



Bu makaleye şu şekilde atıf yapılır: Bayramoğlu, S., Ağırtmış, Z., Erol, S. S. (2025). Mantar Miselinden Kompozit Malzeme Üretimi: Potansiyel Uygulamalar, Mantar Dergisi, 16(1)26-33

Geliş(Received) :17.10.2024

Kabul(Accepted) :25.11.2024

Araştırma Makalesi

Doi: 10.30708/mantar.1568967

Mantar Miselinden Kompozit Malzeme Üretimi: Potansiyel Uygulamalar

Süleyman BAYRAMOĞLU^{1*}, Zehra AĞİRTMIŞ²
Selime Semra EROL³

*Sorumlu yazar:pexa@pexa.com.tr

¹PEXa Boru Sanayi A.Ş., İstanbul, /Türkiye /pexa@pexa.com.tr 

²PEXa Boru Sanayi A.Ş., İstanbul, /Türkiye / zehraagirtmis@gmail.com 

³Yalova Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyoloji AD., Yalova, Türkiye /
semra.erol@yalova.edu.tr 

Öz: Miselyum kompozitleri, geleneksel inşaat malzemelerine sürdürülebilir bir alternatif sunar. Miselyumu kenavir odunu ile birleştirerek güçlü, hafif ve yangına dayanıklı bir malzeme yapılabilir. Bu kompozit malzeme çevre dostu olup, tarımsal atıklardan faydalanmakta ve karbon ayak izini azaltmaktadır. Miselyum bazlı kompozitlerin çok yönlülüğü, küçük nesnelerden inşaat malzemelerine kadar çok çeşitli uygulamalara olanak tanır. Biopex, Türkiye'de miselyum ve kenavir odunu kullanılarak gerekli tüm testlerden başarıyla geçen, kalitesini ve daha geniş kullanım potansiyelini teyit eden bir biyokompozit boru dağıtım paneli geliştirdi. Bu makalede Biopex kompozit malzemeler ve dünyada üretilen diğer kompozit malzeme örnekleri açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Misel, Kompozit malzeme, Yalıtım, Kenavir odunu

The Production of Mycelium-Based Composite Materials: Potential Applications

Abstract: Mycelium composites offer a sustainable alternative to traditional building materials. Combining mycelium with hemp wood, a strong, lightweight and fire resistant material can be produced. This composite material is environmentally friendly, utilizing agricultural waste and reducing the carbon footprint. The versatility of mycelium-based composites allows for a wide range of applications, from small objects to construction materials. Biopex has developed a biocomposite pipe distribution panel using mycelium and hemp wood in Turkey that has successfully passed all necessary tests, confirming its quality and potential for wider use. This article describes Biopex composite materials and other examples of composite materials produced around the world.

Keywords: Mycelia, Composite material, Insulation, Hemp wood



Giriş

Günümüzde hızla artan nüfusla paralel olarak artış gösteren çevre sorunlarının azaltılması için pek çok alanda çeşitli çözümler uygulanmaktadır. Enerji ve doğal kaynakların korunması, atıkların azaltılması gibi sürdürülebilir kalkınmanın temel unsurlarını içeren bu uygulamalar, çağdaş mimarlığın da odak noktalarından biri haline gelmiştir (İpekçi ve ark., 2017). Mimaride sıklıkla yalıtım malzemesi olarak kullanılan geleneksel adıyla strafor, genişletilebilir polistiren (EPS) adı verilen bir tür plastikten üretilir, düşük yoğunluğu ve büyük hacmi nedeniyle plastik atık yönetiminde zorluk yaratan bir malzemedir (Hidalgo-Crespo ve ark., 2022). Plastik atıkların deniz ve kara üzerindeki etkileri, çevresel kirliliği artırmakta ve bu durum ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır (Vijayalakshmi ve ark., 2022). EPS'nin çevresel etkilerini değerlendirmek için karbon ayak izi (CF) ve su ayak izi (WF) gibi sürdürülebilirlik göstergeleri kullanılır. Yüksek enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları EPS'nin karbon ayak izini artırırken, üretim ve atık yönetimi süreçlerinde kullanılan su miktarı su ayak izini yükseltir (Hidalgo-Crespo ve ark., 2022).

