlenebilmektedir. Malzemenin ilk hazır giyim uyarlaması North Face iş birliği içinde "Planetary Equilibrium Tee" ismiyle 2019 yılında satışa sunulmuştur (Görsel 7). %17,5 "Brewed Protein" ve %82,5 pamuk karışımıyla üretilen kumaşın yüzde referansı, 2018'de yayınlanan "Dünyadaki Biyokütle Dağılımı" makalesinden hareketle belirlenmiştir. Makaleye göre, Dünya'nın biyokütlesinin %82,5'ini bitkiler, %17'sini mikroplar (bakteriler, mantarlar, arkeler ve protistler) ve geri kalan %0,5'ini ise hayvanlar oluşturmaktadır (Bar-On vd. 2018). "Brewed Protein" kullanılarak oluşturulan diğer örnek, Japon moda markası Sacai'nin 2020 İlkbahar/ Yaz koleksiyonunda sunduğu "Brewed Protein T-shirt"tür. North Face'in "Planetary Equilibrium Tee" ürünü olduğu gibi, %17,5 "Brewed Protein" ve %82,5 pamuk karışımı jarse kumaştan üretilmiştir (Görsel 7).



Görsel 7. Spiber ve North Face, *Planetary Equilibrium Tee*, 2019, Spiber ve Sacai, *Brewed Protein T-shirt*, 2020.

Giysi tasarımı disiplini içinde "biyotasarımın" ilk örneklerinden 2006'da ortaya koyduğu "BioCouture" ürünleriyle de bilinen araştırmacı, moda tasarımcısı ve Biofabricate'in kurucusu Suzanne Lee'nin kreatif direktörlüğünde kurulan Modern Meadow'daki bilim insanları ve tasarımcılar, kolajen üretmek için şekerle beslenen genetiği değiştirilmiş mayaları kullanarak deri üretiminden kaynaklanan büyük atıklara cevap olarak "Zoa" isimli ürünü geliştirmiştir



(Görsel 8). New Jersey’de girişimci bir şirket olarak 2011 yılında kurulan Modern Meadow, 2018 yılında mikrobiyal fermantasyon konusunda uzmanlaşmış Alman kimya şirketi Evonik ile ticari üretime geçme yatırımıyla boyutunu genişletmiştir. Biyoteknoloji uzmanı Andras Forgacs ve Suzanne Lee tarafından kurulan ve biyomühendislik alanında çalışmalar ortaya koyan şirket, fermantasyon yoluyla kolajen üretebilen maya üretiminin yanı sıra, DNA düzeyinde hücreler ile oynayarak proteinler üretmektedir (Modern Meadow, t.y.). Ürün, hayvansal malzemelerin sınırlarından bağımsız olduğu için, deriye göre farklı şekillere, kalınlıklara ve görsel efektlerde üretilebilmektedir. Aşağıda gösterilen prototip, Paola Antonelli’nin küratörlüğünü yaptığı 2017 “Items: Is Fashion Modern?” sergisi kapsamında New York Modern Sanat Müzesi tarafından sipariş edilmiştir (Görsel 8).



**Görsel 8.** Modern Meadow, *Zoa*, Suzanne Lee, Amy Congdon, *Zoa Tee*, 2017, “Items: Is Fashion Modern?” Sergisi, The Museum of Modern Art, New York.

Deri muadili “Biyofabrike Miselyum” hammaddelerini kullanarak malzemeler geliştiren bir diğer firma Mycoworks’un kurucu ortağı, sanatçı Phil Ross, ilk olarak 1990’larda heykel yapımında miselyum maddesini kullanmış ve sanatçı ekibiyle birlikte “Fine Mycelium” ismiyle patentlenen malzemeyi geliştirmiştir. Mühendisler, biyologlar, üretim uzmanları ve malzeme bilimcileriyle birlikte disiplinlerarası çalışmalar sonucunda ise “Reishi” ismiyle bir malzeme geliştirilmiştir. “Reishi”yi oluşturan miselyum hücreleri; yoğun, iç içe geçmiş bir yapıda büyümek üzere, “ganoderma” olarak bilinen odun yiyen bir mantar türü, talaş ile beslenerek elde edilmektedir. Miselyum tek başına bırakıldığında kullanıma uygun olmayan mantarlar oluşturur ancak sıcaklığı, nemi ve diğer çevresel faktörleri kontrol edilerek lif tabakaları üretmesi

sağlanmaktadır. Böylelikle ortaya çıkan ve “Reishi” markasını taşıyan ürün, deri gibi işlenebilir ve üretilebilir hale getirilmiştir (Mycoworks, t.y.).

