



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



**Mantarın bağlayıcı olarak kullanıldığı bir kompozit malzemenin üretilmesi ve tutuşma süresi ile su alma özelliklerinin tespiti**

*Producing a composite material using mushroom as binder, determining its ignition time and water absorption*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Nuriye Hande KUTBAY<sup>1</sup>, Hüseyin Güçlü YAVUZCAN<sup>2</sup>, Sinan AKTAŞ<sup>3</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0003-1458-7984

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0001-8560-7845

*ORCID<sup>3</sup>:* 0000-0003-1657-5901

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Kutbay N. H., Yavuzcan H. G. ve Aktaş S., “Mantarın bağlayıcı olarak kullanıldığı bir kompozit malzemenin üretilmesi ve tutuşma süresi ile su alma özelliklerinin tespiti”, *Politeknik Dergisi*, 25(4): 1701-1711, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.943738

# Mantarın Bağlayıcı Olarak Kullanıldığı Bir Kompozit Malzemenin Üretilmesi ve Tutuşma Süresi ile Su Alma Özelliklerinin Tespiti

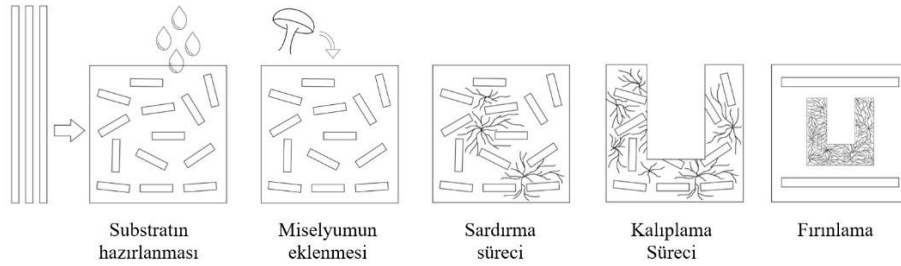
## Producing a Composite Material Using Mushroom as Binder, Determining Its Ignition Time and Water Absorption

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Yenilenebilir kaynak kullanımı / Use of renewable resources
- ❖ Biyokompozit üretimi / Biocomposite production
- ❖ Üretim yöntemi tasarımı / Production process design
- ❖ Tutuşma ve su alma testleri / Flammability and water absorption tests

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, tarımsal atık ve miselyum kullanılarak bir biyokompozit malzeme geliştirilmiş, geliştirilen malzemenin tutuşma süresi ve su alma özellikleri incelenmiştir. /A biocomposite material is developed by using agricultural waste and mycelium, the ignition time and water absorption of the material are investigated.



Şekil. Sürecin şematik gösterimi /Figure. Schematic illustration of the process

### Amaç (Aim)

Miselyum ve buğday sapı ile biyokompozit malzeme üretiminin sağlanması, bu malzemenin tutuşma süresinin, su alma ve suda şişme özelliklerinin incelenmesi. / Production of a biocomposite material using mycelium and wheat straw, investigation of the ignition time, water absorption and thickness expansion values of the material.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Kültür oluşturma, sardırma, kalıplama ve fırınlama aşamalarını içeren bir üretim yöntemi tasarlanmıştır; bu aşamalar doğrultusunda elde edilen malzemenin su alma ve suda şişme değerleri ile tutuşma süresi incelenmiştir. / A production method including the steps of culture production, incubation, molding and drying was designed. Water absorption, thickness expansion and flammability of the produced material are investigated.

### Özgünlük (Originality)

Miselyum bazlı malzeme üretme çalışmalarında substrat parça boyutu genellikle 10 mm altında tutulmakta olup bu çalışmada 20 mm olarak kullanılmıştır. Substrat olarak buğday sapı ve bağlayıcı olarak *Pleurotus ostreatus* türüne ait miselyum kullanılmıştır. /For material production, wheat straw is used as substrate with a 20 mm particle size and *Pleurotus ostreatus* mycelium as binder.

### Bulgular (Findings)

Substrat parça boyunun artmasının malzeme gelişimini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Malzemede tutuşma 67. saniyede başlamıştır. Su alma değeri yüksektir. / Increase in substrate piece size negatively affects the material development. The ignition time of the material observed as 67 seconds. Material has high water absorption value.

### Sonuç (Conclusion)

Malzeme yoğunluğunu arttırmak için parça boylarının kısaltılması ve ortam neminin artırılması gerekmektedir. / To increase the material density, the piece lengths should be shortened and the humidity should be increased.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Mantarın Bağlayıcı Olarak Kullanıldığı Bir Kompozit Malzemenin Üretilmesi ve Tutuşma Süresi ile Su Alma Özelliklerinin Tespiti

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Nuriye Hande KUTBAY <sup>1\*</sup>, Hüseyin Güçlü YAVUZCAN <sup>2</sup>, Sinan AKTAŞ <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Türkiye

<sup>3</sup>Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Türkiye

(Geliş/Received : 31.05.2021 ; Kabul/Accepted : 07.10.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 18.10.2021)

## ÖZ

Sürdürülebilirliğin sağlanması için yenilenebilir kaynak kullanımı, atık malzemelerin hammadde olarak değerlendirilmesi, atıkların biyo-çözünürlüğünün yüksek olması gibi faktörler büyük önem arz etmektedir. Doğal lifler, yenilenebilir kaynak olarak kompozit malzeme geliştirmede kullanılabilen; yıllık bazda yenilenebilir tarımsal atıkların kompozit malzemelerde hammadde olarak kullanılması ise aynı zamanda atık malzemelerin malzeme döngüsüne dahil edilmesi anlamına gelmektedir. Hammadde olarak ele alındığında mantar da yenilenebilir bir kaynak olmakta; enzimleriyle bulunduğu ortamdaki doğal lifler arasında yapıştırıcı görevi gören miselyum, malzeme üretiminde kullanılabilir. Mantarın ve doğal liflerin kullanıldığı kompozit malzemeler tamamen organik olan yapıları sayesinde ürün yaşam döngülerini tamamladıktan sonra doğada tamamen bozunabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, biyolojik etkinliği yüksek olan ve hızlı lif oluşturabilen mantar türlerinden biri olan *Pleurotus ostreatus* türüne ait miselyumun bağlayıcı; tarımsal atık olan buğday sapının ise substrat olarak kullanıldığı ve üretimi organik bir büyüme süreci şeklinde gerçekleşen bir kompozit malzeme geliştirilmiştir. Geliştirilen malzeme alev kaynağına 10, 30 ve 60 saniye maruz bırakıldığında kararma olduğu; 67. saniyede ise tutuşmanın başladığı gözlenmiştir. 24 saat suya daldırma sonucunda su alma değerinin %257 ve suda kalınlığa şişme değerinin %2.55-3.63 arasında olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Miselyum, tarımsal atık, kompozit malzeme, sürdürülebilirlik, tutuşma.

## Producing a Composite Material Using Mushroom as Binder, Determining Its Ignition Time and Water Absorption

### ABSTRACT

Factors such as using renewable resources utilization of waste materials as raw materials, high biodegradability of wastes have major importance to ensure sustainability. Using agricultural wastes, which are renewable natural fibers on an annual basis, as raw materials in composite production also means that waste materials are kept in the material cycle. When considered as a raw material, mushroom is also a renewable resource and it takes part in material production since mycelium acts as an adhesive with its enzymes between natural fibers. Due to being completely organic, composite materials made of mushroom and natural fibers can be fully degraded in nature at the end of their product life cycle. In this study, a composite material has been developed by using wheat straw as the substrate and mycelium of *Pleurotus ostreatus* as the binder while the production method is an organic growth process. In flammability tests, it was measured that the ignition started at the 67th second. After immersion in water for 24 hours, it is determined that the water absorption value of the material is 257% and thickness expansion is between 2.55-3.63%.

