



Bu makaleye şu şekilde atıf yapılır: Bıyık, H.H. & Özgür, A. (2024). Bazı Mantar Miselyumlarından Yalıtım Malzemesi Üretimi Üzerine Bir Araştırma, *Mantar Dergisi*, 15(Özel sayı)73-82.

Geliş(Received) :14.10.2024

Kabul(Accepted) :28.11.2024

Araştırma Makalesi


Doi: 10.30708/mantar.1566720

Bazı Mantar Miselyumlarından Yalıtım Malzemesi Üretimi Üzerine Bir Araştırma

Hacı Halil BIYIK^{1*}, Aykan ÖZGÜR²

*Sorumlu yazar: hhalilb@gmail.com

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Aydın, Türkiye/
hhalilb@gmail.com 

²Çine Devlet Hastanesi, Çine, Aydın, Türkiye/ aykanozgur@yahoo.com 

Öz: Çalışmada, miselyum bazlı, çevre dostu yalıtım malzemelerinin üretilebilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Materyal olarak Aydın ilinden toplanan *Ganoderma resinaceum* (Cilalı reyşi), *Schizophyllum commune* (Kıruk) ve Agroma Mantar Şirketinden temin edilen *Pleurotus ostreatus* (İstiridy mantarı) hazır miselleri kullanılmıştır. Deney örneklerinin üretimine uygun kalıplar 3D yazıcı ile hazırlanmış ve mantar üretim çadırı ve iklimlendirme otomasyon sisteminde denemeler gerçekleştirilmiştir. Buğday sapı, mısır ve pamuk sapı gibi tarımsal artıklar miselyum gelişimi için substrat olarak incelenmiştir. Tarımsal artıklar miselyum ile aşılansmış ve 27 °C'de % 60-80 nemde 14 gün inkübasyondan sonra kalıplama yapılmış ve inkübasyona 7 gün daha devam edilmiştir. Kalıptan çıkarılan örnekler 70 °C'de Pasteur fırınında 8 saat kurutulmuştur. Materyal üretildikten sonra, basma, çekme, eğme, ısı iletkenlik testleri ve FTIR analizi yapılmıştır. Denemeler sonunda substrat olarak buğday sapının, 27 °C sıcaklık ve % 60-80 nemde optimum olarak uygunluğu belirlendi. En iyi inokulum miktarını belirlemek için miselyum, malt ekstrakt agar içeren petri kabında geliştirildikten sonra, buğday sapı içeren kompost ortamına ½ ve ¼ gibi çeşitli oranlarda miselyumla aşılandı. Üç tip mantar ve üç farklı substrat kullanılarak miselyal büyüme gözlemlendi. En iyi mantarın *Ganoderma resinaceum*, en iyi substratın ise buğday sapı olduğu belirlendi.

Anahtar kelimeler: Kompozit materyal, Mantar, Misel malzeme, Misel yalıtım

A Research on the Production of Insulation Materials from some Fungi Mycelia

Abstract: It was aimed to investigate the manufacturability of mycelium-based, environmentally friendly insulation materials. *Ganoderma resinaceum* (Cilalı reyşi), *Schizophyllum commune* (Kıruk) collected from Aydın Province and *Pleurotus ostreatus* (İstiridy mantarı) ready-made mycels obtained from Agroma Mantar company were used as materials. Molds suitable to produce test samples were prepared with a 3D printer and trials were carried out in the mushroom production tent and air conditioning automation system. Agricultural residues such as wheat straw, corn stalk and cotton straw were studied as a substrate for mycelium growth. Agricultural residues were inoculated with mycelium and after 14 days of incubation at 27 °C in 60-80% humidity, molding was done and incubation was continued for another 7 days. The samples removed from the mold were dried in a Pasteur oven at 70 °C for 8 hours. The material was produced, compression, tensile, bending, thermal conductivity tests and FTIR analysis were



performed. At the end of the trials, wheat straw as substrate, temperature 27 °C humidity 60-80% were determined as optimum. In order to determine the best inoculum amount, mycelium was inoculated into compost medium containing wheat straw in various ratios such as ½ and ¼ of the petri dish after the mycelium was developed in a petri dish containing malt extract agar. Mycelial growth was observed using three types of fungi and three different substrates. It was determined that the best fungus was *Ganoderma resinaceum* and the best substrate was wheat straw.

Keywords: Composite material, Mushroom, Mycelium material, Mycelial insulation

Giriş

Fiberglas ve polistiren gibi geleneksel yalıtım malzemeleri ulaşılabilirliğinin kolay ve fiyatlarının uygun olması açısından inşaat sektöründe önemli bir yeri vardır. Fakat bu malzemeler yenilenemeyen kaynaklara bağımlılık ve atık birikimine katkıda bulunma gibi önemli çevresel dezavantajlara sahiptir. Buna karşılık, miselyum bazlı malzemeler, döngüsel ekonominin ilkeleriyle uyumlu, umut verici bir alternatif olarak son araştırmalarda önemli ilgi görmeye başlamıştır. Bu malzemeler yalnızca biyolojik olarak parçalanabilir değildir, aynı zamanda tarımsal atıkların kullanarak çevre dostu ürünlere dönüşürler. Miselyum bazlı kompozitler üzerindeki güncel araştırmalar, yalıtım dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda sahada uygulanabilirliğini sağlamak için büyüme koşullarını ve malzeme özelliklerini optimize etmeye odaklanmıştır. Araştırmalar, miselyumun saman, talaş ve diğer organik kalıntılar gibi substratlarda yetiştirildiğinde güçlü, hafif ve termal olarak verimli kompozitler oluşturma potansiyelini göstermiştir. Bununla birlikte, farklı fungus türleri ile çeşitli tarımsal substratlar arasındaki belirli etkileşimleri ve bunlardan ortaya çıkan kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkileri günümüzde aktif araştırma alanlarıdır. Kelime anlamı olarak çoklu yapı anlamına gelen polimerler günlük hayatımızın pek çok alanında karşımıza çıkmaktadır. Mutfak gereçleri, ambalaj sektörü ve elektronik ürünler ilk akla gelen örneklerdendir. Polimerler endüstriyel olarak petrol esaslı karbon ve hidrojenin bağlanmasıyla üretilebildiği gibi canlılar tarafından da üretilebilirler (Akdoğan, 2019). Mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar tarafından üretilen polimer biyopolimer olarak adlandırılmaktadır (US COTA, 1993). Örümcek ağı ve mantarların miselyum yapıları biyopolimerlere örneklerdir. Biyopolimerler yardımıyla doğal lifler ve yenilenebilir malzemeler kullanılarak üretilmiş ürünler çevreci kompozitler, misel tabanlı üretilen malzemelerde birer yeşil kompozittir (Dicker, 2014).