Deri muadili olarak kullanılabilen ve çeşitli kalınlıklarda elde edilebilen “Reishi”, giysi tasarımı ve aksesuar tasarımında ana malzeme olarak kullanıma uygundur. Bu doğrultuda dış giyim dahil, hazır giyim ürünlerinde kullanılabilir. Malzeme Brown Natural, Black Embos ve Özel Üretim (Custom) numune seçenekleriyle satışa sunulmuştur (Görsel 9).



**Görsel 9.** Mycoworks, *Reishi*.

Sürdürülebilir ve düşük çevresel etkiye sahip ürünler üreten İsveçli “outdoor” giyim markası Tierra, Fulgar iş birliğinde ürettiği koleksiyonda, Fulgar’ın geliştirdiği bir çeşit biyosentetik ürün olan “EVO”yu kullanılmıştır. “Deterra” ceket olarak adlandırılan ürün “EVO”, yün ve ahşap selülozundan elde edilen Tencel iplikleri kullanılarak üretilmiştir. Üründe kullanılan düğmeler “tagua” bitkisinden elde edilmiş, ürünün hiçbir kısmında plastik kullanılmaması adına kapüşonu kordon düğümleriyle sabitlenmektedir (Görsel 10). Tasarım 2017’de, “Ispo Award Eco Achievement Apparel 2017/18” ve “Sustainable Innovations/Outdoor Industry Award” ödüllerini kazanmıştır (Tierra, t.y.).



**Görsel 10.** Tierra, *Deterra*, 2017.

Bitkilerden elde edilen biyosentetik malzemelere örnek olarak, İtalya merkezli “Orange Fiber” firması gösterilebilir. İtalyanca “pastazzo” denilen narenciye suyu üretimi ve yan ürün atıklarından oluşturulan patentli elyaf üreten firma, İtalya’da yılda 700.000 tonu bulan narenciye atığını tekstil hammaddesi olarak kullanmaktadır. İpek benzeri selülozik bir iplik olan “Orange Fiber”, %100 içerikle kullanıldığında, ipeksi dokuya sahip, hafif ve üretim ihtiyaçlarına göre opak ya da parlak üretilmektedir. Firma, %100 “Orange Fiber” içerikli dokuma, %31 ipek karışımı dimi (twill), %73.1 pamuk karışımı poplin ve siyah ve beyaz seçenekleriyle %6 elastan karışımı jarse kumaş üretmektedir (Orange Fiber, t.y.).

2017 yılında İtalyan moda markası Salvatore Ferragamo ile gerçekleştirilen iş birliği içinde, “Orange Fiber” elyafı kullanılarak triko hırka, dokuma tunik, şal ve fular üretilmiştir. 2019 yılında ise, H&M ile yapılan iş birliği kapsamında, yalnızca geri dönüştürülmüş ve sürdürülebilir malzemeler kullanılarak hazırlanan “Conscious Exclusive 2019” koleksiyonu dahilinde “Orange Fiber” lifinden elde edilen jakarlı elbise satışa sürülmüştür (Görsel 11).



**Görsel 11.** Salvatore Ferragamo, *Triko Hırka*, 2017, H&M *Conscious Exclusive Koleskiyonundan Elbise*, 2019.

Berlin merkezli tasarım stüdyosu Blond & Bieber’ın, geliştirdiği “Algaemy”, mikroalglerin bir pigment olarak tekstil baskısındaki potansiyelini araştıran bir projedir. Blond & Bieber ve Fraunhofer Arayüz Mühendisliği ve Biyoteknoloji Enstitüsü (IGB) iş birliğinin sonucu ortaya çıkan proje, çevreye duyarlı tekstiller oluşturmak için geliştirilen mikroalg bazlı bir boya paletinden oluşmaktadır. Kimyasal bazlı tekstil boyalarının aksine “Algaemy”nin biyodinamik renkleri güneş ışığına maruz kaldığında kademeli olarak değişmektedir. Örneğin, yeşil yoğun mavi olurken, soluk pembe parlak kırmızıya ve sonunda turuncuya dönüşmektedir. Böylece her tekstil, kendi kendine büyüyen bir pigmentin potansiyelini göstermektedir (Algaemy).