**Keywords:** Mycelium, agricultural waste, composite material, sustainability, flammability.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayileşme ile beraber üretim hızında meydana gelen artış, aynı doğrultuda tüketim hızında da artışa sebep olmuştur. Teknoloji ve üretim alanlarındaki gelişmeler, insan hayatındaki refah seviyesini arttırmaya katkı sağlarken, bir yandan da çevre üzerinde olumsuz etkilere sebep vermeye başlamıştır. İnsan yaşamının kalitesini arttıran tek etmenin ekonomik faktörler olmadığını

anlaşılması [1] ve insanlığın çevre üzerinde yarattığı olumsuzluklara yönelik endişelerin oluşmasıyla beraber, ilk olarak 13. Yüzyılda ortaya konmuş olan sürdürülebilirlik kavramı [2] daha önemli ve güncel bir konu olarak tekrar ortaya çıkmıştır.

Sürdürülebilirliğin sağlanması için karşılanması gereken kriterlerden oluşturulan Sürdürülebilirlik Alfabetesi [3] isimli listede “fosil bazlı organik endüstriyel hammaddelerin biyobazlı olanlar ile yer değiştirmesi, hammaddelerden tam yararlanma – sıfır atık hedefi, yenilenebilir veya geri dönüştürülebilir hammadde

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : nhsahin@gazi.edu.tr

kullanımı, tarımsal ve tarım sınai kalıntılardan/atıklardan sistematik faydalanma, atıklardan optimum faydalanma, atıkların biyo-çözünürlüğünün artırılması ve her fırsatta biyolojik bilimlerin ve biyoteknolojinin uygulanması” gibi kriterler yer almaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan malzemenin üretimindeki hammaddelerin yenilenebilir bir kaynak olan mantar ve tarımsal atık olan buğday sapı olması; ayrıca tamamen organik olan yapısı sayesinde biyo-çözünürlüğünün yüksek olması gibi sebeplerden dolayı çalışmanın bu kriterler ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır.

Gerek malzeme, gerekse üretim süreçleri için sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik stratejilerin oluşturulması sürdürülebilir kalkınma için büyük önem arz etmekte olup [4] sürdürülebilir kalkınma kavramı, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından [5] “*Gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere yeteneklerinden ödün vermeden günümüzün ihtiyaçlarını karşılayan gelişme*” şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanımdan yola çıkarak etkin kaynak kullanımının önemi görülmekte; bunun içinse yenilenebilir kaynakların kullanılması ve atıkların döngülere dahil edilmesi önem arz etmektedir.

Biyolojik atıkların üretime hammadde olarak dahil edilmesi ile daha düşük maliyetli hammadde kullanılması ve daha düşük maliyetli ürünlerin oluşturulması, olumsuz çevresel etkilerinin daha az olduğu ürünlerin ve süreçlerin geliştirilmesi, biyolojik bozunması daha yüksek ürünlerin oluşturulması, fosil bazlı kaynaklardan üretilmeyecek yeni ürünlerin geliştirilmesi ve bu kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması gibi faydaların sağlanması mümkün olmaktadır [6].

Fosil bazlı kaynakların kolay erişilebilir olmasına karşın azalmaya başlaması ve iklimsel değişikliklerin artmaya başlaması gibi faktörler, kaynak verimliliği sağlamayı ve çevresel sürdürülebilirlik politikaları oluşturmayı zorunlu hale getirmekte; yenilenebilir kaynak kullanımının tercih edilirliliğini tetiklemektedir [7]. Bununla beraber bu hususlarda giderek bilinçlenen insanlar, çevresel sorunlar ve kaynakların tüketimi konularında gelişen kaygıları doğrultusunda biyo-bazlı ürünleri daha çok talep etmeye başlamıştır [6].

Ekonomik açıdan bakıldığında, bileşenleri sınırlı olan doğal kaynaklardan veya yenilenebilir olmayan kaynaklardan edinilen kompozit malzemeler, hem hammadde temini açısından hem de sanayideki üretim işlemleri açısından yüksek maliyetli olmaktadır [8]. Ayrıca sentetik kompozitlerin kullanım ömrü tamamlandıktan sonra tekrar bileşen parçalarına ayrılmasındaki zorluklar sebebiyle bu malzemeler için uygulanabilecek olan yaşam sonu seçenekleri zayıf olmakta [9]; bu malzemeler için uygulanan yöntemlerin sıklıkla yakma ve gömme ya da yığma [8,10] olmasından ötürü malzemenin döngüselliliği sağlanamamaktadır. Buna karşılık olarak ise, gerek çevresel olumsuzları azaltmak gerekse malzeme kayıplarını önlemek için ürünlerin daha tasarım aşamasında sürdürülebilirliğinin

ön planda tutulması, üretim süreçlerinde yüksek enerji gerektirmeyen malzemelerin ve yöntemlerin tercih edilmesi, yapısındaki bileşenlerin tamamen ya da çoğunlukla biyolojik esaslı olduğu kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve tercih edilmesi gerekmektedir.

Doğal liflerin düşük maliyet, erişilebilirlik ve farklı hammadde seçenekleri sunması, bunlarla yapılan biyokompozitlerin ise düşük maliyetin yanı sıra dayanıklılık, üretimde enerji verimliliği, yüksek biyolojik bozunma oranı gibi avantajlarının bulunması sayesinde doğal liflerin petrol bazlı kaynaklara karşı rekabet gücünün ve tercih edilirliliğinin artacağı düşünülmektedir [8,11]. Bu doğrultuda, yıllık olarak yenilenebilir bir kaynak olarak görülen tarımsal atıkların, biyolojik bozunma süresi çok uzun olan fosil bazlı vb. kaynaklardan üretilen malzemelere karşı bir alternatif olarak değerlendirilmesi için son birkaç yıldır farklı çalışmalar yürütülmekte [12]; bağlayıcılık özelliğiyle miselyum kullanımı da bu çalışmalarda yerini almaktadır.

Mantar hücreleri, arka arkaya gelerek ipliksi bir yapı şeklinde lifleri oluştururken iç içe geçmiş liflerin oluşturduğu yapıya miselyum denilmektedir [13,14]. Mantarların pek çoğu, salgıladıkları güçlü enzimleri ile bitkilerin liflerini parçalayabilmekte ve başta buğday, pirinç, çavdar ve arpa olmak üzere tahıl sapsarı üzerinde yetişebilmektedir [15]. Uygun ortam şartları altında ve uygun besinlerin bulunması durumunda sürekli olarak büyümeye devam etmesi mümkün olan miselyumun [16] tahıl sapsarının yanı sıra; bambu, kaktüs, saç, yaprak, pamuk, mısır koçanı, kahve çekirdeği gibi üzerinde verimli bir şekilde gelişim gösterebildiği pek çok madde bulunmaktadır [15].

Farklı doğrultularda uzayan ince lifli bir yapısı olan, yenilenebilirliği hızlı ve yoğun bir şekilde gerçekleşebilen ve doğal bir malzeme kaynağı olarak değerlendirilebilecek olan miselyum, sert olabilmeye, istenilen herhangi bir formda yetişebilme ve özellikle yanmaya karşı oldukça dirençli olan bazı türleri sayesinde de yalıtıcılık sağlayabilme özelliklerine sahiptir [17].

