

PAPER DETAILS

TITLE: Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapi Malzemesi Olarak Kullanimi

AUTHORS: Esra SARIAY,Ahmet CÖRÜT,Banu Yesim BÜYÜKAKINCI

PAGES: 196-207

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2869470>

Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı

Esra SARIAY^{1*}, Ahmet CÖRÜT¹, Banu Yeşim BÜYÜKAKINCI²

¹İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 34295, İstanbul

²Haliç Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, 34295, İstanbul

Geliş Tarihi (Received): 05.01.2023, Kabul Tarihi (Accepted): 04.04.2023

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author*): esrasariay@stu.aydin.edu.tr

☎ +90 282 2611288/1187 📠 +90 282 2624459

Öz

Dünyanın sınırlı kaynakları bilinçsiz tüketim alışkanlıklarımız nedeniyle hızla tükenmekte, doğa hızla yok edilmekte ve canlılar her geçen gün daha fazla tehlike altına girmektedir. Bugün tüm dünyanın ortak sorunu olan Küresel Isınma, bu nedenlerle ortaya çıkmış ve giderek daha ciddi bir sorun haline gelmektedir. Bu nedenle insanoğlu doğayla mücadele etmek yerine ona uyum sağlamak zorunda olduğunu fark etmiş ve bazı doğa dostu arayışlara yönelmiştir. İnsanoğlu, gezegenimizin doğasına zarar vermeyen üretim-tüketim alışkanlıklarını daha fazla akılda tutmak zorundadır. Örneğin sanayi ve inşaat sektöründe sıklıkla kullanılan plastik, metal ve beton gibi malzemeler yerine doğa dostu malzemeler teşvik edilmelidir. Bu çevreci hareketin bir sonucu olarak öne çıkan çeşitli doğa dostu malzemelerden biri de miselyumdur. Bu çalışmada, çevreci arayışlara katkı sağlamak ve ilgililere kaynak yaratmak amacıyla mantar esaslı miselyum tanıtılmış ve daha sonra özellikle inşaat sektöründe kullanım alanları, fiziksel ve mekanik özellikleri, avantaj ve dezavantajları detaylı olarak anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyokompozit, mantar, miselyum, sürdürülebilirlik, yenilenebilir kaynaklar

Use of Mycelium Composites as Sustainable Structure Materials

ABSTRACT

The limited resources of the world are rapidly consumed because of our unconscious consumption habits, nature is rapidly being destroyed and living things are getting in danger more day and day. Global Warming, which is the common issue of the whole world today, has emerged because of these reasons and is becoming an increasingly more serious problem. So, human beings have realized that they have to adapt to it, instead of struggling with nature, and they have turned to nature-friendly searches. Human beings must keep in mind more the production-consumption habits that doesn't harm to nature of our planet. For example, instead of materials such as plastic, metal and concrete, which are frequently used in industry and construction sector, nature-friendly materials should be encouraged. One of the various nature-friendly materials that come to the fore as a result of this environmentalist movement is mycelium. In this study, fungal-based mycelium was introduced in order to contribute to environmentalist searches and to create resources for those concerned, and then its usage areas, physical and mechanical properties, advantages and disadvantages, especially in the construction sector, were explained in detail.

Keywords: Biocomposite, fungi, mycelium, sustainability, renewable resources

GİRİŞ

Fosil yakıtların ve hammaddelerin çıkarılması iklimsel rahatsızlıklara ve insanların neden olduğu faaliyetlerden kaynaklanan kirliliğe neden olmaktadır. Özellikle

Avrupa'nın inşaat sektörü çıkarılan hammaddelerin ve enerji tüketiminin yaklaşık yarısından, toplam su tüketimi ve atık üretiminin ise yaklaşık üçte birinden sorumludur (Elsacker ve ark., 2020). "Üret, kullan ve at" şeklindeki ekonomik paradigmanın neden olduğu çevresel

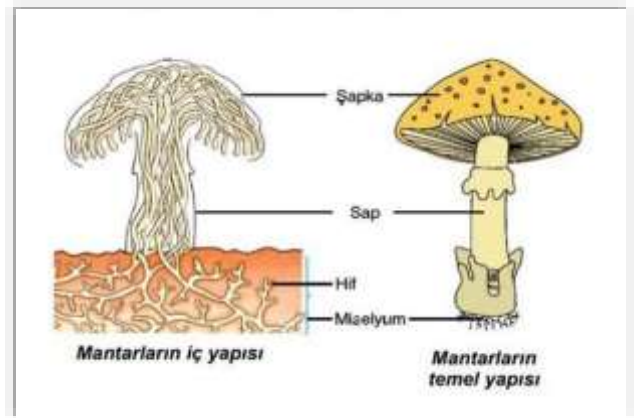
Esra SARIAY, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4931>
Ahmet CÖRÜT, <https://orcid.org/0000-0001-9510-6761>
Banu Yeşim BÜYÜKAKINCI, <https://orcid.org/0000-0001-7597-4406>

zorlukları ele almak için artan bir çabayla inşaat sektörü daha döngüsel bir modele doğru kaymaktadır. Döngüsel bir ekonomi bir binanın ömrünün sona ermesinin daha dikkatli düşünüldüğü ve atıkların bir kaynak olarak kullanıldığı döngüler gerektirmektedir (Bitting ve ark., 2022).

Dünyada blok, bölme duvar, izolasyon, beton gibi yapı malzemelerinin çoğu çimento, alçı, kum, metal ve ahşap ürünlerden oluşmaktadır. Bu amaçla 2014 yılında dünya genelinde yaklaşık 4,18 milyon ton çimento üretilmiştir. Çimentoyu inşaat malzemesi olarak kullanma alışkanlığı küresel çapta değişmezse 2050 yılına kadar dünyada 3,5 milyar metrik ton çimento üretilebilir. Tüm yapı malzemeleri arasında en yaygın kullanılanı da çimentodur. Tasarımcılar ve mimarlar 2007 yılından itibaren suni deri, mutfak gereçleri, ambalaj malzemeleri, çeşitli mobilyalar, duvar ve tavan panelleri, biocement, blok ve yığma üniteler gibi miselyum esaslı ürünleri geleneksel malzemelere alternatif olarak kullanmaya başlamışlardır (Alemu ve ark., 2022). Kereste, çelik ve beton gibi geleneksel yapı malzemeleriyle karşılaştırıldığında miselyum bazlı malzemeler üretim için temel bir bileşen olarak organik tarımsal ve endüstriyel atıkları kullanan yenilenebilir alternatifler olmakla birlikte değerli, sonlu veya sınırlı olmayan kaynaklardır.