Hif yapısal olarak kitin, glukanlar, mannoproteinler ile hidrofobinler gibi protein içeriklidir. Miselyum genel olarak doğal polimerler olarak nitelendirilen kitin, selüloz, proteinlerden oluşan lifli bir yapıdır (Bartnicki-Garcia, 1968; Haneef vd., 2017). Toprak altındaki mantara ait hif yapılarının bir araya gelmesiyle oluşan miselyum ağı, uygun çevresel koşullar

altında toprak üstünde meyve yapısını oluşturur. Miselyum toprak altında çok yoğun bir halde bulunabilir. Bu yoğunluk 1 gram toprakta 600km hif ağına kadar erişebilir (Ekblad vd., 2013). Miselyumun gelişimi ve büyümesi kullandığı besin, su ve çevresel koşullara göre değişiklik gösterebilmektedir (Webster vd., 2007).

Mantar tabanlı malzemelerin üretiminde tarımsal artıklar ve mantarın misel yapısı kullanılmaktadır. Misel yapısı tarımsal artıklardan oluşan substratı bir ağ gibi sararak yapıstırıcı etkisi yapar ve substratı kaplar (Abhijith vd., 2018). Miselyum ağının dayanıklılığı malzemeyi etkileyecektir. Hif yapılarındaki ince zayıf dalların fiziksel etkilerle kırılması ana dallanma üzerinde daha fazla büyümeleri güçlenmeleri yönünde etki yapmaktadır. Bu güçlenme miselyum ağının daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır (Gross, 2009). Misel tabanlı malzemelerin en önemli özellikleri, yenilenebilir olmasıdır ve aynı zamanda çeşitli plastiklerin yerini alabilecek bir potansiyele sahip olmasıdır. Misel tabanlı bir materyal, kenevir lifi veya bir mantarın miseli gibi dolgu maddesi ve doğal katkılardan oluşan bir bileşiktir. Misel, birlikte büyüyen ve katı bir maddeye karışan hif adı verilen yoğun bir ince yumak ağıdır. Misel, doğal substratı, genişletilmiş polistirene benzer, hafif bir malzemeye bağlayan üç boyutlu bir matris görevi görür. Misel, substratı bir ağ gibi sararak çimento etkisi yaparak kaplar. Sonucunda oluşan yapıdan ambalaj ürünleri, tuğla ve benzeri ürünler elde edilebilir (Girometta vd., 2019; Lelivelt, 2015).

Misel tabanlı materyaller yenilenebilir özelliklerinden dolayı ilgi odağı olmaktadır. Örneğin beyaz çürükçül funguslar, karmaşık bir enzimatik işlem ile bitkilerin yapısal polisakkaritleri gibi yüksek derecede kararlı molekülleri sindirme yeteneğine sahiptir. Bu işlem doğal ekosistemlerde önemli bir rol oynar ve günümüzde çeşitli tarım ve gıda uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, funguslar bitkilerin lignin ve selüloz liflerini bağlama ve sindirme yeteneği yanında, fungusun yaşadığı doğal ortamlarda, az da olsa bir biyokompozit oluşturan doğal bir ağ yapısı sağlayabilir, bitki substrat parçalarını sentetik yapışkan kullanmadan bir arada tutar. Sonuçta ortaya çıkan malzeme, piyasadaki sentetik ürünlerin alternatifi olarak kullanılabilir (Xing vd., 2018). Misel tabanlı materyaller, orta yoğunluklu sunta ve bazı tel levhalara oranla daha hafiftirler (Appels vd., 2019). Petrol ve doğal gazdan türetilmiş sentetik polimer

ve işlenmiş ahşaplara oranla daha az yanıcıdır (Bhat vd., 2018). Geleneksel yapı malzemelerine göre daha güvenlidir (Jones vd., 2018). Binaların içlerini mevsimsel koşullara bağlı olarak kışın sıcak yazın serin tutmaya çalışıyoruz. Türk Mühendis ve Mimarlar Odası Birliği, Ankara Makine Mühendisleri Odası, [URL_1], (2023) internet sayfası verilerine göre, Avrupa standartlarında, ısı iletkenlik katsayısı 0,065 W/(m.K)'nin altında olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak adlandırılmakta iken üstünde olan malzemeler ise yapı malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Isı yalıtımında EPS (expanded polistiren), XPS (ekstrüde polistiren), taş yünü, cam yünü, yalıtım sıvası gibi malzemeler kullanılmaktadır. Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları birbirlerinden farklıdır. EPS köpüğün ısı iletim katsayısı 0,035-0,040 W/(m.K), XPS köpüğün ısı iletim katsayısı 0,030-0,035-0,040 W/(m.K), cam yünü ve taş yününün ısı iletim katsayıları 0,035-0,040-0,045-0,050 W/(m.K), ısı yalıtım sıvasının ısı iletim katsayısı ise 0,055-0,070-0,080-0,100 W/(m.K) olduğu bilinmektedir (URL_1, 2023).