Miselyumun üzerine eklendiği substrat, mantar için bir besin kaynağı oluşturmakta; belirli sıcaklık ve nem şartlarının sağlanmasıyla herhangi bir ek enerjiye gerek kalmaksızın miselyum hücre dışı sindirim yaparak substratı oluşturan ürünlerin yüzeyine bağlanmakta ve bu doğal lifler arasında bir yapıştırıcı gibi görev görmektedir [8,10,18,19]. Birkaç günün sonunda miselyum ile tamamen birbirine bağlanmış liflerden oluşan kompozit, miselyumun etkisiz hale getirilmesi için belirli bir sıcaklıkta birkaç saat boyunca kurutulmakta [8,10] ve sonucunda yapıların yalıtımında ya da taşımacılıkta kullanılan ambalajlar için değerlendirilebilecek bir kompozit malzeme elde edilebilmektedir [18,19].

Miselyumun bağlayıcı özelliği ve tarımsal kalıntıların plastik malzemelerde dolgu olarak kullanılması üzerine ilk çalışmalar 2006 yılında [20] yapılmıştır. Ancak hem

miselyumun bağlayıcı olduğu hem de substratın yalnızca organik maddelerden (tarımsal kalıntılar, orman ürünlerinden gelen yan atıklar vb.) oluştuğu biyokompozit geliştirme çalışmalarına literatürde ilk olarak 2012'de [12] rastlanmakta olup bu çalışmadan sonraki süreçte, özellikle son birkaç yılda miselyum kompozitlerin üretilmesi ve geliştirilmesine yönelik daha fazla araştırma [18,19,21-39] yürütülmeye başlanmıştır.

Pelletier ve diğerleri tarafından [18] yapılan bir çalışmada şalter otu, pirinç samanı, sorgum sapı, keten sapı ve kenevir gibi yarı hidrofobik tarımsal yan ürünler substrat olarak denenecek ses emilimi üzerine etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır; bir başka çalışmada [19] ise buna ek olarak üretim sürecine ısı ve basınç işlemleri eklenmiştir. Kenevir ürünleri ile odun talaşlarının substrat ve *C. versicolor* ile *P. ostreatus* misellerinin matris olarak kullanıldığı bir çalışmada [31] üretimdeki sterilizasyon yönteminin değişikliğinin etkisi incelenirken yine kenevir ve odun talaşının substrat olarak kullanıldığı bir başka çalışmada [25] ise *Trametes versicolor* matris olarak değerlendirilmiştir. Substratların saman, talaş ve pamuk ile hazırlandığı ve bağlayıcı misel olarak *Pleurotus ostreatus* ve *Trametes multicolor* türlerinin kullanıldığı bir başka çalışmada [40] ise farklı presleme tekniklerinin malzeme üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Miselyum kompozitlerin üretiminde kullanılan girdilerin (substratı oluşturan hammaddelerin ve bağlayıcı miselyumun türünün) değişmesinin elde edilen malzemede de değişikliğe sebep olması sebebiyle literatürde özellikle farklı substrat ve farklı miselyum türleri ile malzeme elde etme üzerine çalışmalara yoğunlaşıldığı görülmektedir. Bu kapsamda yapılan bazı araştırmaların içeriği şu şekildedir: Substrat olarak buğday kepeği takviyeli hindistan cevizi tozu ve matris olarak *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus eryngii* ve *Pycnoporus sanguineus* türlerinin kullanımı [36], substrat olarak odun küspesi, darı tanesi ve buğday kepeğinin farklı oranlarda karıştırılarak kullanımı [33], mısırın tarımsal kalıntılarının (hasat sonrası geriye kalan mısır bitkisinin yaprakları, koçanları, sapları) substrat olarak kullanımı [35], substrat olarak patates nişastası takviyeli kurutulmuş miskantus (fil otu) kullanımı [29], substrat olarak huş, kavak, ladin, çam, köknar talaşlarının ve dokuz farklı miselyum türünün matris olarak kullanımı [41], substrat olarak yulaf kabuğu ve kolza tohumu ve matris olarak *Trichoderma asperellum* ile *Agaricus bisporus* kullanımı [26], substrat olarak kenevir kabuğu ve kayın ağacı talaşı ile matris olarak *Trametes versicolor* ve *Ganoderma resinaceum* kullanımı [24].

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Çalışmada kompozit malzeme geliştirmek için substrat olarak buğday sapı, bağlayıcı olarak da miselyum kullanılmıştır. Kullanılan miselyum, biyolojik etkinliği yüksek olan ve hızlı lif oluşturabilen mantar türlerinden biri olan *Pleurotus ostreatus* (istiridyeye mantarı) türüne

aittir. Belirli bir mantar türünün ya da farklı mantar türlerinin farklı tarımsal atıklar üzerinde misel gelişimini ve bu substratların kullanım potansiyellerini incelemek amacıyla yapılan önceki çalışmalarda [42-58] buğday sapının misel geliştirmede verimli bir ortam olduğu ortaya konmuştur. Kalıp olarak ise kağıt ve plastik olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmıştır.

Miselyum kullanımı ile malzeme geliştirme üzerine yapılan araştırmalardan üretilen yayınlarda sürece yönelik işlemler temel olarak anlatılmakla beraber malzeme teknolojisi ve üretim süreci ile ilgili çeşitli detayların endüstriyel gizlilik kapsamı altında tutulması sebebiyle [59] bu detaylara genellikle yayınlarda yer verilmemektedir. Bu sebeple, bu çalışma kapsamında malzeme çalışmalarına geçilmeden önce detaylı bir şekilde üretim yönteminin nasıl gerçekleştirileceği belirlenmiştir.

Kompozit malzemenin geliştirilmesi süreci kültür oluşturma, sardırma, kalıplama ve fırınlama olmak üzere temel olarak dört aşama içermektedir. Kültür oluşturma aşaması, bağlayıcı olarak kullanılacak olan miselyumun hazırlanmasını içermektedir. Çalışmada *Pleurotus ostreatus* türünden ana kültürü oluşturulmuş olan miselyum kullanılmıştır. Sardırma aşaması, miselyumun eklendiği substrat üzerinde gelişim göstermesini içermektedir. Kalıplama aşaması ise, konulduğu kalıbın şeklini almak üzere miselyumun sardırma işlemine devam ederek eklendiği substratın tek parça haline gelmesini sağladığı aşamadır. Bu temel dört aşamanın yanı sıra, çalışmanın yürütülebilmesi için hazırlık işlemleri de bulunmakta olup çalışma kapsamında gerçekleştirilen süreçler, aşağıda sırasıyla anlatılmaktadır.

- Öncelikle substrat olarak kullanılacak olan buğday sapları ayıklanmış ve uzunlukları yaklaşık 20 mm olacak şekilde kesilerek boyutlandırılmıştır.
- Boyutlandırılmış olan buğday sapları, gerekli nemliliğe ve yumuşaklığa ulaşabilmesi için bir gece su içerisinde bekletilmiştir.
- Sonrasında buğday sapları, yaklaşık 90 dakika boyunca kaynatılarak hem nemliliği desteklenmiş, hem de temizlenmesi sağlanmıştır.
- Miselyumun yürüme göstereceği ortamın nemli olması gerekmektedir beraber ortamda gereğinden fazla su bulunması çürümeye sebep olmaktadır. Bu sebeple kaynatılmış olan buğday sapları, sardırma aşamasının gerçekleşeceği kalıp içerisine fazla suyunu bırakmaması için süzümüştür.
- Miselyumun gelişim gösterebilmesi için ihtiyaç duyduğu ortam pH değerini sağlamak için süzümüş olan buğday saplarının ağırlığı ölçülerek %2 oranında alçı eklenmiş ve karıştırılmıştır.
- Alçı takviyesi yapılmış olan substrat, miselyumun etkili ilerleme sağlayabilmesi için ihtiyacı olan boşlukların kalabileceği şekilde, sıkıştırılmadan sardırma aşamasının gerçekleşeceği kabın içerisine aktarılmıştır. Hem sterilizasyonun sağlanabilmesi

hem de sürecin gözlemlenebilmesi için sardırma işleminin gerçekleşeceği kap olarak cam kavanoz kullanılmıştır. Kabin içerisine filtrelenmiş hava girişini sağlamak amacıyla, üst yüzeyine delikler açılmış ve iç yüzeyine sünger yapıştırılmış olan bir kapak ile kap kapatılmıştır.