Eski çağlardan beri insanlık mantarları yakından tanımaktaydı. 17. yüzyılda mikroskobun gelişmesiyle birlikte mantarları araştıran bilim dalı (mikoloji) daha sistemli hale gelmiş böylece mantarlar sınıflandırılmaya başlanmıştır. Günümüzde moleküler düzeye kadar inen bilimsel araştırmalarla artık mantarları çok daha detaylı tanımaktayız. Mantarlar daha tanındıkça avantajları keşfedilmiş böylece ticari boyutu ciddi seviyelere ulaşmıştır. Avrupa Birliği ve özellikle Güney Akdeniz ülkeleri dünyanın en büyük mantar üreticisidir. Toplam mantar ağacı alanının yaklaşık %60'ına sahip olan Portekiz Dünya'da üretilen mantarın yaklaşık %80'ini sağlamaktadır. Mantar ormanları Avrupa'nın güney yarı kurak bölgelerine son derece iyi uyum sağlayarak ve çölleşmeyi önleyerek birçok hayvan ve bitki türü için mükemmel bir yaşam alanı oluşturur (Gil, 2009). Son verilere göre yaklaşık 2.100.000 hektar mantar meşesi ormanına ve yaklaşık 201.000 ton/yıl mantar üretimine işaret edilmektedir (Gil, 2015).

Şekil 1'de görüldüğü gibi mantarlar şapka, sap, hif ve miselyum olarak 4 ana bölümden oluşur. Burada bahsettiğimiz miselyumun yapısı bu çalışmanın asıl konusudur ve bütün yönleriyle açıklanmaya çalışılacaktır.



Şekil 1. Mantarların genel yapısının şematik görünümü (URL-1, 2022)

MİSELYUM

Miselyumun Tanımı

Miselyum daha çok yer altında bulunan bir ağ sisteme benzer. Polimerik, hızlı büyüyen ve gitikçe daha da dallanan bitkisel liflerden oluşması en belirleyici özelliklerindendir. Protein, glukan ve kitin birleşiminden oluşan bitkisel özlü, boşluklu ve karmaşık bir ağ yapısına sahiptir. Ağ yoğunluğu ve ağ topolojisi büyük ölçüde beslenme ve çevre koşulları tarafından kontrol edilir (İslam ve ark., 2017). Toprakta ve diğer birçok substratta büyüebilir. Farklı büyüme ortamlarında yapısı belli ölçülerde değişebilir.

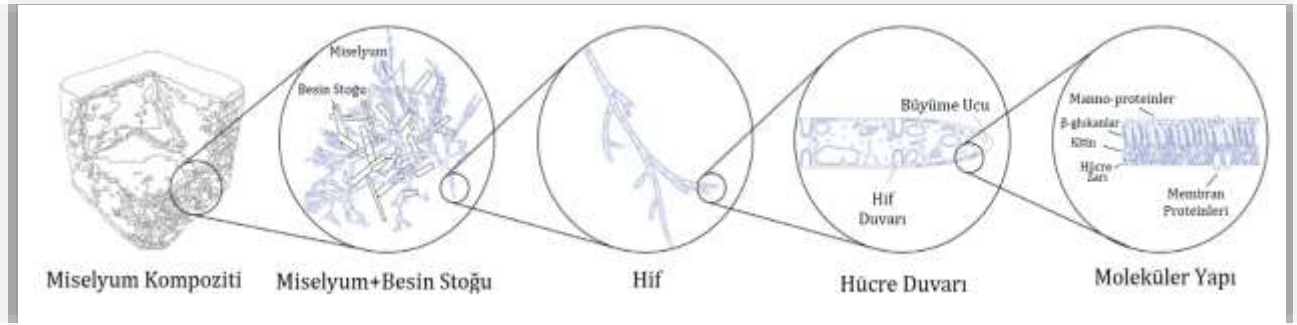
Miselyum, tek bir spordan substratın her köşesine yayılan 1-30 µm çapında ince beyaz filament ağından oluşan bir mantarın bitkisel kısmıdır. Her miselyum filamenti proteinler, glukanlar ve kitin dahil olmak üzere kimyasal bileşimde değişiklik gösteren çok sayıda katmandan oluşur. Organik maddeden oluşan substrat, miselyum ağının büyümesi için besin sağlar. Doğada bu organik maddeler bitki ve hayvan gibi organizmaların kalıntılarından ve çevredeki atık ürünlerinden gelir. Temel bileşimleri diğer çeşitli proteinler, lipidler ve karbohidratlarla birlikte selüloz, tanen, kitin ve lignin içerir (Yang ve ark., 2021). Şekil 2'de örnek bir miselyum kompozitinin şekil verilmiş hali fotoğraflık ölçek ve mikroskobik ölçek hif yapısı görüntüsü, hifin duvarını, büyüme ucunun ve moleküler yapısının şematik görüntüsü verilmiştir.

Miselyum besinlerin emiliminden sorumludur ve büyüdükçe işlevini yerine getirmek için parçalanacak tabakaya nüfuz eder ve yüksek metabolizmaya sahiptir. Hifler ortamdaki çözünmüş maddeleri emerek mantara

Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı

besin sağlar. Mantarın besin sağlaması iki safhada gerçekleşir. Emilecek olan besin üzerine veya içine en-

zim salgıladıktan sonra enzimler sayesinde daha küçük birimlere ayrılan besin difüzyon ve aktif taşıma yoluyla emilir.



Şekil 2. Bir miselyumun farklı ölçeklerde şematik görüntüsü (Özdemir ve ark., 2022)

Mantar bazlı malzemeler biyomedikal, kağıt, ambalaj, kozmetik, tekstil ve inşaat endüstrisi dahil olmak üzere farklı alanlarda potansiyel uygulama bulmaktadır. Düşük maliyetli üretimleri, yüksek akustik absorpsiyonları, düşük ısı iletkenlikleri ve yangına dayanıklılıkları nedeniyle miselyum bazlı kompozitler, termal ve akustik yalıtım panellerinin geliştirilmesinde umut verici malzemeler olabilir ve bu nedenle inşaat endüstrisinde faydalı uygulamalar bulabilir (Manan ve ark., 2021).