Blond & Bieber ve İngiliz erkek giyim markası Vollebak ortaklığında üretilen “The Plant and Algae T-Shirt” ise, ormanlarda ve biyoreaktörlerde yetişen, “yarı tişört, yarı solucan besini” olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir şekilde yönetilen ormanlardan elde edilen hamur haline getirilen okalıptüs ve kayın ağacı ve biyoreaktörlerde yetişen yosunlardan (alg) üretilen boyar maddeler ile renklendirilen tişört, %100 olarak doğada çözünebilir bir üründür (Blond and Bieber, t.y.).



Görsel 12. Blonde & Biber ve Vollebak, *The Plant and Algae T-shirt*, 2019.

## 6. Sonuç

Popülerlik kazanan sürdürülebilirlik kavramı ve artık zorunluluk haline gelen doğa dostu yaklaşımlar tüm endüstrilerde olduğu gibi moda endüstrisinin de ana kavramıdır. Bu doğrultuda giyim şirketlerinin ve tasarımcıların “sürdürülebilir” ve “doğada çözünebilir” malzemelere olan eğilimi artmıştır. Yaygınlaşan “yenilikçi malzeme” talebine göre arz şimdilik geride kalsa da çeşitli teşvikler, girişim şirketleri, akademik araştırmalar ve disiplinlerarası iş birliklerinin sayısı giderek artmaktadır. Mevcut ürünlerin “sürdürülebilirlik” çerçevesinde yetersizliği, malzeme bilimi ve biyoteknoloji alanlarında ortaya koyulan materyallerin yeni sektörlerde kullanılmasına sebep olmuştur. Böylelikle giysi tasarımında kullanılan tekstil hammadde çeşitlerine yeni polimerler eklenmiştir. Yeni hammaddelerin yanı sıra, daha çok tıp alanında karşılaşılan “biyo-temelli”, “biyomateriyal”, “biyofabrike”, “biyosentetik” gibi terim ve kavramlar tekstil sektöründe kullanılmaya başlanmış, bu durum terimlerin yeni anlamlarıyla tekstil alanında da incelenmesini gerekli kılmıştır.

“Materyal Devrimi” olarak da adlandırılan disiplinlerarası “Yeni Materyal” araştırmaları kapsamında “biyo-temelli” tekstiller; doğada çözünebilir, etik üretim, hayvansız deri ve kürk

ürünleri gibi nitelikleriyle güncel sorulara cevap olmaktadır. “Biyomateryal” kapsamında konumlandırılan biyo-temelli tekstiller isim gereği doğal hammaddelerden üretilen tekstiller algısı yaratsa da, mikrobiyal fermantasyon, biyomühendislik ürünü bakteriler ve rekombinant gibi işlemler ile oluşturulan insan yapımı hammaddelerden oluşmaktadır. Bu gelişmelerle tekstil lif çeşitlerine, “İnsan Yapımı Tekstiller” ana başlığı altında, doğal polimerler sınıfına miselyum, biyofabrike kolajen, biyofabrike ipek ve biyofabrike selüloz isimleriyle yeni polimerler eklenmiştir. Önceleri yalnızca petrol bazlı olarak üretilen “Sentetik Polimerler” sınıfına eklenen “Biyosentetik”ler ise yeni bir grup olarak “İnsan Yapımı Tekstiller” sınıfına eklenmiştir. Tekstil, hazır giyim ve moda sektörü için biyo-temelli tekstil üretimi bağlamında kullanılan canlı organizmalar; bakteri, maya, alg, miselyum ve bazı durumlarda memeli hücreleri içermektedir. Fermantasyon yoluyla üretilen nihai tekstil ürünleri, mikroorganizma ya da canlı hücre üretimi gibi süreçler yoluyla elde edilmektedir. Bu durum “giysilerde canlı kullanımı” fikriyle çelişen bir görüş yaratıyor olsa da organizma ya da hücrenin kendisi nihai ürünün bir parçası değildir. Diğer durumlarda ise ürün hasat edilmektedir ya da büyütülerek malzemenin kendisi haline getirilir. Bu sayede biyo-temelli tekstiller, petrol temelli sentetik “vegan” tekstillere de bir alternatif yaratmaktadır.