- Miselyum eklenmeden önce kabın ve buğday saplarının sterilizasyonunu sağlamak için 20 dakika süre ile kap, bir düdüklü tencere içerisinde dik konumda ve yüksek basınç kademesinde kaynatılmış ve sonrasında çıkarılarak soğumaya bırakılmıştır.
- Soğumuş olan kabın dış yüzeyi, sürecin steril olarak yürütülebilmesi için alkol ile temizlenmiştir. Aynı işlem, içinde miselyum ana kültürünün bulunduğu kap için de gerçekleştirilmiştir.
- Miselyum kabının içerisinden steril bir bıçak kullanılarak alınan küçük parçalar, buğday saplarının yer aldığı kabin içerisine aktarılmış, sıkıştırılmadan karıştırılmış ve kapağı kapatılmıştır.
- Miselyumu eklenmiş olan substrat kabı, sardırma aşamasının gerçekleşeceği hiç ışık almayan ve 24°C sabit sıcaklığı bulunan bir bölme konmuştur. Karanlık bölme kaldırılmış olan numune düzenli olarak kontrol edilmiş; oluşumu başladığı gözlemlenen misellerin yeterli yoğunluğa ulaşabilmesi için ortamda bekletilmesine devam edilmiştir. 2 hafta sonundaki miselyum gelişimi Şekil 1'de; 4 hafta sonundaki miselyum gelişimi ise Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. 2 hafta sonundaki miselyum gelişme miktarı (Growing amount of the mycelium at the end of 2 weeks)



Şekil 2. 4 hafta sonundaki miselyum gelişme miktarı (Growing amount of the mycelium at the end of 4 weeks)

- Substrat üzerinde miselyumun yeterli yoğunluğa ulaşmasıyla beraber yaklaşık 30 gün süren sardırma aşaması tamamlanmıştır. Bu süre sonunda kabın içerisinde bulunan numune kaptan çıkarılmış, kalıplama aşamasında kullanılacak kalıba alınmadan önce bütünleşmeye başlayan yapı karıştırılmış ve ufalanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kalıplama için malzemenin hazırlanması (Preparation of the material for molding)

- Kalıp olarak biri kağıt ve diğeri plastik olmak üzere alt tarafları kapalı iki silindirik kap iç içe konulmuş ve parçalarına ayrılmış olan numune (miselyum sardırılmış buğday sapları) bu iki kap arasına sıkıştırılmadan yerleştirilmiştir. Daha sonrasında kalıbın üzeri, üzerinde birkaç delik açılmış olan bir streç film ile kapatılmış ve tekrar sardırma aşamasında kullanılan bölme kaldırılmıştır.
- Numune, bölme kalıplama aşaması için yaklaşık 20 gün süre ile bekletilmiştir. Bu süre içerisinde tekrar gelişim gösteren miselyum, buğday sapları arasında bir yapıştırıcı gibi görev görerek bağlanmalarını sağlamış ve numuneyi parçalı bir yapı değil; tek parça olarak kalıptan çıkacak şekilde sertleştirerek bütünleştirmiştir.
- Kalıplama aşamasının tamamlanması ile beraber kalıptan çıkarılan numune (Şekil 4 ve Şekil 5), miselyumun canlılık aktivitesini durdurmak ve mantar oluşturmasını engellemek için fırında kurutulmuştur. Fırınlama aşaması, mantarın ölmesine yetecek kadar yüksek ancak pişerek aradaki bağ yapısının bozulmasına sebep vermeyecek kadar düşük bir kurutma sıcaklığında ve yaklaşık beş saat süresince gerçekleştirilmiştir.

Fırınlama aşamasının tamamlanması ile beraber malzeme oluşturma süreci tamamlanmış; miselyumun kendi organik aktivitesiyle buğday saplarını bağlayarak tek parça haline getirdiği bir malzeme elde edilmiş olmuştur.



Şekil 4. Malzemenin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görünümü - üst (View of the material after demoulding - top)



Şekil 5. Malzemenin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görünümü - alt (View of the material after demoulding - bottom)

Oluşturulan kompozit malzemenin değerlendirilmesinden sonra malzeme Şekil 6'da gösterildiği gibi kesilerek tutuşma deneyi için hazırlanmıştır. Tutuşma deneyi için tek alev kaynağı kullanan, numunenin (geliştirilen malzemenin) zemine paralel olacak şekilde ve numune yüzeyinin alev kaynağından 4,5 cm yukarıda olduğu bir düzenek hazırlanmıştır. Düzenegin hazırlanmasında Iordache ve diğerleri tarafından [60] *Fusarium oxysporum* türüne ait miselyum ile geri dönüştürülmüş öğütülmüş kağıt ve bayat kahve ile geliştirilen kompozit malzemenin yanıcılık analizleri üzerine yapılan çalışmadaki ölçü ve pozisyonlar değerlendirilmiştir. Süre tutularak numune sırasıyla 10, 30 ve 60 saniye boyunca tutuşma deneyine tabi tutulmuş; son ölçümde 67. saniyede tutuşmanın başladığı gözlenmiştir.



Şekil 6. Tutuşma deneyi için kesilen numune (Cut sample for the flammability test)

Tutuşma süresinin tayinin yanı sıra, geliştirilen malzeme yoğunluk, su alma ve suda şişme özellikleri bakımından incelenmiştir. Numune ağırlık ölçümü için hassasiyeti 0,01 g olan terazi ve boyut ölçümü için 0,1 mm hassasiyetli kumpas kullanılmıştır. Malzemenin üretim sürecindeki nihai aşamanın fırında kurutma olması sebebiyle yoğunluğu tam kuru haldeki ağırlığı ile belirlenmiştir. Su alma ve suda şişme değerlerinin belirlenmesinde sıcaklığı  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  olan temiz su kullanılmış; suyun yüzeyinden 25 mm aşağıda konumlandırılan numune 2 saat ve 24 saat süresince su içerisinde bekletilerek belirtilen sürelerde suyun fazlası bir bezle alınarak ağırlık ve boyut ölçümleri yapılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS and DISCUSSION)

Miselyumun bağlayıcı özelliğinin kullanılmasıyla yapılan malzeme geliştirme çalışmalarında [21,34,40,60-65] gerek tarımsal atıklar gerekse miselyumun üzerinde gelişebileceği diğer organik malzemeler substrat olarak kullanılırken bu malzemelerin parça boyutları genellikle 0-10 mm aralığında tutulmuştur. Bu çalışma kapsamında substrat olarak kullanılan buğday saplarının parça boyutları ise yaygın çalışmalardan farklı olarak yaklaşık 20 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Parça boyutlarının daha uzun olması, substratın kalıbın içerisine rastgele dağılım şeklinde yerleştirilmesi doğrultusunda parça aralarında daha fazla boşluk oluşmasına sebep olmuştur. Miselyumun gelişim gösterebilmek için parça aralarında boşluklu yapıya ihtiyaç duymasına karşın artan boşluk hacmi, parça aralarını yeterince yoğun dolduramamasına sebep olmuştur. Parça boyutu sabit tutulmakla beraber kalıp içerisinde dağınık yerine düzenli dizilim gerçekleştirilmesiyle daha homojen dağılımlı bir boşluk düzeninin oluşturulması ve dolayısıyla miselyumun parça aralarında daha yoğun gelişim göstererek substratın yer aldığı kalıbın tamamını doldurması sağlanabilir.