Artan çevresel sorunlara ve kirliliğe çözüm arayışında, sürdürülebilir malzeme üretimi büyük önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, geleneksel malzemelerin çevresel etkilerini azaltmak ve yenilikçi, sürdürülebilir alternatifler geliştirmek zorunlu hale gelmiştir (Vijayalakshmi ve ark., 2022). Strafor gibi geleneksel yapı malzemelerine alternatif olarak, mantar miselinden üretilen kompozit malzemeler, çevre dostu ve sürdürülebilir bir çözüm olarak dikkat çekmektedir. Miselyum malzemelerinin düşük maliyetli üretimi, yüksek akustik emilim kapasitesi, düşük ısı iletkenliği ve yangına dayanıklılık özellikleri, onları termal ve akustik yalıtım panellerinin geliştirilmesinde umut vadeden bir seçenek haline getirmekte ve bu nedenle inşaat sektöründe çeşitli faydalı uygulamalara olanak tanımaktadır (Manana ve ark., 2021).

2007 yılında genç bir makine mühendisliği öğrencisi tarafından mantar miselyumları kullanılarak plastik malzeme gibi işlev gören çevre dostu malzemeler geliştiren bir şirket kurulmuştur. Bu mantar bazlı ambalaj ve diğer malzemeler, yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir olup, yerel çiftliklerden getirilen tarım atıklarıyla üretilir (Ecovative Design, 2024). (Ecovative: Mycelium-based biomaterials. <https://www.ecovative.com>). Ecovative mobilya, otomotiv ve inşaat sektörlerinde mantar bazlı malzemeler kullanarak geliştirilen yenilikçi çözümler üretmektedir. Mobilya sektöründe, "MycoBoard" ürünü (Şekil 1) ile mobilya tasarımcısı Gunlocke için sandalye sırtlıkları ve iç mekân akustik panelleri üretmiştir. Otomotiv

sektöründe ise, yüksek plastik talebine alternatif olarak araç gövdeleri ve iç mekanlar için ses emici akustik paneller geliştirmiş, bu panellerin akustik emilimde başarılı olduğunu göstermiştir (Mojumdar ve ark., 2021).

Ecovative, 2014 yılında New York'taki Modern Sanat Müzesi'nde David Benjamin tarafından tasarlanan Hy-Fi pavilyonunun (Şekil 2) üstü özel bir kaplama ile kaplanmış, kenevir betonu tuğlalar ise tekrar kullanılabilir zemin vidaları ile desteklenmiştir. Mantar tuğlaların organik yapısı ve yapının doğal klima sistemi, içerideki sıcak havayı dışarı çekip daha serin hava getirerek nem ve sıcaklığı düzenler (Patel ve Sharma, 2023).



Şekil 1. Myco Board (Mojumdar ve ark., 2021)

MycoWorks, San Francisco merkezli bir girişimdir ve mantar bazlı bir deri alternatifi üretmektedir. Bu malzeme, geleneksel deriye benzer görünüm ve his sağlar, ancak üretim süreci çevre ve sağlık açısından çok daha az tehlike içerir. Malzeme, mantar miselyumu ve pamuk selülozunun bir bileşenidir, bu da onun biyolojik olarak parçalanabilir olmasını sağlar ve hayvanların deri üretimi için yetiştirilmesiyle ilgili endişeleri ortadan kaldırır. (MycoWorks, 2024). (MycoWorks: Grown materials for a better world. <https://www.mycoworks.com>).



Şekil 2. Hy-Fi (Patel ve Sharma, 2023)

MycoWorks'ün malzemesi, geleneksel derinin birçok özelliğini paylaşmakta ve çantalar, cüzdanlar ve telefon kılıfları gibi ürünlerde kullanılmaktadır. Hayvan derisinin çok yönlülüğüne ulaşabilmek için güç, esneklik

ve dayanıklılık gibi birkaç önemli hedef üzerinde çalışılmaktadır (Deeg ve ark., 2017).

Montalti, İtalya merkezli Mogu adlı bir şirket kurdu. Ürünlerinden biri "Foresta" adlı akustik paneldir. Bu ürün, test edilip kullanıma uygun olarak sertifikalandırılmış ve Avrupa pazarına girmeye başlamıştır. Ecovative'in daha önceki Greensulate ürünü gibi, Foresta da benzer sentetik ürünlere sürdürülebilir bir alternatiftir (McGaw ve ark., 2022).