Çalışmada incelenen örneklerde; biyofabrikasyon yöntemleri kullanılarak geliştirilmiş alg, bakteri, mantardan oluşan doğal polimerler ve biyolojik ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyosentetik tekstiller ile üretilmiş “hazır giyim ürünleri” ele alınmıştır. Deneysel giysi tasarımları ya da haute couture gibi diğer giysi tasarımı sınıflarında kullanılan malzemelere göre hazır giyim ürünlerinde kullanılan malzemeler; ergonomik, seri üretime uygun<sup>5</sup> ve ticari olmalıdır. Bu çerçevede değerlendirilen örneklerin satılabilir, günlük yaşamda kullanılabilir ve üretilebilir olduğu görülmüştür. Böylelikle güncel biyo-temelli tekstillerin hazır giyim tasarımı gereklilikleri bakımından engel teşkil etmeyen bir aşamaya geldiği görülmektedir. İncelenen örnekler tekstil üreticileri açısından ele alındığında ise Dupont, Fulgar gibi köklü şirketlerin haricinde yeni girişimlerin son on yıl içinde kurulmasından hareketle biyomateryal inovasyonlarının tekstil sektöründe genç bir alan olduğunu söylenebilir. Bolt Threads ve Spiber gibi öncü şirketler, biyomateryal üreticileri olarak ticari ve bilinirlik açısından büyüme gösterse

---

<sup>5</sup> Buradaki seri üretimden kasıt, yüksek adetlerde üretilen “hızlı moda” ürünlerinin dışında ele alınmıştır.

de, tasarımcı ve markaların bu gibi firmalarla iş birliklerinin sayısı henüz yetersizdir. Ancak çalışmada incelenen triko, örme ve dokuma gibi farklı kumaş türleri ile üretilen giysi ürünleri göz önünde bulundurulduğunda, biyomateryallerin ve biyofabrikasyon teknolojilerinin gelişerek hazır giyim endüstrisi başta olmak üzere tüm tekstil üretim alanlarında genişlediği görülmektedir.

Doğada çözünebilen atıklardan elde edilen ya da fazla su kullanımı ve yoğun üretim yöntemleri gerektirmeyen laboratuvar ortamlarında yetiştirilebilen biyomateryaller, sürdürülebilirlik bakımından giysi tasarımcılarına alternatif ürün tasarlayabilme imkanı sağlamaktadır. Çeşitli kumaş alternatifleriyle biyomateryallerin giysi tasarımına uygunluğunun avantajı kullanılarak tasarımcıların koleksiyonlarında biyo-temelli malzemelere daha fazla yer vermesi biyomateryallerin yaygınlaşmasını destekleyecektir.

**Kaynakça**

Bar-On, Y.M., Phillips, R., Milo, R. (2018). *“The Biomass Distribution on Earth”*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), Cilt 115, Sayı 25, s. 6506–6511.

Barrett, E. ve Bolt, B. (2013). *Carnal Knowledge: Towards a “New Materialism” Through The Arts*, Londra: I.B. Tauris.

Benyus, J.M. (1997). *Biomimicry*, 2009 Adobe Digital Edition, Avustralya: HarperCollins Publishers.

Bhat, P.V., Vanitha, K.P., ve Rangaswamy, B.E. (2016). *“Biotechnology in Fashion- A Review”*, International Journal of Modern Trends in Engineering and Research (IJMTER), Cilt 03, Sayı 03, s. 413-415.

Chieza, N. ve Ward, J. (2015). *“Design in the Age of Living Technology”*, Proceedings of the 2nd Biennial Research Through Design Conference, 25-27 Mart, Cambridge Birleşik Krallık.

Fritz, M., Belcher, A., Radmacher, M., Radmacher, M., Walters, D.A., Hansma, P.K., Stucky, G.D., Morse, D.E., Mann, S. (1994). *“Flat Pearls From Biofabrication of Organized Composites on Inorganic Substrates”*, Nature Research Journal, Sayı 371, s.49-51.

Hollister, J. (2016). *Moon Parka and Japan Collection Press Release*.

Material Innovation Initiative (2020), *Technology Assessment: Mycelium Leather*.