Malzeme üretiminin kalıplama işleminde, kalıp olarak içteki kağıt bazlı, dıştaki ise plastik olmak üzere tek tarafı kapalı silindirik formunda iki malzeme iç içe geçirilerek kullanılmıştır. İç tarafta bulunan kağıt kalıp tarafından substratta bulunan suyun bir kısmı emilerek plastik kalıba göre substrata daha uzun süre nemli bir ortam sağlanmış; bu sebeple geliştirilen malzemenin iç kalıba yakın olan yüzeylerinde miselyum daha yoğun ve bütüncül bir yapı oluşturacak şekilde gelişim göstermiştir. Ancak miselyum, kağıt kalıbın selülozik yapısı sebebiyle kalıpla etkileşime girerek substrat ve kalıp arasında da bağlayıcı yapı oluşumu göstermeye başlamıştır. Nemlilik sağlama açısından verimli olmasına karşın, miselyum tarafından besin olarak değerlendirilerek yapıya dahil edilmesi sebebiyle kağıt esaslı malzemelerin kalıp olarak kullanımının verimsiz olduğu görülmüştür. Dışta bulunan plastik kalıp, miselyum ile herhangi bir etkileşime girmemiş olup nemliliğin yeterince sağlanamadığı yüzeylerde miselyum gelişiminin yetersiz kaldığı; buna karşın substratta yer

alan suyun daha çok birikme gösterdiği alt taban ve alt yan yüzeylerde ise yoğun miselyum gelişiminin gerçekleştiği, özellikle alt tabanda bu gelişimin tam kapatmaya yakın olduğu gözlenmiştir. Kalıp kullanımı açısından değerlendirildiğinde, miselyum ile yapılacak olan araştırmalarda miselyumun etkileşime girmemesi açısından içerisinde organik bileşeni olmayan malzemelerin kalıp olarak değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Birçok mantar türü gelişebilmek için yaklaşık  $25^\circ\text{C}$  sıcaklığa, en az 0,65 civarında su aktivitesine ve 4-6 arası pH değerine [16] ve ışık almayan ortama ihtiyaç duymaktadır. Çalışma kapsamında kalıplama sürecinde numunenin saklanması için kullanılan alanda miselyumun gelişim gösterebilmek için ihtiyaç duyduğu pH değeri, sabit sıcaklık ve karanlık ortam şartları sağlanmış ancak substratın ilk aşamalarda nemlendirilmesi dışında ortama nem takviyesi sağlanamamıştır. Parça boyutlarının uzunluğu ve parçaların rastgele dizilişinden dolayı oluşan çok boşluklu diziliminin yanı sıra, yetersiz nem ortamının da miselyumun malzemede tam kapatma sağlayacak şekilde gelişmemesinin bir sebebi olduğu düşünülmektedir.

Tutuşma deneyinin yapılması için bir düzenek hazırlanmış, düzeneğin hazırlanmasında Iordache vd. [60] tarafından yapılan çalışmadaki değerler baz alınmıştır. Hazırlanan düzenekte tek bir alev kaynağı dikey olarak kullanılmakta, deneye tabi tutulacak numune alev kaynağından 4,5 cm yukarıda ve zemine paralel olarak konumlandırılmaktadır. Numune, öncelikle 10 saniye boyunca alev kaynağına maruz bırakılmış; bu sürede tutuşma olmadığı ancak hafif kararmanın olduğu gözlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Alev kaynağına 10 saniye maruz kalan numunenin görünümü (Image of the sample exposed to the flame source for 10 seconds)



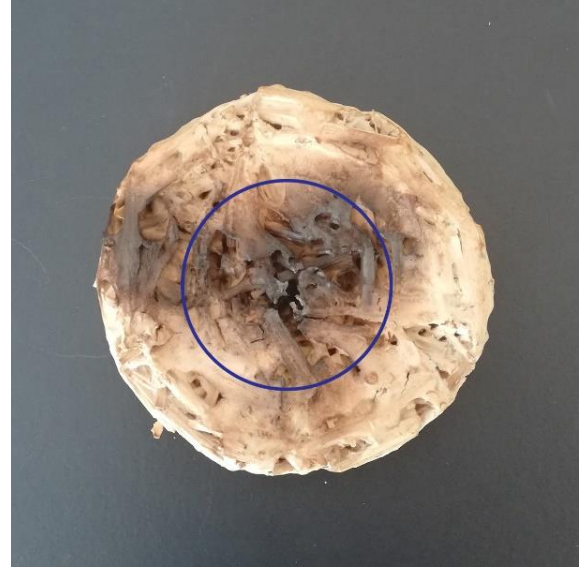
İkinci olarak numune, 30 saniye boyunca alev kaynağına maruz bırakılmış; bu sürede yine tutuşmanın olmadığı ancak bir öncekinden daha fazla kararmanın olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 8). Üçüncü olarak numune, 60 saniye boyunca alev kaynağına maruz bırakılmış; bu sürede tutuşma olmadığı ancak öncekilerden çok daha yoğun kararırma ve yüzey dokusunda belirgin bozulmalar gözlemlenmiştir (Şekil 9). Numunenin alev kaynağına son maruz bırakılışının 67. saniyesinde ise yüzeyde tutuşmanın başladığı gözlemlenmiştir (Şekil 10).



**Şekil 8.** Alev kaynağına 30 saniye maruz kalan numunenin görünümü (Image of the sample exposed to the flame source for 30 seconds)



**Şekil 9.** Alev kaynağına 60 saniye maruz kalan numunenin görünümü (Image of the sample exposed to the flame source for 60 seconds)



**Şekil 10.** Tutuşma başladıktan sonra numunenin görünümü (Image of the sample after the start of ignition)

Iordache ve diğerleri tarafından [60] yapılan çalışmada, *Fusarium oxysporum* türüne ait miselyum ile geri dönüştürülmüş öğütülmüş kağıt ve bayat kahve ile kompozit malzeme geliştirilmiş ve sonrasında bu malzeme, yüzeyinde oluşan biyo-film tabakasından tutuşma testine tabi tutulmuştur. Yazarlar tarafından miselyumun oluşturduğu bu biyo-film tabakasının çok iyi alev geciktirici özellikler ortaya çıkardığı belirtilmiş; yapılan teste malzemenin 80 saniye boyunca alev temasına dayanabildiği ve sonrasında yaklaşık 30 dakika süresince köz halinde yandığı gözlemlenmiştir.

Jones ve diğerleri tarafından [21] bir başka çalışmada ise miselyum kompozit geliştirmek için substrat olarak pirinç kabuğu ve buğday tanesi kullanılmış; hem elde edilen kompozitler hem de XPS köpük (strafor) ve yonga levha malzemeleri tutuşma testi ve başka ısı testlere tabi tutularak kıyaslanmıştır. Testler için koni kaloriölçer dikey test modunda kullanılmış ve numunenin ısıyla temas edeceği yüzeyi koni ısıtıcıdan 25 mm uzaklıkta konumlandırılmıştır. Buğday taneleri üzerinde geliştirilen miselyum bazlı kompozitin tutuşmaya başlama süresi 12 saniye, pirinç kabukları üzerinde geliştirilenin ise 7 saniye olarak gözlemlenirken bu süre XPS köpük için 9 saniye ve yonga levha için 26 saniye olarak ölçülmüştür. Ancak ısı yayılım oranı açısından incelediğinde hem buğday taneli hem de pirinç kabuklu miselyum kompozitlerin strafor ve yonga levhaya göre çok daha düşük ısı yayılım oranı sergiledikleri; ayrıca miselyum kompozitlerin önemli ölçüde daha az duman ve CO<sup>2</sup> saldıkları belirtilmiştir.