Tekstil ve moda endüstrisinde son yıllarda yeni malzeme ve ürünlerin tanıtılması açısından oldukça yenilikçi gelişmeler yaşanmıştır. Farklı malzemelerden üretilen kumaşlar ve iplikler ortaya çıkmakta; pinatex, MycoTEX, okalıptüs ipliği gibi farklı kaynaklardan elde edilen ürünler sunulmaktadır. MycoTEX, biyoçözünür, miselyum bazlı bir malzemedir, NEFFA, bu malzemeyi kullanarak üç boyutlu modelleme ile bir kumaş geliştirmiştir (Kaya, 2021).

Bu çalışma, inşaat sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak amacıyla, geleneksel sentetik izolasyon malzemelerinin çevresel etkilerini minimize edebilecek alternatifler arayışında, biyolojik kökenli izolasyon malzemeleri, özel olarak da Biopex, üzerine odaklanmaktadır. Çalışmanın temel amacı, Biopex'in potansiyelini derinlemesine analiz ederek, bu malzemenin kullanımını teşvik edecek bilimsel veriler sunmak ve gelecekteki araştırmalar için yeni hedefler belirlemektir.

Materyal ve Metot

Çalışmada, substrat olarak sürdürülebilir bir alternatif olan kenevir odunu; bağlayıcı olarak ise, biyolojik etkinliği yüksek ve hızlı miselyum oluşturabilen bir makromantar türü olan *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. (Reyşi) (Sesli ve ark., 2020) miselyumu kullanılmıştır. Miselyum kültür ortamı hazırlamada Patates Dekstroz Agar (PDA), miselyumları çoğaltmak için ise hububat olarak buğday kullanılmıştır. Ayrıca Biopex firması tarafından özel olarak üretilen, farklı ebatlarda polikarbon ve alüminyum malzemelerden oluşan kalıplar kullanılmıştır.

Çalışmada, fungal hiflerin optimal büyümesini sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılan bir besiyeri olan (Merck 1.10130) kodlu Merck marka Patates Dekstroz Agar (PDA) tercih edilmiştir. Besiyeri, üretici firmanın talimatlarına uygun olarak hazırlanmış, otoklavda sterilize edilmiş ve steril petri kutularına aktarılmıştır.

Çalışmada kullanılan *G. lucidum* kültürleri Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü'nden ticari ürün olarak satın alınmıştır. Bu kültürlerden, steril koşullarda 0,5 cm çapında misel parçaları alınarak, PDA (Patates Dekstroz Agar) besiyeri içeren petri kutularına

ekilmiştir. Petri kutuları, kontaminasyonu önlemek amacıyla parafilmle kapatılarak etiketlenmiş ve 25-28 °C'de inkübe edilmiştir. Misel gelişiminin düzenli olarak takip edildiği bu süreçte, 200+ petri kutusunda yeterli miktarda misel elde edilmiştir. Bu sayede, sonraki aşama olan spawn üretimi için gerekli misel materyali sağlanmıştır.

Spawn Üretimi

Spawn üretimi için; buğday tohumları, bir gece suda bekletilerek hidratlanıp yumuşadıktan sonra alçı ile karıştırılarak steril cam kavanozlara aktarılmıştır. Kavanozlar, otoklavda 121°C'de 90 dakika sterilize edilmiştir. Otoklavda steril hale getirilen kavanozlar, soğuma işleminden sonra biyogüvenlik kabini içinde UV lambası altında ek bir dezenfeksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra, kültür çalışmasında PDA ortamında çoğaltılan *Ganoderma lucidum* miselleri, aseptik koşullar altında kavanozlara aktarılmıştır. Misellerin substrat ile homojen bir şekilde karışması sağlandıktan sonra, kavanozlar misel gelişimi için 28±2°C'de, %85 nem içeren ortamda inkübasyona bırakılmıştır.



Şekil 3. *Ganoderma lucidum* spawnları

Substrat Hazırlığı

Liflerine ayrıştırılarak yaklaşık 1 cm'den küçük parçacıklara ayrılan kenevir odunu, yabancı maddelerden arındırmak amacıyla elenmiş ve dezenfekte edilmiştir. Daha sonra, 90°C'de 60-90 dakika homojen bir şekilde kurutulmuştur.



Şekil 4. Kenevir odunu hazırlığı (Bayramoglu 2023)

Ortam sterilizasyonu yapıldıktan sonra; %90 oranında kenevir odunu ve %9 oranında buğday unu, %1 oranında alçı ile karıştırılarak hazırlanmış ve nem oranı %80±5 olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan substrat karışımı otoklavda 121°C'de 90 dakika sterilize edilmiş ve hazırlanan substrat, misel ekimi için uygun hale getirilmiştir.