Araştırma konusu ile yapılan literatür bilgilerinde; Attias vd. (2019) çalışmalarında üzüm bağı ve elma ağacı budama artıklarını substrat olarak kullanarak, substrat değişiminin malzeme üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Batu vd. (2020) yaptıkları araştırma neticesinde miselyum bazlı kompozit malzemelerin petrol tabanlı ve plastik ürünlerin kullanımını azaltma hatta yerlerini alma potansiyeli taşıdıklarını sonucu varmışlardır. Colmo ve Ayres (2020) 3 boyutlu baskı tekniği kullanarak oluşturduğu yapılar ile mimaride kullanılabilecek biyohibrit sistemlerin oluşturulabileceği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Tacer-Caba vd. (2020) *Trichoderma asperellum* ve *Agaricus bisporus* misellerini kullanarak ürettikleri malzemelerin nem değişkenine bağlı sertliklerini kıyaslamışlardır. Ghazvinian (2021) miselyum malzemelerin farklı geometri ve yapısal formlar kullanarak mimarlıkta kullanılabileceğini belirtmiştir. Kurkmaz (2021) lignoselüloz atıklar ile miselyumu birleştirerek yaptığı çalışmada elde edilen basınç direnci değerlerinin polistiren köpük ile benzer olduğunu ve rijit köpük malzeme karakterinde olduğunu ortaya koymuştur. Raffie vd. (2021) çalışmalarında bir biyokompozit olan miselyum malzemelerin petrol bazlı malzemelere çevreci bir alternatif olabileceğini belirtmişlerdir. Scott vd. (2021) bir araştırmalarında, çeşitli örme kumaşlar iskelet olarak kullanılarak, kumaşlara miselyum eklenmesi sonucu yeni çevreci ürün oluşturmaya çalışılmıştır. Wylick vd. (2022) *Ganoderma resinaceum* ile miselyum malzemelerin topraktaki parçalanabilirliğini test etmişler ve miselyum malzemelerin toprakta biyolojik olarak parçalandığını ortaya koymuşlardır. Elsacker vd. (2022) robotik baskı kullanarak miselyum malzemelerin oluşturulabilirliği

üzerine yaptıkları çalışmada miselyumun biyomalzemelerde çatlak azaltıcı etki yapabileceğini söylemişlerdir. Elsacker vd. (2022) nanokil ve miselyum malzemeleri bir araya getirerek yaptıkları çalışmada nanokilin miselyum gelişimini %29 kadar yavaşlattığını ve nanokil varlığında miselyumun selülozu daha zor parçaladığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda bu yavaşlamanın kompostu kontaminasyona daha açık hale getirdiğini belirtmişlerdir. Fairus vd. (2022) miselyum kompozitlerin üretiminde en fazla beyaz çürükçül mantarların kullanıldığını belirtmişlerdir. Miselyum kompozitlerin endüstriler için yeni bir fırsat olduğunu ve ilerleyen yıllarda sürdürülebilir yeni malzemeler üretilebileceğini söylemişlerdir. Nashiruddin vd. (2022) *P. ostreatus* ve pirinç kabuğu kullanarak yaptıkları biyo malzemenin petrol bazlı polimerik malzemelere alternatif olabileceğini söylemişlerdir. Adamatzky ve Gandia (2022) *Ganoderma resinaceum* kullanarak hazırladıkları malzemeye elektriksel aktiviteleri algılayacak proplar yardımıyla düzenek kurarak malzemenin üzerine konan ağırlığa verdiği tepkiyi ölçmüşlerdir. Ozkan vd. (2022) *P. ostreatus* ve *G. resinaceum* ile değişik çevresel parametreler kullanarak araştırma yapmışlardır. Parametrik yaklaşım ile üretim sağlanabileceğini, kesme, kalıplama veya genetik manipülasyondan bağımsız çevresel parametrelerde oynama yapılarak mantarın meyve yapısında değişiklik yapılabildiğini bu sebeple parametrik yaklaşımın malzeme imalatında da kullanılabileceğini söylemişlerdir. Ghazvinian ve Gürsoy (2022) miselyum malzemelerin, hafif ve biyolojik olarak parçalanabilme özelliklerinden dolayı çeşitli endüstrilerin sebep olduğu çevresel sorunları azaltmak için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Son yıllarda, çevresel sürdürülebilirlik konusundaki artan endişe, inşaat ve yalıtım için alternatif malzemelerin araştırılmasını yönlendirmiştir. Geleneksel yalıtım malzemeleri etkili olsa da, genellikle yenilenemeyen kaynaklara dayanır ve çevresel bozulmaya katkıda bulunur. Buna karşılık, miselyum bazlı malzemeler umut verici, çevre dostu bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu malzemeler, çeşitli tarımsal artıklar üzerinde yetiştirilebilen ve sürdürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir bir kompozit oluşturan miselyum olarak bilinen mantarların vejetatif kısmından türetilmiştir. Bu çalışma, üç mantar türü kullanılarak miselyum bazlı yalıtım malzemelerinin potansiyelini araştırmaktadır: *Ganoderma sp.*, *Schizophyllum commune* ve *Pleurotus ostreatus*. Buğday samanı, mısır sapı ve pamuk samanı gibi tarımsal artıklar, miselyal büyümeyi desteklemek için substrat olarak kullanılmıştır. 3D yazdırılmış kalıplar, kontrollü inkübasyon ortamları ve kapsamlı malzeme testlerini içeren bir dizi deney yoluyla, bu araştırma hem etkili hem de çevresel olarak sürdürülebilir miselyum bazlı

yalıtım malzemeleri üretmek için optimum koşulları belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmanın sonuçları sadece yeşil yapı malzemeleri alanına katkı sağlamakla kalmayıp aynı zamanda tarımsal atıkların malzeme biliminde değerli bir kaynak olma potansiyelini de vurgulamaktadır.

Materyal ve Metot

Materyal olarak Aydın ilinden toplanan *Ganoderma* sp, *Schizophyllum commune* ve Agroma Mantar Şirketinden temin edilen *Pleurotus ostreatus*'un hazır miselleri kullanılmıştır. Test örneklerinin üretiminde kullanılan *Ganoderma*, Aydın İli, Yenipazar İlçesi, Hamzabali Mahallesi'nden 37°48'13"N, 28°7'28"E coğrafi koordinatlarından Eylül 2021'de toplanılmıştır. *Schizophyllum commune* Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Aytepe kampüsü Fen Fakültesi otoparkı, 37,8546723, 27,8539691 coğrafi koordinatlarından Nisan 2022'de toplanmıştır *Pleurotus ostreatus*, Denizli Agroma Mantar şirketinden buğdaya sarılı halde temin edilmiştir.