Üretilen malzemenin yoğunluğunun belirlenmesi için ağırlığı 0,01 g hassasiyetli terazi ve boyutları 0,1 mm hassasiyetli kumpas ile ölçülmüştür. Malzemenin tam kuru haldeki yoğunluğunun 0,07-0,09 g/cm<sup>3</sup> aralığında olduğu belirlenmiştir. Appels ve diğerleri [40] tarafından yapılan bir çalışma kapsamında geliştirilen miselyum kompozit malzemelerin yoğunlukları 0,10 – 0,39 g/cm<sup>3</sup>

aralığında değişmektedir. Ancak söz konusu çalışmada numunelerin bazılarında soğuk ve sıcak presleme işlemi uygulandığı gibi kullanılan substratların da parça büyüklüğü daha küçüktür. Bunların yanı sıra, bu çalışma kapsamında substrat olarak buğday sapı kullanıldığı için hem substratı oluşturan parçaların kendi iç yapısında boşluk bulunmakta; hem de parça boyutlarının daha uzun olması ve numune içinde düzensiz dizilmesi sebebiyle parçalar arasında da daha fazla boşluk kalmaktadır. Belirtilen sebeplerden dolayı mevcut çalışma kapsamında elde edilen malzemenin yoğunluğu daha düşüktür. Jones ve diğerleri [66] tarafından yapılan bir derleme çalışmada, miselyum kompozit malzemelerin yoğunluğunun  $0,059 - 0,552 \text{ g/cm}^3$  aralığında değiştiği belirtilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen miselyum kompozit malzemenin su alma değerinin belirlenmesi için bir kap içerisine sıcaklığı  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  olan temiz su doldurulmuş ve numune alttan desteklenen bir ağırlık ile suyun yüzeyinden 25 mm aşağıda olacak şekilde konumlandırılmıştır. Numune 2 saat ve 24 saat süresince su içerisinde bekletilmiş, bu sürelerin sonunda kaptan çıkarılıp suyun fazlası bir bezle alınarak ağırlığı 0,01 g hassasiyetli terazi ile ölçülmüş ve suya daldırma öncesi ağırlığı ile kıyaslanmıştır. 2 saat süreli suya daldırma sonucunda numune su alma değerinin %256,64 olduğu, 24 saat süreli suya daldırma sonucunda ise bu değer %257,46 olduğu görülmüştür. Miselyum kompozit malzemeler su ile doğrudan temas durumunda çok hızlı bir şekilde su alma eğiliminde olup alınan su miktarı ağırlık olarak %40 ile %580 aralığında değişebilmekte [66] ve bu miktarın büyük bir kısmını genellikle ilk 2-3 saat içerisinde almaktadır [40,66].

Geliştirilen miselyum kompozit malzemenin suda kalınlığa şişme değerlerinin belirlenmesi için ise yine su alma değerinin belirlenmesinde olduğu gibi,  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  sıcaklığında temiz su dolu bir kap içerisinde numune alttan desteklenen bir ağırlık ile suyun yüzeyinden 25 mm aşağıda olacak şekilde konumlandırılmış, 2 saat ve 24 saat süresince su içerisinde bekletilmiştir. Bu sürelerin sonunda kaptan çıkarılıp suyun fazlası bir bezle alınarak suya daldırma öncesi belirlenen noktalarından 0,1 mm hassasiyetli kumpas ile kalınlık ölçümü yapılarak daldırma öncesi kalınlığı ile kıyaslanmıştır. 2 saat süreli suya daldırma sonucunda suda kalınlığa şişme değerinin %1,70 ile %2,97 aralığında, 24 saat süreli daldırma sonucunda ise bu değer %2,55 ile %3,63 aralığında olduğu görülmüştür.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, miselyum ile buğday sapı kullanılarak bir kompozit malzeme oluşturulmuş; oluşturulan malzemenin yoğunluğu, su alma ve suda kalınlığa şişme özellikleri ile alev kaynağı karşısındaki tutuşma süresi incelenmiştir. Malzemenin üretimine ve tutuşma deneyine dair şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Malzemenin beklenen yoğunlukta gelişmesi için yalnızca substratın nemliliğinin sağlanması yeterli

olmamakta; sardırma ve kalıplama süreçlerinde kalıpların bulunduğu ortamda da optimum nemlendirmenin sağlanıyor olması gerekmektedir.

- Substrat parça boylarının uzun olması, rastgele dizilimde parçalar arasında çok boşluk kalmasına sebep olduğu için malzeme içerisinde miselyum beklenen yoğunlukta gelişmemektedir. Parça boylarının kısaltılması, parçaların az boşluk bırakacak şekilde düzenli yerleştirilmesi veya kalıplama süresinin uzatılması ile malzemenin yoğunluğunun artış göstereceği düşünülmektedir. Öte yandan, malzeme yoğunluğunun düşük olmasının daha verimli olacağı uygulamaya alanları göz önüne alındığında, malzeme üretiminde substratın kalıba orta kısımda büyük parça boyutlarıyla ve düzensiz, alt ve üst kısımlarda ise küçük parça boyutlarında ve daha sık yerleştirilmesi ile yüzeylerde miselyumun tam kapatma sağlayabildiği düşük yoğunluklu malzeme elde edilmesi mümkündür.
- Selüloz içerikli kalıp kullanıldığında miselyum, bağlayacağı substratın yanı sıra kalıp üzerinde de gelişmekte ve kalıbı yapıyla birleştirmektedir.
- Oluşturulan malzeme, alev kaynağına belli bir mesafeden maruz bırakıldığında yaklaşık 60 saniye boyunca yalnızca kararma göstermekte; bu süreye ulaşıldığında yüzeyde gözle görülür doku bozulmaları oluşmakta ve akabinde tutuşma başlamaktadır.

Çalışma kapsamında oluşturulan malzemenin üretiminde hammadde olarak *Pleurotus ostreatus* türüne ait miselyum bağlayıcı; buğday sapı ise substrat olarak kullanılmıştır. Geliştirilen miselyum bazı herhangi bir kompozit malzemenin özelliği; üretiminde kullanılan mantar türüne ve o mantar türünün özelliklerine, substrat olarak kullanılan malzemelerin hem fiziksel ve kimyasal özelliklerine hem de bir araya getiriliş şekline, malzeme gelişim sürecinde sağlanan şartlara göre çok büyük değişiklikler gösterebilmektedir [59]. Yalnızca son birkaç yıldır yapılan çalışmalar doğrultusunda miselyum bazlı kompozitlerin vaat ettikleri ve Türkiye’de henüz sanayide bir karşılığının olmaması göz önünde bulundurulduğunda, yerel girdilerle çeşitlendirilerek geliştirilen ve değerlendirilen miselyum bazlı malzemelerin çevresel avantajlarının yanı sıra ülke ekonomisine ve endüstrisine olumlu katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma; Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Ana Bilim Dalında Tez Çalışması kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Yöntem geliştirme konusunda vermiş olduğu destek için Prof. Dr. Gıyasettin KAŞIK’a teşekkür ederiz.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Nuriye Hande KUTBAY:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Performed the experiments, analysed results and wrote the manuscript.