Hamurun Kalıplara Dökülmesi ve Oksijen Alımının Sağlanması

Substrat hazırlığında elde edilen karışım, ağırlığının %50'sini geçmeyecek şekilde su ile homojen bir kıvama gelinceye kadar yoğrulmuştur. Oluşan hamur, hava sirkülasyonunu sağlayan kontrollü deliklere sahip kalıplara yerleştirilmiştir. Bu sayede, hamurun iç kısmındaki oksijen ihtiyacı karşılanırken, dış ortamla olan temas en aza indirgenerek kontaminasyon riski azaltılmıştır. (Şekil 5).



Şekil 5. Hamurun kalıplara dökülmesi (Bayramoglu 2024)

Biyokompozit Malzemenin Büyütülmesi

Hamur, yaklaşık 26-27 °C sıcaklığında ve yaklaşık %60 oranında bağıl neme sahip bir ortamda bekletilmiştir (Şekil 6). Bu süreçte, biyokompozit malzeme ipliksi dokulara sahip olacak şekilde büyüyerek istenilen boru dağıtım paneli kalıplarını kaplamıştır (Şekil 7).



Şekil 6. Biyokompozit Malzemenin Büyütülmesi (Bayramoglu 2024)



Şekil 7. Biyokompozit malzemenin büyümesiyle oluşan ipliksi dokular (Bayramoglu 2024)

Biopex Dağıtım Panellerinin Kurutulması

Elde edilen Biopex dağıtım panelleri kurutulmuş ve hava ile teması kesilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 8).

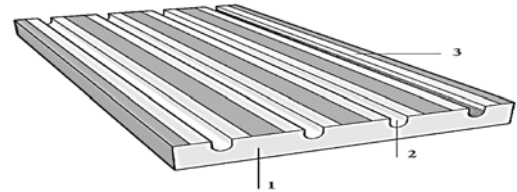


Şekil 8. 40X60X3,5 ölçülerinde Biopex Panel (Bayramoglu 2024)

Bulgular

Mantar miselinden elde edilen kompozit malzeme ile nihai ürünümüz Biopex üretilmiştir (Şekil 9). Biopex geleneksel yalıtım malzemelerinin yerine iklimlendirme amacıyla sistemlerde kullanılmaktadır.

MBC'ler, fiziksel, mekanik, kimyasal ve biyolojik özellikleri, çeşitli işlevsel uygulamalarda kullanım potansiyelini belirler. Düşük yoğunluklu MBC'ler (örneğin, kenevir odunu, yulaf kabukları) bazı sentetik köpüklerle rekabet edebilir. MBC'ler, yangın güvenliği açısından sentetik köpüklere kıyasla daha avantajlıdır ve silika ilavesiyle yangın direnci artırılabilir. (Aiduang ve ark., 2022)



Şekil 9. 29/09/2023 tarihinde alınan Biopex patenti (Bayramoglu, 2023)

Biopex'in yangına direncini ölçmek amacıyla testler yapılmıştır. Biopex üzerine belirli bir süre boyunca kontrollü bir alev uygulanmış ve malzemenin yanma davranışı gözlemlenmiştir.

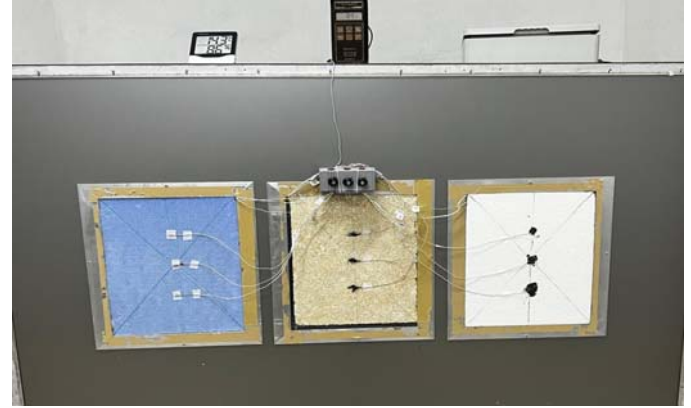
Miselyum ve kenevir odunu gibi doğal selülozdan elde edilen biyokompozit malzemeye yapılan yanmazlık testi, malzemenin yangına karşı oldukça dayanıklı olduğunu kanıtlamıştır. Test sonuçları, biyokompozitin yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında bile alev almadan dayanabileceğini ve bu sayede inşaat sektöründe güvenle kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 10. Yanmazlık deneyi (Bayramoglu, 2023)

Akustik yalıtımda, MBC'ler daha düşük ısı iletkenliği ve iyi ses emilimi sunar; bu, onları sentetik köpüklerden ve ahşap ürünlerden üstün kılar. MBC'ler, mekanik özellikler açısından, polistiren ve poliüretan köpüklerle karşılaştırıldığında genellikle benzer performans gösterir (Aiduang ve ark., 2022).