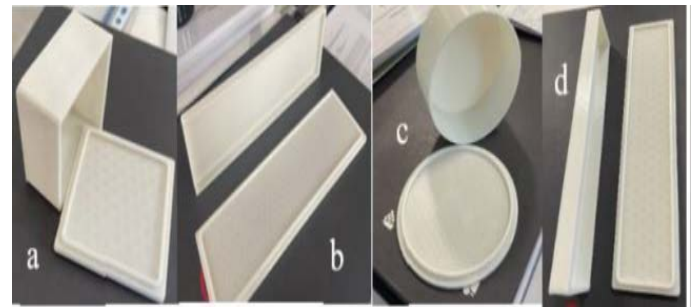
Misel üretimi: Test örneklerinin üretiminde substrat olarak odun talaşı, kenevir lifi ve buğday samanı kullanılmıştır. Kenevir lifini küçük parçalara ayırmakta ve kalıplamak zor olduğu için kenevir lifinin kullanılarak, malzeme üretiminden vazgeçilmiştir. Buğday sapı küçük parçalara daha kolay parçalanabildiği ve numunelerin üretiminde kalıpta daha homojen olarak dağılabildiği için malzemenin substratı olarak belirlenmiştir.

Her bir fungus türünün misel gelişimleri tespit edilmiştir, bu amaçla funguslardan, spawn elde etmek için araştırmanın başında substrat olarak steril buğday ve arpa taneleri kullanılmış sonrasında buğday ile çalışmalara devam edilmiştir. Steril bir litrelik cam kavanozların her birine 200 g buğday tanesi, 1 g alçı tozu ve 200 ml distile su konularak bir gece oda sıcaklığında bekletilmiştir. Alçı tozu buğday tanelerinin birbirine yapışmasını önlemek amacıyla ilave edilmiştir. Hazırlanan bu besi ortamının, 24 saat sonra, kavanoz kapakları ortasından delinecek ve bu kısımlara pamuk konularak 121°C'de bir saat JP Selecta marka otoklavda steril edilmiştir. Kavanozda steril edilen besi ortamı içine, önceden iki hafta süre ile MEA besi ortamı üzerinde geliştirilen *P. ostreatus*'un misel parçalarından 2-3 öze ilave edilerek aşılama yapılmıştır. 16 gün boyunca 25 °C sıcaklık % 60-80 nemli ortamda inkübasyona bırakılmış, kavanozlar dört gün ara ile misel büyümesinin homojen bir şekilde olması ve buğday tanelerini tamamen sarması için elle çalkanmıştır (Stamests 2000; Holkar ve Chandra, 2016). Misel gelişiminde kullanılan bu besi ortamı araştırmada kullanılacak mantarların her biri için değişik parametrelerde uygulanmıştır. Materyal olarak

kullanılacak mantarların misel verimlere bakılarak en uygun mantar türü seçilmiştir.

İnokulasyon ve İnokulasyon besi ortamı: Aşı olarak kullanacağımız miselleri ürettikten sonra, misel gelişimi için öncelikle polikarbonat bitki doku kültürü şişeleri denenmiş pratik bir kullanım olmadığı için cam şişelerde denemelere devam edilmiştir. Şişelerin içine buğday samanı 3-4 cm uzunluğa kesilmiş (kalıplamada zorlanması ve homojen numune elde edilebilmesi için laboratuvar tipi Waring marka blendır 0,5 cm ile 1 cm arasındaki boyutlara parçalanmıştır) ve her bir şişeye 40 ml su eklenmiş olarak şişe başına 20 g olarak dağıtılmıştır. (Başlangıçta 50 g buğday sapı, 6,3 g toz alçı, 50 ml distile H₂O kullanılmış nemliliğin yetersiz olduğu anlaşıldığı için 50 g buğday sapı, 6,3 g toz alçı, 100 ml distile H₂O ile devam edilmiştir. Kompost 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir) Şişeler 121 °C'de 60 dk otoklavlandıktan sonra oda ısısına kadar soğutulmuştur. Şişenin içine 6-8 tane misel sarılı buğday tanesi aşılanmıştır. (90mm boyutundaki petrielerde üretilmiş mantar misellerinin ¼ ü alınarak komposta aşılama yapılmıştır. Kültürler, 28 °C sıcaklık, % 60-80 nemli ortamda 2 hafta boyunca inkübe edilmiş, şişe kapakları hava girişine izin vermek için hafif açık bırakılmıştır. İki hafta sonrasında daha önceden hazırlanmış ve % 70 alkol ile silinmiş olan kalıplara aktarılmıştır. Sekiz hafta sonunda oluşan saman blokları kalıplardan çıkarılarak ve 70 °C fırında birkaç saat kurutulmuştur (Xing vd., 2018).

Yapılacak testlere uygun kalıpların basımı: Testleri yapılacak olan örneklerin hazırlanmasında kullanılacak kalıpların 2023 versiyona sahip Autodesk Inventor programında çizimleri yapılmış ve markası Ender Pro versiyonu 2 olan 3 boyutlu yazıcıda basımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Test numunesi kalıpları (a) Basma testi kalıbı, (b) Eğilme testi numune kalıbı, (c) Isıl iletkenlik katsayısı testi numune kalıbı, (d) Çekme testi numune kalıbı

Malzeme testleri örneklere FT-IR analizi, üç nokta eğme testi, basma testi, çekme testi ve ısıl iletkenlik katsayısı testleri yapılmıştır.

Kalıplama ve kalıptan çıkarma: Buğday artıklarına bir miktar sardırıldıktan sonra şişe içerisinden

el ile kalıplara aktarılır. Kalıba aktarılan misel içerikli kompost, kalıpta boş yer kalmayacak şekilde üzerinden hafifçe bastırılarak kalıba dağıtılır (Şekil 2). Birkaç haftalık inkübasyon sonunda kalıplama tamamlanır (Şekil 3).



Şekil 2. Malzeme kalıplama



Şekil 3. Kalıplaması tamamlanmış malzeme

Kurutma ve teste hazır numuneler: Kalıptan çıkarılan numuneler pauster fırınında 70°C sıcaklıkta 8 saat kurutulmuştur (Şekil 4). Kurutma sonrasında numuneler testlere hazır hale gelmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. Kurutma işlemi



Şekil 5. Kurutulmuş teste hazır numuneler

FT-IR (fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi) analizi: Numunelerin FTIR analizleri için Bruker marka Vertex 70 model cihaz kullanılmıştır. Kullanılan dalga boyu 400-4000 cm⁻¹ aralığındadır.