**Hüseyin Güçlü YAVUZCAN:** Sonuçları analiz etmiştir. / Analysed results.

**Sinan AKTAŞ:** Sonuçları analiz etmiştir. / Analysed results.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bayazıt Hayta, A., "Sürdürülebilir tüketim davranışının kazanılmasında tüketici eğitiminin rolü", *Ahi Evran Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 10 (3): 143–151 (2009).
- [2] Zeren, D. and Nakıboğlu, G., "Sürdürülebilir Ürün Tasarımında Tanım ve Yöntemler", *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18 (2): 458–480 (2009).
- [3] Koukios, E. G., "Knowledge-Based Greening as a New Bioeconomy Strategy for Development: Agroecological Utopia or Revolution?", *Law and Agroecology: A Transdisciplinary Dialogue*, 439–494 (2015).
- [4] Kannan, M. B. and Ronan, K., "Conversion of biowastes to biomaterial: An innovative waste management approach", *Waste Management*, 67: 67–72 (2017).
- [5] World Commission on Environment and Development, "Our Common Future (Brundtland Report)", United Nations, (1987).
- [6] Wyk, H. Van, "Biotechnology and the utilization of biowaste as a resource for bioproduct", *Trends In Biotechnology*, 19 (5): 172–177 (2001).
- [7] Lange, L., "The importance of fungi for a more sustainable future on our planet", *Fungal Biology Reviews*, 24 (3–4): 90–92 (2010).
- [8] Jiang, L., Walczyk, D., McIntyre, G., Bucinell, R., and Tudryn, G., "Manufacturing of biocomposite sandwich structures using mycelium-bound cores and preforms", *Journal Of Manufacturing Processes*, 28: 50–59 (2017).
- [9] Song, Y., Youn, J., and Gutowski, T., "Life cycle energy analysis of fiber-reinforced composites", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 40 (8): 1257–1265 (2009).
- [10] Jiang, L., Walczyk, D., McIntyre, G., and Chan, W. K., "Cost modeling and optimization of a manufacturing system for mycelium-based biocomposite parts", *Journal Of Manufacturing Systems*, 41: 8–20 (2016).
- [11] Arifin, Y. H. and Yusuf, Y., "Mycelium fibers as new resource for environmental sustainability", *Procedia Engineering*, 53: 504–508 (2013).
- [12] Holt, G. A., McIntyre, G., Flagg, D., Bayer, E., Wanjura, J. D., and Pelletier, M. G., "Fungal mycelium and cotton plant materials in the manufacture of biodegradable molded packaging material: Evaluation study of select blends of cotton byproducts", *Journal Of Biobased Materials And Bioenergy*, 6 (4): 431–439 (2012).
- [13] Internet: Ecovative, "How It Works", <https://www.ecovatedesign.com/how-it-works> (2017).
- [14] Internet: "Hif ve Miselyum Nedir", <http://www.biyodoc.com/010/hif-ve-miselyum-nedir-arasindaki-farklar.html> (2021).
- [15] Stamets, P., "Mycelium Running: How Mushrooms Can Help Save the World", *Ten Speed Press*, New York, (2005).
- [16] Kavanagh, K., "Mantarlar: Biyoloji ve Uygulamalar", 2. Basım Ed., *Nobel Akademik Yayıncılık*, (2014).
- [17] Vallas, T. and Courard, L., "Using nature in architecture: Building a living house with mycelium and trees", *Frontiers Of Architectural Research*, 6 (3): 318–328 (2017).
- [18] Pelletier, M. G., Holt, G. A., Wanjura, J. D., Bayer, E., and McIntyre, G., "An evaluation study of mycelium based acoustic substrates grown on agricultural by-product substrates", *Industrial Crops And Products*, 51: 480–485 (2013).
- [19] Pelletier, M. G., Holt, G. A., Wanjura, J. D., Lara, A. J., Tapia-Carillo, A., McIntyre, G., and Bayer, E., "An evaluation study of pressure-compressed acoustic absorbers grown on agricultural by-products", *Industrial Crops And Products*, 95: 342–347 (2017).
- [20] Schirp, A., Loge, F., Aust, S., Swaner, P., Turner, G., and Wolcott, M., "Production and characterization of natural fiber-reinforced thermoplastic composites using wheat straw modified with the fungus *Pleurotus ostreatus*", *Journal Of Applied Polymer Science*, 102 (6): 5191–5201 (2006).
- [21] Jones, M., Bhat, T., Huynh, T., Kandare, E., Yuen, R., Wang, C. H., and John, S., "Waste-derived low-cost mycelium composite construction materials with improved fire safety", *Fire And Materials*, 42 (7): 816–825 (2018).
- [22] Elsacker, E., Peeters, E., and De Laet, L., "Mycelium-based materials at the dawn of the Anthropocene", *Structures and Architecture: Bridging the Gap and Crossing Borders*. Lisbon, 1083-1090 (2019).
- [23] Elsacker, E., Vandeloock, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L., and Peeters, E., "A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites", *Science Of The Total Environment*, 725: 138431 (2020).
- [24] Elsacker, E., Søndergaard, A., Van Wylick, A., Peeters, E., and De Laet, L., "Growing living and multifunctional mycelium composites for large-scale formwork applications using robotic abrasive wire-