Mironov, V., Trusk, T., Kasyanov, V., Little, S., Swaja, R., Markwald, R. (2009). *“Biofabrication: 21st Century Manufacturing Paradigm”*, International Society for Biofabrication, IOP Yayınları, Cilt 1, Sayı 2, s.1-16.

Myres, W. (2018). *Bio Design*, 3. Basım, Londra: Thames & Hudson Ltd.

Quinn, B. (2012). *Fashion Futures*, 1. Basım, Londra: Merrell Publishers.

Ratner, B., Hoffman, A.S., Schoen, F. J., Lemons, J. E. (2004). *Biomaterials Science An Introduction to Materials in Medicine*, 2. Basım, Londra: Elsevier Academic Yayınları.

Smelik, A. (2018). *“New Materialism: A Theoretical Framework For Fashion In The Age of Technological Innovation”*, International Journal of Fashion Studies, Intellect Yayınları, Cilt 5, Sayı 1, s.33-54.

Textile Exchange (2018a), *Quick Guide To Biosynthetics*.

The State of Fashion (2019), Business of Fashion, McKinsey Company.  
Understanding “Bio” Material Innovations: A Primer for The Fashion Industry, (2020).  
Biofabricate, Fashion for Good.

Williams, D. F. (1987). “*Definitions in Biomaterials. Proceedings of a Consensus Conference of the European Society for Biomaterial*”, Chester, İngiltere, Mart 3–5, 1986, Sayı. 4, Elsevier Yayınları.

### **İnternet Kaynakları**

“Biyoteknoloji”, <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/biotechnology>, Erişim tarihi: 5.01.2021.

“Fibroin”, <https://www.oed.com/view/Entry/69776?redirectedFrom=fibroin#eid>, Erişim tarihi: 13.01.2021.

“Rekombinant” [https://tr.wikipedia.org/wiki/Rekombinant\\_DNA](https://tr.wikipedia.org/wiki/Rekombinant_DNA), Erişim tarihi: 13.01.2021.

Algeamy, <http://transmaterial.net/algaemy/>, Erişim tarihi: 23.12.2020.

Avrupa Komisyonu (2019), “Innovative textiles – reinventing fashion”, [https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020\\_CE-FNR-14-202](https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_CE-FNR-14-202), Erişim tarihi: 04.01.2021.

Bio Based Content, <https://www.biobasedcontent.eu/> Erişim tarihi: 25.02.2021.

Blonde and Bieber, Algea T-Shirt, <https://www.blondandbieber.com/vollebak-algae-t-shirt>, Erişim tarihi: 23.12.2020.

Bolt Threads, Microsilk, <https://boltthreads.com/technology/microsilk/>, Erişim tarihi: 13.01.2021.

Council of Fashion Designers of America, “Biosynthetics or Bioplastics”, <https://cfda.com/resources/materials/detail/biosynthetics-or-bioplastics>, Erişim tarihi: 19.02.2021.

Donghia Healthier Materials Library, 2020, <https://healthymaterialslab.org/donghia>, Erişim tarihi: 13.01.2021.

Edelkoort, L. (2016), “New York Textile Month will highlight the revival of cloth, says Li Edelkoort”, Dezeen, <https://goo.gl/7aEKBW>. Erişim tarihi, 02.01.2021.

Fulgar, Evo, <https://www.fulgar.com/eng/insights/bio-based-fiber-evo>, Erişim tarihi: 12.01.2021.



Healthy Materials Lab, 2020 “<https://healthymaterialslab.org/>”, Erişim tarihi: 13.01.2021.

Healthy Materials Lab, Biofabricated Materials”, (2020).  
<https://healthymaterialslab.org/material-collections/biofabricated-materials>, Erişim tarihi: 13.01.2020.

Modern Meadow, <https://www.modernmeadow.com/>, Erişim tarihi: 12.01.2021.

Mycoworks, Reishi, <https://www.madewithreishi.com/stories/our-products>, Erişim tarihi: 23.01.2020.

Mylo – Unleather, <https://www.mylo-unleather.com/>, Erişim tarihi: 10.01.2021.

Orange Fiber, <http://orangefiber.it/en/>, Erişim tarihi: 20.01.2021.

Spiber, <https://www.spiber.inc/en/tnfsp/mp/>, Erişim tarihi: 08.01.2021.