Üç nokta eğme testi: Eğilme testleri ASTM D 1037-12 standartlarında yapılmıştır. Bu standart, numunelerimizi diğer yapı malzemeleriyle kıyaslamamızı sağlamıştır. ASTM D 1037-12 Ahşap esaslı elyaf ve parçacık panel malzemelerin temel özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Üç nokta eğme testi için numune boyutları milimetre cinsinden 200x50x6 olarak belirlenmiştir.

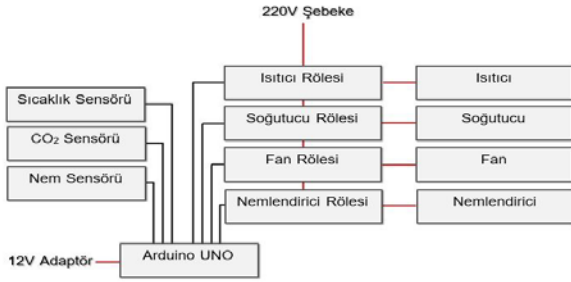
Basma testi: Avrupa Standartlarına uygun BS EN 826 standartlarında yapılmıştır. Bu test numunelerin sıkıştırma davranışını belirlemesinin yanında ısı yalıtım ürünlerine uygulanabilecek kısa süreli yük ile basınç gerilmeleri hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadır. Basma testleri için numune boyutları 50x50 mm genişliğinde 25 mm yüksekliğinde hazırlanmıştır. Shimadzu AGS-X 100 kN üniversal çekme-basma test cihazı kullanılarak numuneler test edilmiştir. Çekme testleri ASTM D 1037-12 standartlarında yapılmıştır. Bu standart, numunelerimizi diğer yapı malzemeleriyle kıyaslamamızı sağlamıştır. ASTM D 1037-12 Ahşap esaslı elyaf ve parçacık panel malzemelerin temel özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir.

Çekme testi: 170 mm ye 30 mm ölçülerinde numuneler hazırlanmıştır.

Isıl iletkenlik testi: Örnek boyutları 100 mm çapında 40 mm yüksekliğinde hazırlanmıştır. Isıl iletkenlik testi için Deneysan HT-350 termal iletkenlik test cihazı kullanılmıştır.

Mantar üretim çadırı ve arduino sistem: Test numunelerin üretilmesi için 300x300x200 cm boyutlarında Secret Jardin marka Hydro Shoot (HS300) model bitki yetiştirme çadırı kullanılmıştır. Çadırın içerisine kompostların yerleştirilmesi için Leva House

marka plastik raflar koyulmuştur. Çadırın otomatik olarak nem, sıcaklık ve CO₂ takibini yapan sistemin genel şeması aşağıdaki gibidir (Şekil 6).



Şekil 6. Çadır içi iklimlendirme otomasyon sistemi şeması

Havalandırma sistemi: Havalandırma amacıyla iki ayrı Soler Palau marka sessiz fanlar kullanılmıştır. Fanlardan biri çadır içerisine temiz hava gönderirken diğeri kirli havayı çadır içinden uzaklaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Arduino sisteme bağlı düzenek CO₂ takibini otomatik olarak yapmakta ve CO₂ seviyesi ppm cinsinden belirlenen oranın üzerine çıktığında fanları aktif hale getirmektedir. CO₂ oranı istenilen seviyeye geldiğinde fanlar durmaktadır. Çadır içi ısı dengesinin sağlanması için The Pure Factory marka elektrikli ısıtıcı sisteme dahil edilmiş ve çalışması arduino sistem ile kontrol edilmiştir. Çadır içi nemin sağlanması için, ultrasonik hava nemlendirici buhar makinesi (Sinbo) modifiye edilerek sisteme dahil edilmiş ve çalışması arduino sistem ile kontrol edilmiştir. Çadır altı zemin izolasyonu amacıyla şilte ile 8 mm laminant parke döşenmiş, çadır bu parke üzerine yerleştirilmiştir.

Bulgular

Spawn üretimi amacıyla *G. lucidum* DNZ19 (Reyşi), *G. resinaceum* (Cilalı reyşi), *B. cinerae* (Kurşuni küf), *Trichoderma* sp. (Yeşil küf), *S. commune* (Kıymuk), *P. ostreatus* (İstiridyeye mantarı) gibi çeşitli funguslar denenmiş fakat test numunesi üretim denemeleri için *Ganoderma resinaceum*, *S. commune*, *P. ostreatus* tercih edilmiştir. *S. commune* ve *P. ostreatus* ile verimli bir şekilde test numunesi elde edilememiştir. Bu sebeple numunelerin *Ganoderma resinaceum* ile üretimi sağlanmıştır (Sesli ve ark., 2020). Aydın ili Yenipazar İlçesi Hamzabali Mahallesi'nden toplanılan mantar örneğinin morfolojik tanılmasında Alılı ve arkadaşlarının 2007 yılındaki çalışmalarındaki tayin anahtarından yararlanılmıştır. Tayin sonucunda mantarımızın *Ganoderma resinaceum* olduğu tespit edilmiştir.