Bu ölçümün amacı Biopex'in ısı iletkenliği performansının yaygın kullanıma sahip olan ısı yalıtım malzemelerine kıyasla değerlendirilmesidir. Bu testte numuneler toplam 18 sensör + cihazın içinde ve dışında 2 sensör ile ölçülmüştür.



Şekil 11. Ölçüm cihazı dış görüntüsü (Bayramoglu 2023)

Tablo 1. EPS ve XPS ile Biopex karşılaştırmalı ölçüm raporu.

BİOPEX TEST SONUÇ TABLOSU (22/MART/2023)

	PANEL ADI	XPS BLUE						BIOPEX						EPS WİTE					
		DIŞ SENSÖRLER			İÇ SENSÖRLER			İÇ SENSÖRLER			DIŞ SENSÖRLER			DIŞ SENSÖRLER			İÇ SENSÖRLER		
	İÇ/DİŞ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	SENSÖR NUMARASI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	8,00	18,00	18,60	18,00	55,00	56,00	56,00	41,70	47,00	45,00	18,00	18,30	18,50	19,00	20,00	20,00	57,00	59,00	59,00
	İÇORT-DİŞORT-FARK	40,00	14,00	26,00	18,20	55,67	37,47				44,57	18,27	26,30				19,67	58,33	38,67
2	9,00	17,60	17,60	17,60	35,00	35,10	35,00	34,00	34,60	34,00	17,10	17,10	17,30	17,30	17,30	17,30	33,00	32,00	31,00
	İÇORT-DİŞORT-FARK	34,00	14,00	20,00	17,60	35,03	17,43				34,20	17,17	17,03				17,30	32,00	14,70
3	10,00	18,20	18,00	18,10	34,30	33,90	33,00	31,20	31,20	31,00	17,10	17,00	17,00	17,50	17,80	17,60	29,20	29,10	29,00
	İÇORT-DİŞORT-FARK	39,40	15,00	23,60	18,10	33,73	15,63				31,13	17,03	14,10				17,63	29,10	11,47
4	11,00	17,80	17,60	17,50	29,60	29,50	29,70	29,10	29,10	29,00	17,70	17,60	17,80	17,20	17,20	17,10	32,60	33,00	36,00
	İÇORT-DİŞORT-FARK	39,30	15,30	24,00	17,63	29,60	11,97				29,07	17,70	11,37				17,17	33,87	16,70
5	12,00	17,80	17,70	17,80	29,80	29,80	28,80	29,60	29,50	29,50	18,00	18,30	18,00	17,30	17,80	17,70	34,10	35,80	35,80
	İÇORT-DİŞORT-FARK	34,70	15,50	19,20	17,77	29,47	11,70				29,53	18,10	11,43				17,60	35,23	17,63
6	13,00	18,10	18,00	18,00	30,20	30,10	30,00	30,10	30,00	30,00	18,10	18,00	18,30	17,30	17,70	17,50	29,30	28,60	28,30
	İÇORT-DİŞORT-FARK	34,40	15,30	19,10	18,03	30,10	12,07				30,03	18,13	11,90				17,50	28,73	11,23
7	14,00	18,10	18,00	17,80	31,10	31,00	30,00	31,40	31,30	31,20	18,00	17,90	17,80	17,10	17,10	17,20	29,30	29,00	29,00
	İÇORT-DİŞORT-FARK	34,70	15,50	19,20	17,97	30,70	12,73				31,30	17,90	13,40				17,13	29,10	11,97
8	15,00	17,50	17,30	17,30	28,20	28,30	29,10	30,00	32,60	32,30	18,30	18,00	18,10	17,40	17,90	18,00	35,30	37,30	37,20
	İÇORT-DİŞORT-FARK	35,10	15,80	19,30	17,37	28,53	11,17				31,63	18,13	13,50				17,77	36,60	18,83
9	16,00	18,30	18,10	17,90	30,20	30,00	30,00	29,60	29,70	29,60	18,30	18,20	18,20	16,90	16,90	17,40	34,40	37,00	36,70
	İÇORT-DİŞORT-FARK	35,00	15,50	19,50	18,10	30,07	11,97				29,63	18,23	11,40				17,07	36,03	18,97
10	17,00	18,20	18,00	18,00	35,00	34,80	35,00	33,40	33,30	33,00	18,20	18,10	18,20	17,30	17,40	17,60	31,80	31,80	30,50
	İÇORT-DİŞORT-FARK	33,20	15,40	17,80	18,07	34,93	16,87				33,23	18,17	15,07				17,43	31,37	13,93
				20,77		15,90							14,55						17,41