Miselyumun Seçimi

Tür seçimi için kriterler arasında miselyum yoğunluğu, büyüme hızı, yetiştirme ortamının (alt tabaka) maliyeti, zararlılık seviyesi, yetiştirme kolaylığı ve miselyum yapısı bulunur. Biyomalzeme kalitesi diğer faktörlerden ziyade büyük ölçüde mantar türlerine bağlıdır. Bunun nedeni ise substrat yapışmasında önemli bir rolü olan mantar miselyumunda kitin bulunmasıdır. Substrat seçimi için dikkate alınacak faktörler; besin içeriği, bulunabilirlik, bozunabilirlik, maliyet, yapısal özellikler ve uyumluluktur. Glikoz gibi substrat besinleri mantarlar için ana besin kaynağıdır. Kenevir gibi bazı bitki türleri mantar gelişimi ile uyumlu olmayan toksik bir madde salgılar. Bu tür bitki türleri suş ömrünü korumak için seçilmelidir. Miselyum bazlı malzemelerin üretimi için en bilinen substratlar talaş, saman, hindistancevizi tozu, bahçe atıkları ve küspedir (Alemu ve ark., 2022).

Miselyumun Büyümesi

Miselyum bileşimini büyütme için kullanılan yöntemler mantar yetiştirmeye ilişkin standart protokole

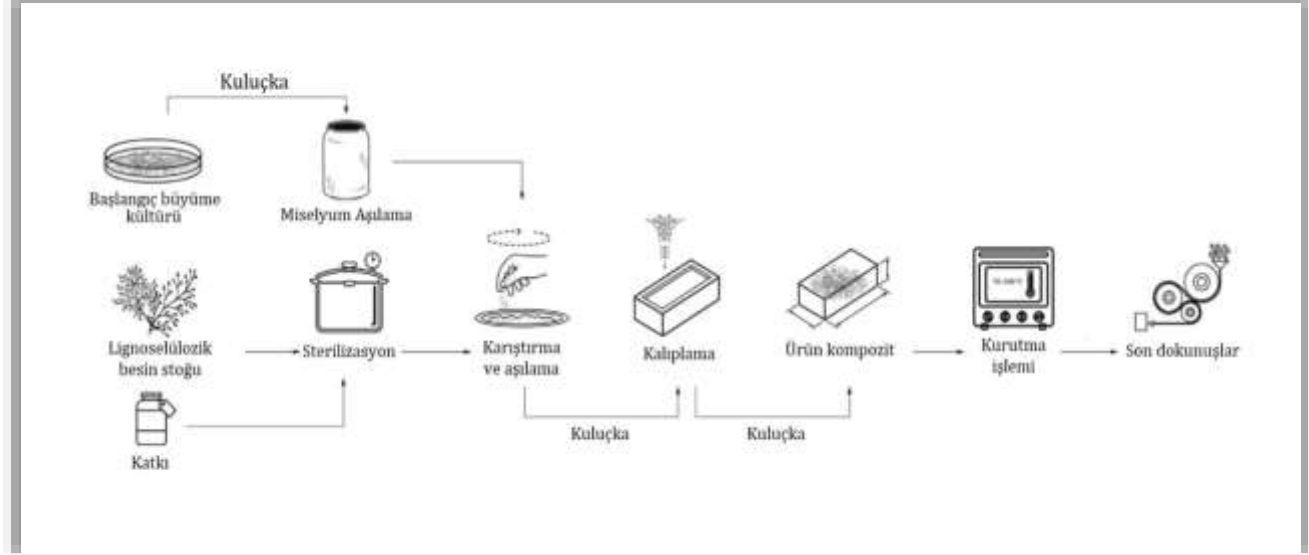
benzerdir. Bu işlem kültür kabında mantar sporlarını yeterli besin ve su ile aşılama ile gerçekleştirilir. Miselyumun kabı tamamen doldurması için kuluçka süresi yaklaşık 7 ila 14 gündür. Substrat miselyumla dolduğunda hifayı inaktive ederek miselyum kompozitini elde etmeden önce büyüme sürecini durdurmak için yüksek sıcaklıkta birkaç saat kurutulur. Bu kurutma işleminin yapılmasının nedeni nem ve sıcaklığın ikinci aşamada miselyum gelişimini etkileyebilecek iki önemli faktör olmasından dolayıdır. Yüksek nem (nispeten nem oranı %98) ve temiz hava ile oda sıcaklığı (24–25°C) miselyum yetiştirmek için mükemmel bir ortam sağlamaktadır (Yang ve ark., 2021).

Miselyum materyallerinin büyümesi mantar türlerine ve fermentasyon koşullarına da bağlı olarak değişir. Genel olarak mantarlar besin kaynaklarıyla doğrudan temasa ihtiyaç duyarak hammaddelerine bağlı olarak büyürler (Vandelook ve ark., 2021). Sıcaklık ve nem miselyum gelişimini etkileyebilecek önemli faktörler olmasından dolayı miselyumun büyümesi için genellikle nemlendiriciler veya sprinkler sistemleri kullanılır. Miselyum doğal büyümeden sonra su bakımından (%60'ın üzerinde) zengindir. Bu yüzden büyümesini inaktive etmek, yüksek ve güvenilir bir mekanik performans sağlamak için suyun çoğu çıkarılmalıdır. Miselyum büyümesi için substrat genellikle pamuk, mısır, buğday ve kenevir gibi tarımsal mahsul atıklarından ve lignoselülozik atıklar olarak keten kalıntılarından oluşan bir karışımdır. Mantarlar bitki biyokütlesinde tercihen selülozu veya lignini bozabileceğinden miselyum bazlı köpükler için substrat her zaman lignoselülozik atıkları kullanır. Selüloz tüm sert ağaçlarda ve mahsul atıklarında bulunan en bol doğal polimerdir. İki bileşen homojen bir şekilde öğütülür ve substratı oluşturmak için 1:1

Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı

ağırlık oranıyla karıştırılır. Bu da miselyumun büyüme sürecinin değişmez bir platform üzerinde gerçekleşmesini sağlar ve tek tip bir malzeme üretir (Yang ve ark., 2021).