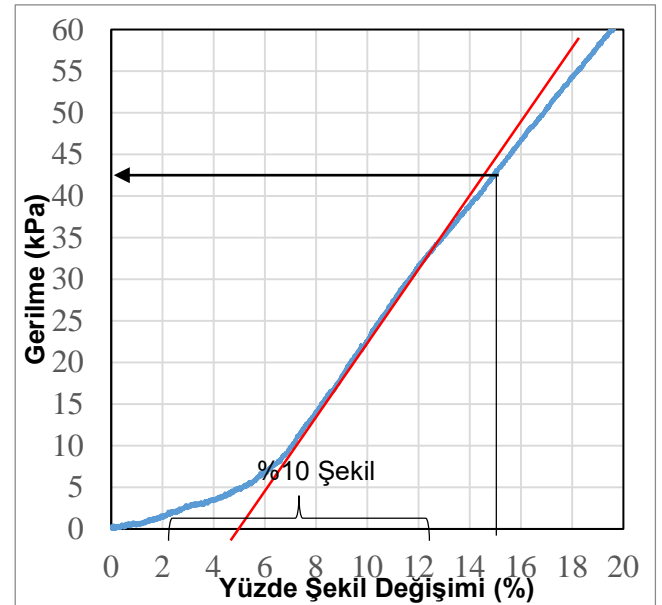
Spawn üretimi: Buğday taneleri kullanılarak hazırlanan spawn üretimine ait 1. gün, 3.gün, 6.gün, 10 gün fotoğrafları aşağıdaki gibidir Buğday sapı üzerinde miselyum üretimi 0,5 cm ile 1 cm arasında boyutlarda

küçültülen buğday saplarına 90 mm büyüklüğündeki petrilere 1/4'ü kesilerek yapılan miselyum ekimi ile tarım artıklarına miselyum sardırılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. (a), (b), (c), Spawn üretimi 10 gün.

Basma testi: BS EN 826 standardına göre yapılmış olan basma testlerinde, %10 şekil değişimine göre gerilme değerleri basma dayanım değerleri olarak kabul edilmiştir. Test öncesi 250 Pa ön yükleme yapılmıştır. Basma hızı 0,1 x d (d=25 mm yüksekliğe göre) 2,5 mm/min hızda yapılmıştır. %1, %2, %5 ve %10 şekil değişimindeki gerilme değerleri not edilmiştir. Basma dayanımı sonucu %10'luk şekil değişiminde 42,5 kPa olarak tespit edilmiştir. Elastisite modülü (kPa) 432,471 olarak tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Basma testi grafiği

Çekme testi: Çekme testinde kullanılacak olan numuneler test sayısını arttırmak amacıyla ortandan iki eşit parçaya kesilip 4 numune elde edilerek teste tabi tutulmuşlardır. Çekme testleri ISO 1926 standardına göre yapılmıştır. Çekme hızı olarak 5 mm/dk ayarlanmıştır. Numunelerden, gerilme değerleri az çıkan 2 tanesi yaklaşık 57 kPa çekme dayanımına, yaklaşık 3100 kPa elastisite modülü değerine ve yaklaşık %13 kopma uzamasına sahiptir. Yüksek çıkanlarda ise 170 kPa

çekme dayanımına, yaklaşık 19500 kPa elastisite modülü değerine ve yaklaşık %1,7 kopma uzamasına sahiptir (Tablo 1).

Tablo 1. Çekme testi sonuçları

Numune No	Çekme Dayanımı (kPa)	Elastisite Modülü Değeri (kPa)	Kopma Uzama Miktarı (%)
1	57	3100	13
2	57	3100	13
3	170	19500	1,7
4	170	19500	1,7

Üç nokta eğme testi: Üç nokta eğme testi Astm D 790 standardına göre 120 mm açıklıkta, 3 mm/dk hızda yapılmıştır ve 2 adet numune eğilme testine tabi tutulmuştur. Eğilme test sonuçlarında malzemeler yaklaşık %6 şekil değişiminde kırılmıştır. En yüksek eğilme gerilmesi ortalama 300 kPa değerindedir (Tablo 2).

Tablo 2. Üç nokta eğme testi sonuçları

Numune No	Şekil Değişiminde Kırılma (%)	Eğilme Gerilmesi (kPa)
1	6	300
2	6	300

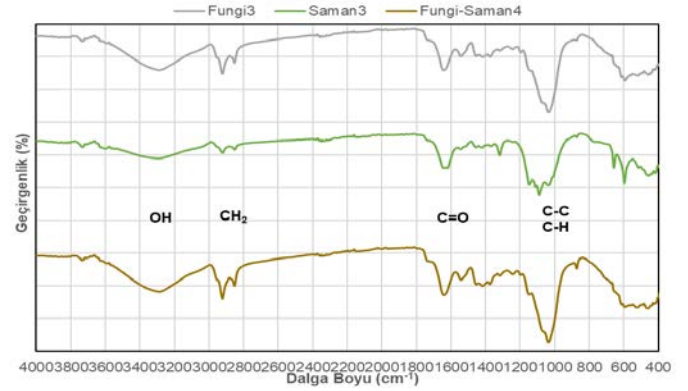
Isıl iletkenlik katsayısı testi: Buğday samanı ve *G. resinaceum* kullanılarak elde edilen kompozit malzemenin ısı iletkenlik katsayısı 0,4 W/(m.K) olarak tespit edilmiştir.

FT-IR analizi: FT-IR spektroskopisi miselyum tabanlı biyokompozitimizin fonksiyonel gruplarını karakterize etmek amacıyla kullanılmıştır. 3300 cm⁻¹ bandında (O-H) valenz (gerilme) titreşimi, 2850-2900 cm⁻¹ bandında (C-H) valenz titreşimi, 1650 cm⁻¹ bandında (C=O) valenz titreşimi elde edilmiştir. 1050 cm⁻¹ bandı (C-C) valenz titreşimi olabileceği gibi (C-H) deformasyon titreşimi veya (C-O) over titreşimi de olabilir. 400-1500/1550 cm⁻¹ bant aralığı parmak izi bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Bu bant aralığında valenz, deformasyon, torsiyon gibi bütün titreşimler rezonansa gelir (Şekil 9). Bu nedenle kesin yorum yapmak için bu bant aralığı karakteristik değildir (Angelova vd., 2021).

Tartışma

Islam vd. (2017) ürettikleri miselyum malzemenin mekanik ve morfolojik özelliklerini anlamak için yaptıkları testlerde, malzemenin yoğunluğuna bağlı olarak değişen 600-2000 kPa basınç dayanımı sonucuna ulaşmışlardır. Yang vd. (2017) araştırmalarında substrat olarak buğday kepeği, mısır tanesi gibi bitkisel materyaller, mantar olarak *Irpex lacteus* kullanmışlardır. Yaptıkları testler sonucunda basma direnci olarak 350-570 kPa, ısı

iletkenlik katsayısı sonucu olarak 0,05-0,07 W/(m.K) değerlerini elde etmişlerdir. Attias vd (2020) çalışmalarında elma ağacı dallarından elde edilmiş saman ve asma dallarını substrat olarak, mantar olarak *Trametes versicolor*, *Trametes multicolor* ve *Ganoderma* sp türlerini kullanmışlardır. Basma test sonucu olarak %10'luk şekilsel değişimde 25-175 kPa değerlerini elde etmişlerdir.