Biopex, EPS (Expanded Polystyrene) ve XPS (Extruded Polystyrene) ısı iletkenlik değerlerini karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Paneller ve ısı iletkenlik değerleri.

PANEL	ISIL İLETKENLİK
BİOPEX	0,032 W/mK
EPS (Expanded Polystyrene)	0.036 W/mK
XPS (Extruded Polystyrene)	0.039 W/mK

Paneller ve ısı iletkenlik verilerine göre Biopex, EPS ve XPS birbirlerine çok yakın değerlere sahiptir ve bu üç panelde ısı yalıtım malzemesi olarak kullanıma uygundur.

Tartışma

Son yıllarda bilim insanları, insan kaynaklı iklim değişikliğinin gezegenin geleceğini tehdit ettiğini ve birçok ekosistemin yıkımına yol açabileceğini ortaya koymuştur. Bu yıkımı önlemek için 2015'te Birleşmiş Milletler üyeleri tarafından kabul edilen 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi, kritik bir küresel eylem planı olarak öne çıkmaktadır (Aghamohammadi ve Shahmohammadi, 2023). İnşaat sektörü, küresel enerji tüketiminin %40'ını ve karbon emisyonlarının %33'ünü oluşturarak çevresel etkilere önemli katkıda bulunmaktadır. Çimento üretimi, yüksek karbondioksit salınımına neden olurken, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşmak için inşaat sektörüne büyük sorumluluk düşmektedir. Bu nedenle, geleneksel yapı malzemeleri yerine mühendislik ürünü kompozit malzemelere yönelim artmıştır (Zhang, 2023). Çevre dostu alternatiflerin bulunması bu açıdan büyük önem taşımaktadır. Biyobazlı malzemeler, binalarda çevresel ve ekonomik açıdan olumlu etkiler sağlayabilecek önemli bir potansiyele sahiptir ve bu malzemelerin sektördeki sürdürülebilirlik hedeflerine katkısı üzerinde durulmalıdır (Aghamohammadi ve Shahmohammadi, 2023).

MBC'ler, geleneksel inşaat malzemelerine kıyasla birçok avantaj sunmaktadır. Bu kompozitler, miselyumun doğal büyüme özellikleri ve selülozun mekanik dayanıklılığı sayesinde güçlü, hafif ve yangına dayanıklı malzemeler olarak öne çıkmaktadır (Sariay ve ark., 2023). Jones ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptıkları bir çalışmaya göre MBC'ler, yangına karşı sentetik malzemelere kıyasla çok daha iyi performans gösterdiği gösterilmiştir (Jones ve ark., 2020). Bu kompozitler, yangında tüm malzemelerin aynı anda tutuştuğu kritik bir

an olan "flashover" süresine 311-370 saniyede ulaşırken, bu süre XPS için 61 saniye, yonga levha için ise 173 saniyedir. Ayrıca, miselyum kompozitlerinin ısı salınım oranları (33-42 kW/m²) sentetik malzemelere göre (XPS: 114 kW/m², yonga levha: 134 kW/m²) oldukça düşüktür. Yangınlar sırasında en büyük tehlike ısı değil, karbon monoksit (CO) gibi zehirli gazlardır. Miselyum kompozitleri, XPS ve yonga levhaya göre çok daha az CO ve CO₂ salınımı yapar ve daha az duman üretir. Bu sayede yangın güvenliği açısından daha güvenli bir seçenek haline gelirler (Jones ve ark., 2020). Biopex yalıtım paneli, yangına dayanıklılık testlerinde başarılı sonuçlar elde etmiştir. Deney sonuçlarına göre, MBC'lerin alevle karşılaştıklarında genellikle düşük yayılma hızı gösterdiği ve yanmanın hızlı bir şekilde kontrol altına alındığı gözlemlenmiştir. Yanmazlık performansı, yangın güvenliği açısından uygun bir tercih olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, Biopex'in özellikle bina yalıtımında yangına dayanıklı bir malzeme olarak kullanım potansiyelini artırmaktadır.