Şekil 3'te Miselyumun steril koşullarda kuluçka edilmesi, karıştırılması, kalıplanması ve kurutulması aşamaları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Miselyumun büyümesi ve miselyum biyokompozitlerinin elde edilmesi (Özlü ve Nicholas, 2021)

Miselyum Malzemesinin Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Manan ve ark. (2021)'na göre miselyum malzemesinin özelliklerini etkileyen faktörler dört grupta incelenebilir;

- Mantar türü/suşu:** Miselyum bazlı malzemelerin sentezi için kullanılan mantarın türü elde edilen kompozitin özelliklerini büyük ölçüde etkiler.
- Substrat:** Miselyumun büyümesi için kullanılan substrat türü malzeme özelliklerine katkıda bulunan bir diğer önemli faktördür. Sağlam doğal liflere sahip alt tabakalar mukavemet sağlayarak ve kesme kırılmasını önleyerek miselyum esaslı malzemelere gerinim sertleştirme özellikleri kazandırır. Ayrıca doğal lifler kesme sırasında çatlama olaylarını azaltır ve miselyum bazlı malzemelerin Young modülünü iyileştirir.
- Pres koşulları:** Miselyum bazlı kompozitlerin yapısal özellikleri soğuk veya sıcak presleme yoluyla etkin bir şekilde geliştirilebilir. Genel olarak presleme malzeme yoğunluğunu artırır ve gözenekliliği azaltır. Ayrıca liflerin bir düzlemde yatay olarak yeniden yönlendirilmesine

yardımcı olur ve kalınlıklarını azaltır. Böylece üst üste binen noktalarda lifler arasındaki teması artırır. Misel bazlı malzemelerin mekanik özellikleri de presleme sıcaklığından büyük ölçüde etkilenir.

- Diğer parametreler:** Büyüme süresi, büyüme koşulları, malzeme kurutma yöntemleri gibi işleme parametreleri farklı suşlar ve alt tabakalar için değişiklik gösterdiğinden malzemelerin özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Örneğin inkübasyon süresi genellikle materyalin boyutuna bağlı olmakla birlikte farklı mantar türleri için 5 ila 42 gün arasında substratın doğasına bağlı olarak değişir. Daha uzun süre yetiştirilen malzemeler termal olarak daha kararlı ve daha az gözeneklidir. Bu nedenle uzun kuluçka süresi malzemenin gücünü artırır. Miselyum büyüdükçe hifler arasındaki boşluklar doldurulur ve hifler güçlü bir şekilde birbirine bağlanarak toplam yoğunluğu artırır. Buna karşılık uzatılmış kuluçka süresi takviye malzemesi görevi gören alt tabakanın tamamen bozulmasına neden olabilir. Böylece elastik rijitliğin iyileştirilmesine katkıda bulunur ve kayma davranışını azaltır. Benzer şekilde uygun büyüme koşulları farklı substratlar üzerinde mantarın türüne bağlı olarak değişir. Örneğin

farklı mantar türleri için kuluçka sıcaklığı 21°C ile 30°C arasında değişir. Benzer şekilde de çeşitli mantarların optimum büyümesi için ortalama pH seviyesi 5 ila 8 arasında değişirken, nem seviyesi de %70 ila %100 arasında değişir.

MİSELYUM KOMPOZİTLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Miselyum kompozitlerinin özellikleri yetiştirme koşullarıyla özelleştirilebilir. Mantar türü, ortam nem oranı, sıcaklığı, toprak veya substratın içerdiği organik maddelerin özellikleri ve miktarı, vb. koşullar elde edilecek kompozitin özelliklerini belirler. Bununla birlikte yetiştirme süresi de en iyi (optimum) seviyede olmalıdır. Özetle, en verimli kompozitler hedeflenen alana göre en uygun şartlar sağlanarak elde edilir.

Çok yönlü olması ve üstün birtakım özellikler göstermesi miselyumun tıp, kozmetik, ambalaj sanayisi, inşaat gibi birçok alanda kullanılmasına olanak vermektedir. Aynı zamanda miselyum biyokompozitleri ile sanat eserleri de icra edilmiştir. Örneğin sanatsal, mimari ve yapısal değer taşıyan en bilinen çalışmalardan Hi-Fi Kulesi bunlardan biridir. ABD'nin New York kentinde Living Studio ve ARUP işbirliğinde tasarlanarak inşa edilen kule neredeyse 13 metre yüksekliğindedir ve Ecovative firması tarafından üretilen yaklaşık 10 bin miselyum biyokompozit tuğla kullanılarak tamamlanmıştır. Kule 2014 yılında 3 ay boyunca sergilendikten sonra sökülüş ve geri dönüştürülmüştür. Bu girişim Miselyumun çok yönlü oluşunu, sanatsal, mimari, yapısal yeterliliğini ve geri dönüşebilirliğini ortaya koymuştur. Miselyum biyokompozitleri ile yapılan diğer bazı çalışmalar şunlardır; MycoTree (2017, Seul), Shell Mycelium (2016, Fort Kochi), The GrAB Mycelium Experiment (2016, Viyana), Alveosis (2017, Antalya) ve The Ciclar Garden (2019, Milano). Farklı alanlarda yapılan her çalışma ile miselyum kompozitlerinin sahip olduğu özellikler daha iyi anlaşılabilir ve dezavantajlı yönleri görülüp uygulamalarla test edilerek daha iyi tanınır hale gelmiştir.