Şekil 9. FTIR analizi grafiği

Angelova vd (2021) gül ve lavanta bitkilerine ait atıklar ve *G. resinaceum* miselleri kullanarak ürettikleri kompozit malzemeye yaptıkları ftir analizi bizim ftir analiz sonucu ile benzerlik göstermektedir. Malzemelerine yaptıkları basınç dayanımı testinde %10'luk şekilsel değişimde, substratı gül bitkisi atıkları olan malzeme için 718kPa, lavanta bitkisi atıkları olan malzeme için 1029 kPa değerlerini elde etmişlerdir. Bu çalışmada kompozit malzeme üretimi için doğadan izole ettiğimiz *G. resinaceum* mantarını ve substrat olarak buğday sapı samanını kullandık. Basınç dayanımı testi sonucunda %10 şekil değişiminde 42,5 kPa değeri bulunmuştur. Kompozit malzememizin ısı iletkenlik katsayısı $\lambda=0,4$ W/(m.K) değerindedir. Elastisite modülü 432,471 kPa değerindedir (Tablo 3).

Tablo 3. Test sonuçlarının karşılaştırması

Çalışma	Basma Dayanımı (kPa)	Isıl İletkenlik Katsayısı λ
Islam vd. (2017)	600-2000	
Yang vd. (2017)	350-570	0,05-0,07
Attias vd (2020)	25-175	
Angelova vd (2021)	718-1029	
Bu Çalışma	42,5	0,4

Bu çalışmada, *G. resinaceum* ve buğday sapı samanını kullanılarak miselyum malzeme üretilmiştir.

Üretilen miselyum malzeme, üç boyutlu yazıcıda basılan kalıplar yardımıyla şekillendirilerek testlere uygun numuneler hazırlanmıştır. Yapılan araştırmalar sonunda ürettiğimiz numuneler basınç dayanım testleri yönünden yapılan çalışmalara göre daha zayıftır. Isıl iletkenlik katsayısı değeri $\lambda=0,4$ W/(m.K) olduğu için Avrupa Standartlarına göre malzememiz ısı yalıtım malzemesi olmamakla birlikte yapı malzeme niteliği taşıyabilir (URL_1, 2023). Substrat türü ve mantarlarda değişikliklere gidilerek yeni çalışmalar yapılabilir. Mevcut malzemeye elektriksel iletkenlik testi, akustik testler, sertlik, tokluk, yanma, ısıl genleşme testi ve neme dayanım benzeri testler yapılabilir.

Ürettiğimiz miselyum malzeme ısıl iletkenlik katsayısı olarak Avrupa standartlarının altında olduğu tespit edilmiştir. Dayanım olarak henüz yetersizdir ve yapı malzemesi olarak kullanabilmek için geliştirilmesi gerekmektedir. Farklı substratlar (pamuk sapı, pirinç kavuzu vb.) ve karışım substratlar kullanılarak malzeme üretimi yapılabilir. Farklı kalıplar tasarlanıp inşaat sanayi dışında kullanılabilir, petrol tabanlı plastiklere

alternatif, çevreci, biyobozunur, ürünler oluşturulabilir. Mühendislik, tasarım ve mimarlık gibi alanlar eşliğinde yeni çalışmalar yapılması, farklı ve geniş kullanım alanına sahip malzemelerin ortaya çıkmasına zemin hazırlayabilir.

Yazar Katkıları

Tüm yazarlar eşit katkıya sahiptir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Etik Beyanı: Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur (Hacı Hall BIYIK ve Aykan ÖZGÜR).

Teşekkür

Bu çalışma ADÜ-BAP tarafından finansal olarak desteklenmiştir (Proje Numarası: FEF21022). Bu araştırma bir yüksek lisans tezidir.