MBC'lerin en büyük dezavantajı kontaminasyon ve böceklenme sorunudur. Sciaridae ailesine ait olduğu düşünülen bir çift kanatlı böcek, *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. ve *Ganoderma lucidum* gibi mantarların yetiştirildiği bir çiftlikte istila oluşturmuştur; bu sorun ve verim ile kalite kaybına sebep olmaktadır (Ohimain ve Bawo, 2021). Mantar yetiştirme ortamları, serin, nemli ve gölgeli koşullarıyla böceklerin üremesi ve istilasına uygun hale gelebilir. Geleneksel böcek ilaçlarının kullanımı toksisite riski nedeniyle güvenli değildir. Bu sorunu çözüm amacıyla Biopex'in son aşamasında alüminyum kaplama uygulanarak oksijenle teması kesilir, böcek ve benzeri organizmaların üremesini engellenir.

Aiduang ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında vurguladığı gibi, MBC üretiminde istenmeyen mikrobiyal kontaminasyonu önlemek için etkili sterilizasyon protokollerinin yanı sıra temiz ve kirlenmemiş bir ortam sağlamak hayati önem taşır. Üretim sürecinde aseptik tekniklerin uygulanması, kirleticilerin ortamına girişi riskini en aza indirir bunun yanında sıcaklık, nem ve hava kalitesi gibi çevresel faktörlerin kontrolü, mikrobiyal kontaminasyonu önlemek için oldukça önemlidir. Bu amaçla kullanılan yaygın sterilizasyon yöntemleri arasında otoklavlama, ultraviyole ışık kullanımı ve kimyasal sterilizasyon gibi yöntemler yer alır. Ayrıca, üretim ortamının sürekli olarak izlenmesi ve temizlenmesi, hava filtreleme sistemlerinin kullanılması gibi önlemler de kontaminasyon riskini azaltmada kritik rol oynar. Sterilizasyon süreçlerinin yanı sıra, kullanılan malzemelerin de hijyenik koşullarda saklanması ve işlenmesi gerekir. Miselyum bazlı kompozit üretiminde, kontaminasyonun önlenmesi hem malzemenin mekanik

özelliklerinin korunması hem de üretim sürecinin verimliliği açısından büyük bir öneme sahiptir.

Yang ve arkadaşlarının 2021'de gerçekleştirdiği çalışmasında vurguladığı gibi, miselyum kompozitlerinin mekanik özelliklerini optimize etmek için çeşitli zorluklar hâlâ çözülmeyi beklemektedir. Bunların başında, farklı substrat türlerinin belirli mantar türlerine göre nasıl özelleştirileceği ve üretim sürecinin nasıl otomatikleştirileceği gelmektedir. Substratın kimyasal ve fiziksel özellikleri, mantarın büyüme şekli ve malzemenin nihai yapısal özellikleri üzerinde doğrudan etkili olduğundan, bu unsurların doğru bir şekilde yönetilmesi, istenen mekanik performansın elde edilmesinde kritik rol oynar. (Yang ve ark., 2021). Biopex gibi MBC'ler, inşaat sektörünün çevresel etkilerini azaltmak ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için önemli bir inovasyon sunmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen bu biyobazlı malzemeler, düşük karbon ayak izi, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve düşük enerji tüketimi gibi avantajlar sağlarken, özellikle bina yalıtımında enerji verimliliğini artırarak hem ekonomik hem de ekolojik faydalar sağlamaktadır. Bu sayede Biopex, çevre dostu ve sürdürülebilir bir yalıtım çözümü olarak inşaat

sektörünün iklim değişikliği ile mücadelesinde kritik bir rol oynar.

Yazar Katkıları

Tüm yazarlar eşit katkıya sahiptir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Etik Beyanı/Ethical Statement: Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur. Bu makalenin özeti 4. Uluslararası Avrasya Mikoloji Kongresinde sunulmuştur. (Süleyman BAYRAMOĞLU, Zehra AĞIRTMİŞ, Selime Semra EROL).

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, kenevir odununun temin edilmesi ve araştırma sürecinde sağladıkları değerli katkılar için Aslışah Sakallı 'ya teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca, araştırma geliştirme sürecinde verdikleri destek ve rehberlik için Abdurrahim Bayramoğlu'na da büyük bir minnet borçluyuz. Yardımları ve özverili çalışmaları, bu projenin başarıyla ilerlemesinde önemli rol oynamıştır.