Çok sayıda sektörde kullanılmakta olan miselyum ambalaj sanayisinde plastik gibi çevre kirliliğinde başı çeken malzemelerin yerine ve inşaat sektöründe tuğla (duvar dolgusu), dış cephe kaplama (ses ve ısı yalıtım), estetik (iç ve dış mekan tasarımı) vb. amaçlarla özel bir ilgi görmektedir. Miselyum tuğlası hafif, suya ve ateşe dayanıklı en önemlisi de parçalanabilme özelliği sayesinde fosil bazlı ve sentetik malzemelerin yerini alma potansiyeline sahip olması kendi kendini onarabiliyor ve düzenleyebiliyor olmasından kaynaklanmaktadır. Genellikle dikdörtgen prizma formunda

kalıplanarak şekil verilir (Özlü ve Nicholas, 2021). İnşaat için iki farklı miselyum bazlı kompozit malzeme üretilmiştir; miselyum bazlı köpük (MBF) ve miselyum bazlı sandviç kompozitlerdir (MBSC). MBF, mantarların küçük parçalar halinde tarımsal atıklarda homojen olarak büyütülmesiyle yapılır. Miselyum ağı büyüdükçe gözenekli bir malzeme oluşturmak için bu parçaları birbirine bağlayan hifler üretir. "Miselyum tuğlalar" veya "paneller" olarak hem MBF hem de MBSC, EPS (genleşmiş polistiren) köpüklere kıyasla mekanik mukavemet göstermiştir (Yang ve ark., 2021). Ayrıca sanatçı çevreler miselyuma kolay şekil verilebilirliği, yapısal homojenliği, hafifliği nedeniyle ayrı bir önem vermektedir.

Konu hakkında yapılan araştırmalara ve uygulamalarına bakıldığında miselyum kompozitlerinin en çok ilgi gören özellikleri fiziksel etkilere karşı mukavemetleri, ısı ve ses yalıtımlıkları, su emme dirençleri, yanmaya karşı dayanımları ve maliyetleridir. Bu durumun nedeni miselyum kompozitlerinin ticarileştirilmesi arzusudur. Bugünün dünyasında özellikle yapılaşma hızı ve inşaat uygulamalarında sarf edilen malzemelerin miktarları düşünüldüğünde geleneksel yapı malzemeleri yerine geçecek miselyum seri üretim anlayışı ile kendisine ekonomik bir alan yaratabilme potansiyeline sahiptir. Tüketim çılgınlığının bir sonucu olarak ortaya çıkan plastik, köpük, karton, vb. ambalaj atıklarının oluşturduğu devasa boyutlara ulaşan bir çevre kirliliği söz konusudur. Bunu engellemek adına dünya çapında devletler eliyle ve birtakım doğa dostu akımların gayretiyle ambalaj atıklarını azaltma ve/veya sürdürülebilir madde kaynaklı ambalajları teşvik etme kampanyası yürütülmektedir. Çevreye duyarlı ambalaj hammadde arayışında öne çıkan malzemelerden biri de miselyum kompozitleridir ve bu kampanyanın da boyutları düşünüldüğünde ticarileşme potansiyeli yüksektir. Söz gelimi ticarileşebilmesi de miselyumun teşvik edilmesi için geçerli ve yeterli bir nedendir.

O halde çekme ve basınç altındaki davranışına, ısı iletkenlik özelliklerine, ses yalıtım yeteneğine, yanmaya karşı dayanımına, su emme direncine ve yalıtım amaçlı kullanılan malzemelerle karşılaştırmalı olarak maliyetlerine bakarak miselyum kompozitleri hakkında en çok sorulan sorular yanıtlanabilir.

Çekme ve Basınç Dayanımları

Bu özellik genel olarak inşaat sektöründe aranan bir özelliktir. Miselyumun yapı malzemesi olarak kullanımının mümkün olup olmayacağı hakkında yapılan sınırlı sayıda araştırmaya göre miselyum ve kompozitle-

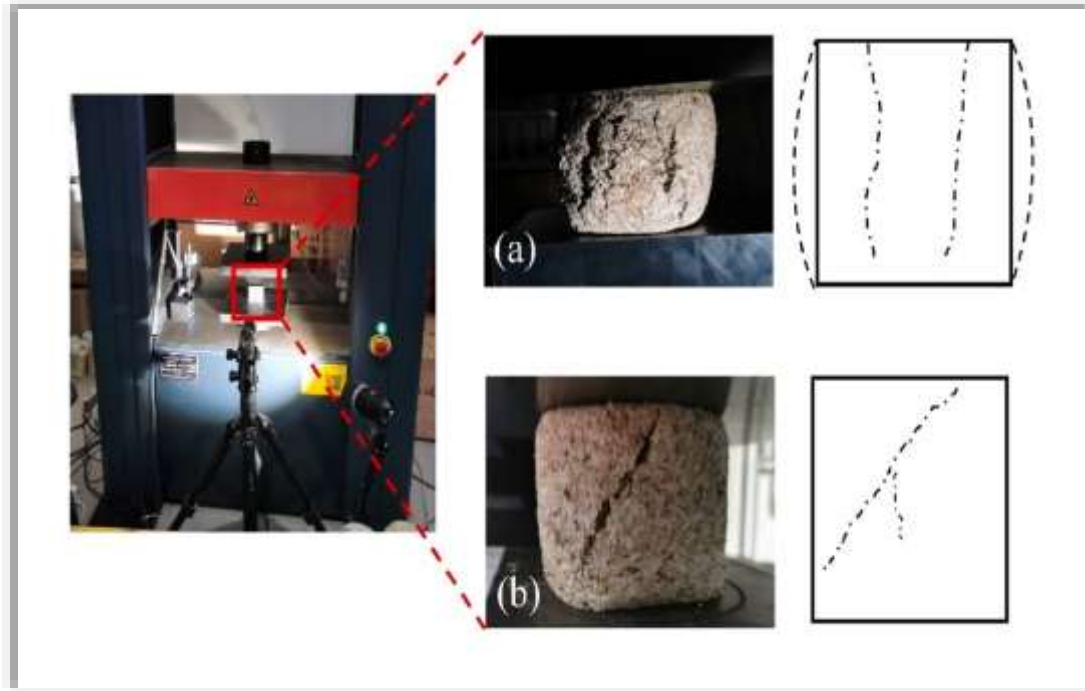
Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı

rinin çekme ve basınca karşı dayanımının taşıyıcı sistemlerde kullanıma uygun olmadığı görülmüştür. Bu nedenle miselyum kompozitleri yapılarda daha çok taşıyıcı olmayan dolgu amaçlı bulunan hafif tuğla ve farklı amaçlarla kullanılmak üzere soğuk veya sıcak presleme yoluyla üretilen levhalar olarak yer alır. Buna karşılık ses emilimi, ısı iletkenlik özelliklerinin yeterli olduğu ve geliştirilebileceği konusunda fikir birliği olduğu söylenebilir. Ayrıca taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında takviye ya da dolgu amaçlı kullanılabileceği ve bu şekilde yapıların en yüksek oranda geri dönüştürülebilir inşa edilebileceği de açıktır. Yine de çekme ve basınca gösterebildiği sınırlı mukavemete karşı paketleme gibi bazı alanlarda yeterli bulunarak rağbet görülebilir.