Spiber, Brewed Protein , <https://www.spiber.inc/en/brewedprotein/>, Erişim tarihi: 08.01.2021.

Sustain Your Style, (2020). “Modanın Çevresel Etkileri”,  
[https://www.sustainyourstyle.org/en/whats-wrong-with-the-fashionindustry?gclid=Cj0KCCQiAuJb\\_BRDJARIsAKkycUIXRd1S\\_oXs6cERGyHoGPgn\\_\\_FSsa7\\_qW23LC7zvIQCa8Ft853Xm3gaAuhHEALw\\_wcB](https://www.sustainyourstyle.org/en/whats-wrong-with-the-fashionindustry?gclid=Cj0KCCQiAuJb_BRDJARIsAKkycUIXRd1S_oXs6cERGyHoGPgn__FSsa7_qW23LC7zvIQCa8Ft853Xm3gaAuhHEALw_wcB), Erişim tarihi: 26.12.2020.

Textile Exchange (2018b). “About Biosynthetics”, <https://aboutbiosynthetics.org/feedstock-to-fashion/>, Erişim tarihi: 17.02.2021.

Tierra, Deterra Biobased Jacket, <https://tierra.com/materials/deterra-bio-based-jacket/>, Erişim tarihi: 20.01.2021.

### **Görsel Kaynaklar**

Görsel 1. “Biyomateryallerin kapsamı”, Biofabricate ve Fashion for Good, 2020. Understanding “Bio” Material Innovations: A Primer for The Fashion Industry, Biofabricate, Fashion for Good.

Görsel 2. Bolt Threads, “Mylo, Miselyum Deri”, <https://www.mylo-unleather.com/>, Erişim tarihi: 29.02.2021.

Görsel 3. Fulgar ve Cifra, “EVO”, 2018, Biyo-temelli Elyaftan Üretilen Giysiler, <https://www.fulgar.com/eng/tabloid/a-new-cutting-edge-capsule-collection-by-cifra-entirely-made-with-wks%E2%84%A2-technology-and-with-evo-yarn-by-fulgar>, Erişim tarihi: 15.01.2021.

Görsel 4. "Biyomateryallerin kapsamı", Biofabricate ve Fashion for Good, 2020. Understanding "Bio" Material Innovations: A Primer for The Fashion Industry, Biofabricate, Fashion for Good.

Görsel 5. Stella McCartney, "Gold Dress", 2017, Best Made Co., "Cap of Courage", 2017, Stella McCartney ve Adidas, "Biofabric Tennis Dress", 2020, <https://boltthreads.com/technology/microsilk/>, Erişim tarihi: 13.01.2021.

Görsel 6. North Face ve Spiber, "Moon Parka", 2019, <https://www.spiber.inc/en/tnfsp/mp/>, Erişim tarihi: 08.01.2021.

Görsel 7. Spiber ve North Face, "Planetary Equilibrium Tee", 2019, Spiber ve Sacai, "Brewed Protein T-shirt", 2020, <https://www.spiber.inc/en/sacai/2020ss/>, Erişim tarihi: 12.01.2021.

Görsel 8. Modern Meadow, "Zoa", <https://www.modernmeadow.com/>, Erişim tarihi: 12.01.2021 ve Suzanne Lee, Amy Congdon, "Zoa Tee", 2017, Items: Is Fashion Modern? Sergisi, The Museum of Modern Art, New York, <https://www.moma.org/artists/68049?=&page=&direction=>, Erişim tarihi: 12.01.2021.

Görsel 9. Mycoworks, "Reishi", <https://www.madewithreishi.com/products>, Erişim tarihi: 23.01.2020.

Görsel 10. Tierra, "Deterra", 2017, <https://www.fulgar.com/eng/tabloid/deterra-jacket-tierra-s-first-100-bio-based-jacket>, Erişim tarihi: 20.01.2021.

Görsel 11. Salvatore Ferragamo, Triko Hırka, 2017; H&M Conscious ExclusiveKoleskiyonundan Elbise, 2019, <http://orangefiber.it/en/collections/>, Erişim tarihi: 20.01.2021.

Görsel 12. Blonde & Biber ve Vollebak, "The Plant and Algae T-shirt", 2019, <https://www.blondandbieber.com/vollebak-algae-t-shirt>, Erişim tarihi: 23.12.2020.