- cutting", *Construction And Building Materials*, 283: 122732 (2021).
- [25] Zimele, Z., Irbe, I., Grinins, J., Bikovens, O., Verovkins, A., and Bajare, D., "Novel Mycelium-Based Biocomposites ( MBB ) as Building Materials", *Journal Of Renewable Materials*, 8 (9): 1067–1076 (2020).
- [26] Tacer-Caba, Z., Varis, J. J., Lankinen, P., and Mikkonen, K. S., "Comparison of novel fungal mycelia strains and sustainable growth substrates to produce humidity-resistant biocomposites", *Materials And Design*, 192: 108728 (2020).
- [27] Butu, A., Rodino, S., Miu, B., and Butu, M., "Mycelium-based Materials for the Ecodesign of Bioeconomy", *Digest Journal Of Nanomaterials And Biostructures*, 15 (4): 1129–1140 (2020).
- [28] Joshi, K., Meher, M. K., and Poluri, K. M., "Fabrication and Characterization of Bioblocks from Agricultural Waste Using Fungal Mycelium for Renewable and Sustainable Applications", *ACS Applied Bio Materials*, 3: 1884–1892 (2020).
- [29] Dias, P. P., Jayasinghe, L. B., and Waldmann, D., "Investigation of Mycelium-Miscanthus composites as building insulation material", *Results In Materials*, 10: 100189 (2021).
- [30] Manan, S., Ullah, M. W., Ul-Islam, M., Atta, O. M., and Yang, G., "Synthesis and applications of fungal mycelium-based advanced functional materials", *Journal Of Bioresources And Bioproducts*, 6 (1): 1–10 (2021).
- [31] Lelivelt, R. J. J., Lindner, G., Teuffel, P., and Lamers, H., "The production process and compressive strength of Mycelium-based materials", *First International Conference on Bio-based Building Materials*, Clermont-Ferrand, 1-6 (2015).
- [32] Rafiee, K., Kaur, G., and Brar, S. K., "Fungal biocomposites: How process engineering affects composition and properties?", *Bioresource Technology Reports*, 14: 100692 (2021).
- [33] Yang, Z. (Joey), Zhang, F., Still, B., White, M., and Amstislavski, P., "Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam", *Journal Of Materials In Civil Engineering*, 29 (7): 04017030 (2017).
- [34] Attias, N., Danai, O., Ezov, N., Tarazi, E., and Grobman, J. Y., "Developing novel applications of mycelium based bio-composite materials for design and architecture", *Proceedings of Building with Biobased Materials: Best practice and Performance Specification*, 1-10 (2017).
- [35] Tudryn, G. J., Smith, L. C., Freitag, J., Bucinell, R., and Schadler, L. S., "Processing and Morphology Impacts on Mechanical Properties of Fungal Based Biopolymer Composites", *Journal Of Polymers And The Environment*, 26: 1473–1483 (2018).
- [36] Lopes Teixeira, J., Matos, M. P., Lima Nascimento, B., Griza, S., Rodrigues Holanda, F. S., and Marino, R. H., "Production and mechanical evaluation of biodegradable composites by white rot fungi", *Ciência E Agrotecnologia*, 42 (6): 676–684 (2018).
- [37] Appels, F. V. W., Dijksterhuis, J., Lukasiwicz, C. E., Jansen, K. M. B., Wösten, H. A. B., and Krijgsheld, P., "Hydrophobin gene deletion and environmental growth conditions impact mechanical properties of mycelium by affecting the density of the material", *Scientific Reports*, 8: 1–7 (2018).
- [38] Appels, F. V. W. and Wosten, H., "Mycelium Materials", *Encyclopedia of Mycology, Elsevier*, 710–718 (2021).
- [39] Jones, M., Huynh, T., Dekiwadia, C., Daver, F., and John, S., "Mycelium Composites: A Review of Engineering Characteristics and Growth Kinetics", *Journal Of Bionanoscience*, 11 (4): 241–257 (2017).
- [40] Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., and Wösten, H. A. B., "Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites", *Materials & Design*, 161: 64–71 (2019).
- [41] Wimmers, G., Klick, J., Tackaberry, L., Zwiesigk, C., Egger, K., and Massicotte, H., "Fundamental Studies for Designing Insulation Panels from Wood Shavings and Filamentous Fungi", *BioResources*, 14 (3): 5506–5520 (2019).
- [42] Kurt, Ş., "Değişik Tarımsal Artıkların Kayın Mantarı (Pleurotus ostreatus, Pleurotus sajor-caju) Yetiştiriciliğinde Kullanım Olanakları", *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2008).
- [43] Shah, Z. A., Ashraf, M., and Ishtiaq Ch, M., "No Title Comparative Study on Cultivation and Yield Performance of Oyster Mushroom (Pleurotus ostreatus) on Different Substrates (Wheat Straw, Leaves, Saw Dust)", *Pakistan Journal Of Nutrition*, 3 (3): 158–160 (2004).
- [44] Moyson, E. and Verachtert, H., "Growth of higher fungi on wheat straw and their impact on the digestibility of the substrate", *Applied Microbiology And Biotechnology*, 36 (3): 421–424 (1991).
- [45] Philippousis, A., Diamantopoulou, P., Zervakis, G., and Ioannidou, S., "Potential for the cultivation of exotic mushroom species by exploitation of Mediterranean agricultural wastes.", *Science and Cultivation of Edible Fungi. Proceedings of the 15th International Congress on the Science and Cultivation of Edible Fungi*, Maastricht, Netherlands, 523–530 (2000).
- [46] Zervakis, G., Philippousis, A., Ioannidou, S., and Diamantopoulou, P., "Mycelium growth kinetics and optimal temperature conditions for the cultivation of edible mushroom species on lignocellulosic substrates", *Folia Microbiologica*, 46 (3): 231–234 (2001).
- [47] Singh, M. P., "Biodegradation of lignocellulosic wastes through cultivation of Pleurotus sajor-caju", *Science and Cultivation of Edible Fungi. Proceedings of the 15th International Congress on the Science and Cultivation of Edible Fungi*, Maastricht, Netherlands, 517–521 (2000).
- [48] Singh, A. and Sharma, S., "Composting of a crop residue through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting", *Bioresource Technology*, 85 (2): 107–111 (2002).
- [49] Tsang, L. J., Reid, I. D., and Coxworth, E. C., "Delignification of Wheat Straw by Pleurotus spp. under Mushroom-Growing Conditions.", *Applied And*

- Environmental Microbiology*, 53 (6): 1304–6 (1987).
- [50] Zhen, F., Yang, R., and Liu, R., "Effects of Different C:N Ratios in Compost on Nutrient Transformation and on Yield and Quality of *Agaricus bisporus*", *Horticultural Abstracts*, 67 (6): 5080 (1995).
- [51] Philippoussis, A., Zervakis, G., and Diamantopoulou, P., "Bioconversion of agricultural lignocellulosic wastes through the cultivation of the edible mushrooms *Agrocybe aegerita*, *Volvariella volvacea* and *Pleurotus* spp.", *World Journal Of Microbiology And Biotechnology*, 17 (2): 191–200 (2001).
- [52] Adamović, M., Grubić, G., Milenković, I., Jovanović, R., Protić, R., Sretenović, L., and Stoićević, L., "The biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus* mushrooms and its use in cattle feeding", *Animal Feed Science And Technology*, 71 (3–4): 357–362 (1998).
- [53] Azizi, A., Fazaeli, H., and Jelani, Z. A. ., "The Effect of Growing *Pleurotus* Fungi on the Chemical Composition and in Vitro Digestibility of Wheat Straw", *Proceedings of 99 International Conference on Agricultural Engineering*, Beijing (1999).
- [54] Gaitán-Hernández, R., Esqueda, M., Gutiérrez, A., Sánchez, A., Beltrán-García, M., and Mata, G., "Bioconversion of agrowastes by *Lentinula edodes*: The high potential of viticulture residues", *Applied Microbiology And Biotechnology*, 71 (4): 432–439 (2006).
- [55] Jones, D., Hale, M., and Omed, H., "Cultivation of Oyster Mushrooms (*Pleurotus* species) to Improve the in Vitro Dry Matter Digestibility of Wheat Straw for Feeding to Ruminants", *Proceedings of the British Society of Animal Science*, 174 (2006).
- [56] Kakkar, V. and Dhanda, S., "Comparative evaluation of wheat and paddy straws for mushroom production and feeding residual straws to ruminants", *Bioresource Technology*, 66 (2): 175–177 (1999).
- [57] Kutlu, H., Özcan, N., Büyükalaca, S., Baykal, L., Görgülü, M., and Öztürkcan, O., "Buğday Samanının Yem değerinin Arttırılmasında Biyoteknolojik Yöntemlerin Kullanılma Olanakları", (1996).
- [58] Manukovsky, N., Kovalev, V., and Gribovskaya, I., "Utilization of Substrate When Growing Oyster Mushroom *Pleurotus florida* Fovose", *Horticultural Abstracts*, 69 (8): 7038 (1999).
- [59] Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., Savino, E., Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., and Savino, E., "Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review", *Sustainability*, 11 (1): 281 (2019).
- [60] Iordache, O., Perdum, E., Mitran, E. C., Chivu, A., Dumitrescu, I., Ferdeş, M., and Săndulache, I.-M., "Novel Myco-Copposite Material Obtained with *Fusarium Oxysporum*", *ICAMS 2018-7 th International Conference on Advanced Materials and Systems*, 111-116 (2018).
- [61] Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., and Grobman, Y. J., "Mycelium biocomposites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis", *Journal Of Cleaner Production*, 246: 119037 (2020).
- [62] Elsacker, E., Vandeloock, S., Brancart, J., Peeters, E., and De Laet, L., "Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates", *PLoS ONE*, 14 (7): (2019).
- [63] Islam, M. R., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L., and Picu, R. C., "Mechanical behavior of mycelium-based particulate composites", *Journal Of Materials Science*, 53: 16371–16382 (2018).
- [64] Jones, M., Bhat, T., Wang, C. H., Moinuddin, K., and John, S., "Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites", *Proceedings of the 21st International Conference on Composite Materials*, Xi'an (2017).
- [65] Lokko, M. J., Rowell, M., Dyson, A., and Rempel, A., "Development of Affordable Building Materials Using Agricultural Waste By-Products and Emerging Pith, Soy and Mycelium Biobinders", *32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture Proceedings*, Los Angeles, 881-887 (2016).
- [66] Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., and John, S., "Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review", *Materials And Design*, 187: 108397 (2020).