Sıcak ya da soğuk presleme ile kompozitin iç yapısındaki boşluklar azalacağından dolayı doğru orantılı olarak hava ve su miktarı da azalacak liflerin arasında

yeni bağlantılar oluşacaktır. Böylece kompozitin mekanik özelliklerinde önemli gelişmeler sağlanır. Kompozite zarar vereceğini bildiğimiz nem içeriği azaldığında hacim de azalır ve daha yoğun bir malzeme elde edilir. Böylece çekme ve basınca daha iyi performans gösteren yapı oluşur.

Çekmede malzeme tepkisi düşük basınç altında lineer elastiktir ve daha sonra malzeme kopmadan önce akarak şekil değişimine uğrar. Çekmedeki nihai mukavemet ise malzeme yoğunluğuna bağlı olarak 100-300 kPa arasında değişmektedir. Aynı şekilde Elastisite Modülü hem çekme hem de sıkıştırma için yoğunluğa bağlı olarak farklı sonuçlar vermektedir (İslam ve ark., 2017). Şekil 4'te miselyum numuneleri üzerinde yapılan basınç deneyleri sonucu oluşan şekil değişimleri örnek ve şematik görseller verilmiştir.



Şekil 4. Örnek bir miselyum numunesinin basınç testine tabii tutulması ve şekil değişimi (Gou ve ark., 2021)

2017 yılında Jeroen da Conceição van Nieuwenhuizen tarafından yapılan çalışma kapsamında Hollandalı çiftçilerden tedarik edilen biyolojik atıklarla kompozitleştirilerek hazırlanan ve silindirik kalıplarda büyütülen farklı büyüme (hasat) sürelerine sahip numuneler üzerinde basınç deneyleri yapılmıştır. Ayrıca miselyum kompozit tuğlaları ile oluşturulan bir duvarın taşıyıcılık kabiliyeti ile elastik ve plastik şekil değişimi gözlemlenmiştir. Test edilen malzemeler ortalama 100 kPa basınç dayanımı göstermiş olup taşıyıcı yapı elemanı

olarak kullanılamaz fakat duvar dolgusu (tuğla), yalıtım vs. olarak kullanılabilir. Numuneler ısı ile presleme işlemine tabii tutulursa mukavemetleri artacaktır. Elastik ve plastik davranışları kontrol edilirse duvar uygulaması daha yeterli yapı elemanları tasarlanabilir. Bununla birlikte hava boşluklu yapısı sayesinde ses ve ısı yalıtımı konusunda uygun performans gösterebilir. Suya ve neme tepkisini inceleyen daha fazla araştırma yapılması gerektiği görülmüştür (van Nieuwenhuizen ve ark., 2017).

Miselyum ve Kompozitlerinin Isıl İletkenlikleri

Geleneksel yalıtım malzemeleri, hayvansal ürünler (koyun yünü, tüy...), bitki bazlı ürünler (pamuk, ağaç lifi...) ve sentetik bileşikler (polistiren, poliüretan...) gibi farklı kaynaklardan elde edilir (Dias ve ark., 2021). Genellikle en çok kullanılan sistemler EPS (geniştirilmiş polistiren) veya XPS (ekstrüde polistiren köpük) izolasyonları ve çimento esaslı harçtan oluşan bir taban kaplaması içeren sistemlerdir. Bu yalıtım malzemeleri (EPS ve XPS) genel olarak daha sürdürülebilir yalıtım malzemelerine kıyasla düşük bir fiyat sunmasından dolayı tercih edilir. Ek olarak taşıyıcı ve camyünü de yalıtım amaçlı sık kullanılan malzemelerdir. Yaygın kullanılan yalıtım malzemeleri ile yapılan cepheye montaj yalıtım sistemleri, farklı katmanlara sahip çok bileşenli sistemlerdir: yapıstırıcı, ısı yalıtımı, mekanik sabitlemeler, temel kaplama, ağ ve son kaplamadır. Yalıtım ısı direnci artırma, ısı köprülerini pratik olarak ortadan kaldırma işlevine sahip bileşendir. Isıl direnç yalıtımın tipine ve kullanılan kalınlığa bağlı olarak değişir. Bu sistemler enerjiyi azaltmanın yanı sıra binaların ısı konforunu ve bazı durumlarda akustik konforu da arttırmaktadır (Malanho ve ark., 2021).

Taşıyıcı rol üstlenemeyeceği tespit edilen miselyum kompozitlerinin fiziksel, mekanik, yapısal özellikleri bileşimlerine, substratlarına ve üretim süreçlerine bağlı olarak özelleştirilebilir. Özelleştirilerek elde edilen daha gelişmiş kompozit yalıtım malzemeleri geleneksel yalıtım malzemeleriyle rekabet edebilmektedir ve türetilmeye uygundur. Miselyum kompozitlerinin yeterli mukavemeti gösterememesinden dolayı taşıyıcı eleman rolü üstlenemeyeceğini fakat yalıtım amacıyla kullanılması halinde bazı elverişli özellikleri sayesinde üstün performans gösterebileceği kanıtlanmıştır. Burada kimyasal yapısı, mantar türü, özellikle de boşluklu yapısı etkili olmaktadır. Buna karşılık kompozitlerin hava boşluğu arttıkça yapısal bütünlüğü bozulur. Unutulmamalıdır ki bu sistemler yakın zamanda piyasaya sürüldüğü için uygulamaları çok yenidir ve zaman içinde davranışları da halen bilinmemektedir (Malanho ve ark., 2021).