Kaynaklar

- Aghamohammadi, N., and Shahmohammadi, M. (2023). Towards sustainable development goals and role of bio-based building materials. In *Bio-Based Materials and Waste for Energy Generation and Resource Management* (pp. 243-279). Elsevier.
- Aiduag, W., Chanthaluck, A., Kumla, J., Jatuwong, K., Srinuanpan, S., Waroonkun, T., Oranratmanee, R., Lumyong, S., and Suwannarach, N. (2022). Amazing fungi for eco-friendly composite materials: A comprehensive review. *Journal of Fungi*, (Basel, Switzerland), 8(8), 842.
- Aiduag, W., Jatuwong, K., Luangharn, T., Jinanukul, P., Thamjaree, W., Teeraphantuvat, T., T., Waroonkun, T., and Lumyong, S. (2024). A Review Delving into the Factors Influencing Mycelium-Based Green Composites (MBCs) Production and Their Properties for Long-Term Sustainability Targets. *Biomimetics*, (Basel, Switzerland), 9(6), 337.
- Deeg, K., Gima, Z., Smith, A., Stoica, O., and Tran, K. (2017). Greener Solutions: Improving performance of mycelium-based leather. Final Report to MycoWorks, 1-24.
- Hidalgo-Crespo, J., Soto, M., Amaya-Rivas, J. L., and Santos-Méndez, M. (2022). Carbon and water footprint for the recycling process of expanded polystyrene (EPS) post-consumer waste. *Procedia CIRP*, 105, 452-457.
- İpekçi, C. A., Coşgun, N., and Karadayı, T. T. (2017). İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(2), 43-50.
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., and John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials and Design*, 187,(United Kingdom), 108397.
- Kaya, Ö. (2021). Innovative fabrics and products that can create a revolution in fashion. In XV. *International Turkic Culture, Art and Protection of Cultural Heritage Symposium/Art Activity* (Turkey).
- Manan, S., Ullah, M. W., UI-Islam, M., Atta, O. M., and Yang, G. (2021). Synthesis and applications of fungal mycelium-based advanced functional materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6(1), 1-10.
- McGaw, J., Andrianopoulos, A., and Liuti, A. (2022). Tangled tales of mycelium and architecture: learning from failure. *Frontiers in Built Environment*, 8, 805292.
- Mojumdar, A., Behera, H. T., & Ray, L. (2021). Mushroom mycelia-based material: An environmentally friendly alternative to synthetic packaging. In M. K. Tripathy & P. M. Mohapatra (Eds.), **Microbial polymers: Applications and ecological perspectives* (pp. 131-141). Springer.
- Ohimain, E. I., and Bawo, D. D. S. (2021). Preliminary Studies of Ganoderma lucidum and Pleurotus ostreatus Trapping of a Sciarid Insect. *EC Microbiology*, 17, 29-34.
- Patel, J., and Sharma, J. (2023). A Review of Mycelium-Based Bio-Composites and Their Possible Application in Architecture. In *International Conference on Emerging Trends in Design and Arts* (Vol. 4, No. 2SE, pp. 213-225).
- Sarıay, E., Cörüt, A., ve Büyükakıncı, B. Y. Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 196-207.
- Sesli, E., Asan, A., ve Selçuk, F. Abacı Günyar, Ö., Akata, I., Akgül, H., Aktaş, S., Alkan, S., Aydoğdu, H., Berikten, D., Demirel, K., Demirel, R., Doğan, H.H., Erdoğan, M., Ergül, C.C., Eroğlu, G., Giray, G., Haliki Ustan, 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, Y. ve Yoltaş, A. (2020). *Türkiye Mantarları Listesi* (The Checklist of Fungi of Turkey). Ali Nihat Gökyiğit Vakfı Yayını. İstanbul. 1177 sayfa.
- Vijayalakshmi, A., Meena, M., Mageswari, S. U., Priya, M. A. P., and Vijayakumar, G. N. S. (2022). An Ecovative Alternative For Plastic: An Overview. Plastic Waste Management: Turning Challenges into Opportunities, (Bharti Publications), 8.
- Yang, L., Park, D., and Qin, Z. (2021). Material function of mycelium-based bio-composite: A review. *Frontiers in Materials*, 8, 737377.
- Zhang, D. (2023). Fire-Safe Biobased Composites: Enhancing the Applicability of Biocomposites with Improved Fire Performance. *Fire*, 6(6), 229.