Kaynaklar

- Abhijith, R., Anagha Ashok, ve C. R. Rejeesh (2018). Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: a review." *Materials Today: Proceedings* 5.1, 2139-2145.
- Adamatzky, A., ve Gandia, A. (2022). Living mycelium composites discern weights via patterns of electrical activity. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 7(1), 26-32.
- Alli, H., Işıloğlu, M., ve Solak, M. H. (2007). Macrofungi of Aydin Province, Turkey. *Mycotaxon*, 99:163-165.
- Alemu, D., Tafesse, M., ve Gudetta Deressa, Y. (2022). Production of mycoblock from the mycelium of the fungus *Pleurotus ostreatus* for use as sustainable construction materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022(1):1-12.
- Angelova, G., Brazkova, M., Stefanova, P., Blazheva, D., Vladev, V., Petkova, N., Slavov, A., Denev, P., Karashanova, D., Zaharieva, R., Enev, A., ve Krastanov, A. (2021). Waste rose flower and lavender straw biomass—An innovative lignocellulose feedstock for mycelium bio-materials development using newly isolated *Ganoderma resinaceum* GA1M. *Journal of Fungi*, 7(10), 866.
- Appels, F. V., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M., Dijksterhuis, J., ve Wösten, H. A. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture-and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64-71. 36
- Attias, N., Danai, O., Tarazi, E., Pereman, I., ve Grobman, Y. J. (2019). Implementing bio-design tools to develop mycelium-based products. *The Design Journal*, 22(sup1), 1647-1657.
- Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., ve Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037.
- Bartnicki-Garcia, S. (1968). Cell wall chemistry, morphogenesis, and taxonomy of fungi. *Annual Reviews in Microbiology*, 22(1), 87-108.
- Butu, A., Rodino, S., Miu, B., ve Butu, M. (2020). Mycelium-based materials for the ecodesign of bioeconomy. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 15(4), 1129-1140.
- Bhat, T., Jones, M., Kandare, E., Yuen, R., Wang, C. H., ve John, S. (2018). Biomass and Waste-derived Sustainable Mycelium Composite Construction Materials with Enhanced Fire Safety. In 18th European Conference on Composite Materials, ECCM 2018. Book of Full Text, (ss1-8). Athens, Greece
- Colmo, C., ve Ayres, P. (2020, September). 3d printed bio-hybrid structures: Investigating the architectural potentials of mycoremediation. In *38th eCAADe Conference (online) 2020: Anthropologic-Architecture and Fabrication in the cognitive age*, 573-582.
- Dicker, M. P., Duckworth, P. F., Baker, A. B., Francois, G., Hazzard, M. K., ve Weaver, P. M. (2014). Green composites: A review of material attributes and complementary applications. *Composites part A: applied science and manufacturing*, 56, 280-289.
- Eklblad, A., Wallander, H., Godbold, D. L., Cruz, C., Johnson, D., Baldrian, P., Björk, R., G., Epron, D., Kieliszewska-Rokicka, B., Kjølner, R., Kraigher, H., Matzner, E., Neumann, J., ve Plassard, C. (2013). The production and turnover of extramatrical mycelium of ectomycorrhizal fungi in forest soils: role in carbon cycling. *Plant and Soil*, 366(1), 1-27.
- Elsacker, E., Peeters, E., & De Laet, L. (2022). Large-scale robotic extrusion-based additive manufacturing with living mycelium materials. *Sustainable Futures*, 100085.
- Fairus, M. J. B. M., Bahrin, E. K., Arbaain, E. N. N., Ramli, N., ve Enis, N., (2022). Mycelium-based composite: A way forward for renewable material. *J. Sustain. Sci. Manag*, 17, 271-280.
- Ghazvinian, A. (2021). A sustainable alternative to architectural materials: Mycelium-based bio-composites. *Proceedings of the Divergence in Architectural Research*, Atlanta, GA, USA, 15, 159-167.
- Ghazvinian, A., ve Gürsoy, B. (2022). Mycelium-Based Composite Graded Materials: Assessing the Effects of Time and Substrate Mixture on Mechanical Properties. *Biomimetics*, 7(2), 48.
- Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., ve Savino, E. (2019). Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: a review. *Sustainability*, 11(1), 281.
- Gross, T., ve Sayama, H. (2009). Adaptive networks, *Springer*, Berlin, Heidelberg, 1-8.
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., ve Athanassiou, A. (2017). Advanced materials from fungal mycelium: fabrication and tuning of physical properties. *Scientific reports*, 7(1), 1-11.
- Holkar, S., K., ve Chandra, R. (2016) Triveni Enterprises, *Journal of environmental biology* 37: 7-12.
- Islam, M. R., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L., ve Picu, R. C. (2017). Morphology and mechanics of fungal mycelium. *Scientific reports*, 7(1), 1-12.
- Jones, M., Bhat, T., Huynh, T., Kandare, E., Yuen, R., Wang, C. H., ve John, S. (2018). Waste derived low cost mycelium composite construction materials with improved fire safety. *Fire and Materials*, 42(7), 816-825.
- Lelivelt, R. J. J. (2015). The mechanical possibilities of mycelium materials. *Eindhoven university of technology (TU/e)*, 682.
- Nashiruddin, N. I., Chua, K. S., Mansor, A. F., A Rahman, R., Lai, J. C., Wan Azelee, N. I., ve El Enshasy, H. (2022). Effect of growth factors on the production of mycelium-based biofoam. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(1), 351-361.

- Ozkan, D., Morrow, R., Zhang, M., ve Dade-Robertson, M. (2022). Are Mushrooms Parametric?. *Biomimetics*, 7(2), 60.
- Rafiee, K., Schmitt, H., Pleissner, D., Kaur, G., ve Brar, S. K. (2021). Biodegradable green composites: It's never too late to mend. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 30, 100482.
- Scott, J., Ozkan, D., Hoenerloh, A., Birch, E., Kaiser, R., Agraviador, A., Bridgens, B., ve Elsacker, E. (2021). Bioknit Building: Strategies for living textile architectures. In *CEES 2021 International Conference Construction, Energy Environment and Sustainability*, Portugal, 1-4.
- Sesli, E., Asan, A., Selçuk, F., (eds.) Abacı Günyar, Ö., Akata, I., Akgül, H., Aktaş, S., Alkan, S., Allı, H., Aydoğdu, H., Berikten, D., Demirel, K., Demirel, R., Doğan, H.H., Erdoğan, M., Ergül, C., Eroğlu, G., Giray, G., Halikî Uztan, A., Kabaktepe, Ş., Kadaifçiler, D., Kalyoncu, F., Karaltı, İ., Kaşık, G., Kaya, A., Keleş, A., Kırbağ, S., Kıvanç, M., Ocak, İ., Ökten, S., Özkale, E., Öztürk, C., Sevindik, M., Şen, B., Şen, İ., Türkekul, İ., Ulukapı, M., Uzun, Ya., Uzun, Yu. ve Yoltaş, A. (2020). Türkiye mantarları listesi (The checklist of fungi of Turkey). Ali Nihat Gökyiğit Vakfı Yayını. İstanbul
- Tacer-Caba, Z., Varis, J. J., Lankinen, P., ve Mikkonen, K. S. (2020). Comparison of novel fungal mycelia strains and sustainable growth substrates to produce humidity-resistant biocomposites. *Materials & Design*, 192, 108728.
- Van Wylick, A., Elsacker, E., Yap, L. L., Peeters, E., ve De Laet, L. (2022). Mycelium Composites and their Biodegradability: An Exploration on the Disintegration of Mycelium-Based Materials in Soil. In *Construction Technologies and Architecture*, Vol. 1, 652-659.
- United States. Congress. Office of Technology Assessment. (1993). Biopolymers: Making Materials Nature's Way. Congress.
- URL_1 TMMOB. (2023) Ankara Makina Mühendisleri Odası, https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi_dosya_ekleri/0f0c65cbf947d1c_ek.pdf [Erişim Tarihi:13/03/2023]
- Webster, J., & Weber, R. (2007). *Introduction to fungi*. Cambridge university press.
- Xing, Y., Brewer, M., El-Gharabawy, H., Griffith, G., & Jones, P. (2018, February). Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 121, p. 022032). IOP Publishing.