Daha düşük ısı iletkenlik ve termal gecikme daha iyi ısı yalıtımıdır. Daha fazla termal gecikmeye ve düşük ısı iletkenliğe sahip sistemler duvardan ısı kaybını veya kazanımını geciktirdikleri için binaların ısı performansının iyileştirilmesine katkıda bulunur. Bu nedenle mantar bazlı levha tipi yalıtım sistemleri ICB (mantar yalıtım levhası) ılıman iklim koşullarında olduğu gibi değişken termal koşullara maruz kalan binalarda kullanıldığında XPS (ekstrüde polistiren köpük) veya MW

(mineral yün) yalıtım malzemelerine dayalı ETICS (dış cephe ısı yalıtım kompozit sistemleri)'ten daha iyi termal davranış sergilemiştir (Malanho ve ark., 2021). ICB dünyanın diğer bazı ülkelerinde de üretilmekle birlikte Portekiz bu hücreli "organik doğal" yalıtım malzemesi (ICB) dahil olmak üzere mantar bazlı malzemelerin dünyanın en büyük üreticisi ve ihracatçısı konumundadır (Silvestre ve ark., 2016).

Saman ve kenevir lifleri gibi yüksek performanslı doğal yalıtkanlar içeren mantar miselyum kompozitleri hem düşük yoğunluklara (57–99 kg/m³) hem de düşük ısı iletkenliklere (0.04–0.08 W/m·K) sahiptir. Bu, koyun yünü (18 kg/m³, 0.05 W/m·K) ve kenaf (105 kg/m³, 0.04 W/m·K) dahil olmak üzere diğer doğal yalıtkanlara ek olarak yapı alanında cam yünü (57 kg/m³, 0.04 W/m·K) ve ekstrüde polistiren yalıtımı (XPS, 34 kg/m³, 0.03 W/m·K) gibi geleneksel ticari ısı yalıtım ürünleriyle rekabet edebilecek mükemmel yalıtım malzemeleri olmalarını sağlar (Jones ve ark., 2017). Bazı malzemelerin yoğunluk-ısı iletkenlik değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Geleneksel yapı malzemeleri ile miselyum kompozitlerinin yoğunluk ve ısı iletkenlikleri (Jones ve ark., 2017)

	Yoğunluk kg/m ³	Isıl iletkenlik W/m.K
Miselyum Kompoziti	57 - 99	0.04 – 0.08
Koyun Yünü	18	0.05
Kenaf	105	0.04
Cam Yünü	57	0.40
XPS	34	0.03

Daha düşük termal iletkenlik, daha iyi yalıtım malzemeleriyle ilişkili olmakla birlikte öncelikle malzemenin yoğunluğundan etkilenir. Termal iletkenlik ve malzeme yoğunluğu arasındaki güçlü ilişki kuru havanın son derece düşük termal iletkenliğine bağlanabilir. Bu durum hem düşük termal iletkenlik hem de yoğunluk gösteren kenevir veya saman gibi yüksek performanslı doğal yalıtkanlara bir büyüme substratı olarak dahil edildiğinde miselyum biyokompozitlerde de belirgin olarak karşımıza çıkar. Isı yalıtımının yanı sıra Miselyum biyokompozitleri akustik yalıtım için büyük bir potansiyel göstermiştir (Robertson, 2020). Özgül ısı kapasitesi özellikle yalıtım malzemeleri için önemli bir termofizik parametredir. Çünkü yoğunluk termal iletkenlik ile birlikte maruz kaldığında iç sıcaklığın değişme hızı olan malzemenin termal yayılımının hesaplanmasını sağlamaktadır. Ayrıca, sıcak iklim bölgelerinde binaların

içindeki sıcaklık değişimlerini azaltmak için son derece yararlı olan termal dalga veya faz gecikmesinin hesaplanmasına izin verir (Barreca ve Fichera 2016).

Miselyum ve Kompozitlerinin Akustik Özellikleri

Çevremizde sık duyduğumuz seslerin ya da maruz kaldığımız gürültülerin frekans düzeylerine baktığımızda; örneğin bir köpek havlaması 500–1500 Hz, insan konuşması 85–255 Hz ve insanlara yönelik sokak gürültüsü 700–1300 Hz dolaylarında ölçülebilir. Aynı şekilde konuşma sesi 40-60 dB, bağırma sesi 80-90 dB, uçağın kalkışı 120-140 dB ve silah patlaması (yakın Mesafe) 130 dB kadardır. Bu farklı frekans ve şiddet değerlerine sahip ses ve gürültülerin yok edilmesi ya da en azından azaltılması için kullanılan malzemeler ile karşılaştırıldığında miselyumun lifli ve boşluklu yapısı sayesinde çok iyi performans gösterdiği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir ve miselyumun bu özelliği lifli ve boşluklu yapısından kaynaklanmaktadır. Miselyum kompozitlerindeki lifler, akustik dalga hareketine direnen ses dalgalarının genliğini dalgalar malzemenin karmaşık geçitlerinden geçmeye çalışırken azaltan ve bu süreçte ısıya dönüştüren sürtünme elemanları gibi davranır. İnce lifler daha kolay hareket edebildikleri için daha iyi akustik absorpsiyon sağlamakla birlikte birim hacim başına daha fazla sayıda lif, daha karmaşık yollara ve daha büyük hava akışı direncine neden olur. Daha az yoğun ve daha açık yapılar dokunmamış lifli malzemelerde (500 Hz) düşük frekanslı sesi emerken, 2000 Hz'den yüksek frekanslar için daha yoğun yapılar daha iyidir. Bir malzemenin sıkıştırılması esas olarak kalınlığındaki azalmadan kaynaklanan akustik absorpsiyonda bir azalmaya neden olurken ve bu nedenle de akustik emiciler olarak kullanılan miselyum kompozitleri sıcak veya soğuk preslenmemelidir (Jones, 2020). Akustik yutucular ses dalgalarında hareket eden hava moleküllerinin mekanik hareketini ısı enerjisine dönüştürerek yansıyan gürültü gücünü ve ses birikimini azaltır. Sesin sönümlenmesinde sadece malzemenin bileşimi değil fiziksel yapısı da önemli rol oynamaktadır. Gelecekteki panellerin hem ısı hem de akustik yalıtım hususları ile tasarlanabileceği ve kullanım alanına bağlı olarak istenen özelliklere göre uyarlanabileceği de düşünülebilir (Robertson, 2020).

Yapılarda kullanımda kent gürültüsünü (araç sesleri, korna, insan sesleri, vb.) azaltmakla birlikte özellikle kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerde toplu konut tipi yapılaşmalarda (mesken, otel, işyeri, vd.) konfor sağlayacaktır.

Miselyum Biyokompozitlerin Yangın Güvenliği Özellikleri

Miselyum kendi başına yeterli düzeyde yangın geciktirici özelliğe sahip değildir. Bununla birlikte miselyum biyokompozitler bunları doğal olarak oluşan/sentetik olarak üretilmiş silika ve lignin gibi doğal fenolik polimerler bakımından zengin dolgu maddeleri veya substratlar ekleyerek elde edilebilir. Bunlar büyük ölçüde geliştirilmiş yangın reaksiyonu, termal bozulma ve güvenlik özellikleri göstermiştir. Örneğin, pirinç kabuklarının ağırlıkça %15-20 silika ve %25-30 lignin içerdiği bulunmuştur. Silika ve pirinç kabuğu hem endüstriyel atık ürünler olarak kabul edilir hem de düşük değerinde hazır bulunurlar. Böyle elverişli özelliklere ve ekonomik olarak uygun maliyete sahip girdiler substrat olarak kullanılarak elde edilecek miselyum biyokompozitleri yangına dayanıklı hale getirilebilir. Miselyum biyokompozitlerinin 'flashover' (bir yüzeyin ısınınca çıkardığı yanıcı gazların tutuşacak dereceye dek ısınıp birden parlayarak yüzeyi yakması) sürelerinin alışılmış yapı dış cephe kaplama malzemelerine göre uzun olduğunu da belirtmek gerekir. Ayrıca yine inşaat sektörü özelinde yangın halinde geleneksel yapı malzemelerine kıyasla miselyum biyokompozitleri yangın sırasında önemli ölçüde daha az insan sağlığı açısından tehlikeli gaz (duman, CO, CO₂) salınımı gerçekleştirecektir (Robertson, 2020).

Plastik köpükler genellikle yüksek hacimlerde duman ve karbon monoksit (CO) ve hidrojen siyanür dahil olmak üzere zehirli gazlar üreten hızlı alev yayılımını içeren yangınlara büyük katkıda bulunur. Parlama ve ısı salınımı ile ilişkili tehlikelerden bağımsız olarak yangınla ilgili ölümlerin çoğu yanık, travma veya diğer sebeplerden ziyade bu gazların bir sonucudur. CO maruziyeti son derece düşük konsantrasyonlarda (1500 ppm bir saat içinde ölüme neden olabilir) yetersizlik ve ölümlerle sonuçlanarak en büyük bireysel tehlike olarak kabul edilebilir (Jones ve ark., 2017).

Miselyum Biyokompozitlerin Su Emme Özellikleri

Ticari pazarda miselyumun en büyük sorunu su emmeye yatkınlığıdır denilebilir. Bir çalışmadan örnek vermek gerekirse hem pamuk frez elyafı hem de kolza tohumu samanı bazlı kompozitler 3 saat içinde ağırlıkça ~ %220'lik bir artış yaşamıştır. Bu nedenle kullanılması planlanan alana yönelirken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Yine aynı çalışmada kayın talaşı gibi partiküllü büyüme substratlarının kullanılması durumunda su ile 3 saatlik bir temas sonucu ağırlıkça %23'lük bir artış ve 192 saatlik bir temas sonucu ağırlıkça %43'lük bir artış yaşanmıştır. Bunun nedeni

Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı

olarak muhtemelen ince partiküllü substrat kompozitlerinde bulunan daha küçük boşluk içeriği ve daha yüksek malzeme yoğunluğunun olduğu söylenebilir (Robertson, 2020).

Üretim Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Miselyum Biyokompozitlerin EPS ile karşılaştırıldığı üretim maliyetleri açısından da rekabetçi oldukları gösterilmiştir. Hacme özgü maliyetler EPS'den (XPS, 491 AU\$/m³) 6 ila 12 kat daha ucuzdur (sırasıyla 40 AU\$/m³ ve 81 AU\$/m³). Miselyum için kompozit hammadde olarak kullanılan tarımsal atıklar, polistiren (2,1–2,3 ABD Doları/kg) ve poliüretanın (8,2–10,4 ABD Doları/kg) toptan fiyatına kıyasla çok daha ucuzdur. Üretim aşamasında 1 kg polistiren elde etmek için gereken brüt enerji 90 MJ'dir [19]. Buna karşılık miselyumun substrat ile kompozitleşme süreci doğal bir süreçle kendiliğinden gerçekleştiği düşünüldüğünde enerji maliyeti yok denebilir. Belirgin bir şekilde 1 kilogram Miselyum biyokompozitle toplam üretim fiyatının kabaca %90'ının işçilikle ilişkili maliyetler olduğu tahmin edilmektedir. Miselyumla ilgili olarak analiz yapılmamış olsa da miselyumun 5-7 günlük büyüme döneminde hiç enerji gerekmediği için gereken enerjinin önemli ölçüde daha düşük olması muhtemeldir. Özellikle işçilik maliyetleriyle ilgili olarak optimizasyon için önemli bir fırsat olduğunu açıkça göstermektedir. Bu üretim süreci büyük ölçüde bölümlere ayrılmış ve doğrusal olduğundan diğer birçok endüstride olduğu gibi otomasyon nihai ürünün tutarlılığını artırırken maliyetleri en aza indirecek bir çözüm sağlayabilir (Jones ve ark., 2017).

AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Avantajları

Uzun ve maliyetli fabrikasyon süreçleri gerektirmeksizin doğal yollardan kısa zamanda oluşan miselyum kolaylıkla ve oldukça düşük maliyetlerle tekrar doğaya atık üretmeden dönebilir. Miselyum biyokompozitleri başta tarımsal atıklar olmak üzere çeşitli büyüme ortamları kullanılarak yetiştirilir. O halde miselyum bazlı kompozitlerin ekonomi ve ekoloji açısından sürdürülebilir olduğu açıktır.

Hif ek enerji girişi olmadan ortam koşulları altında organik materyalin yüzeylerine bağlanır ve doğal yapıştırıcı görevi görür. Miselyum kitin ve beta-glukan bazlı yapısal oligosakkaritleri oluşturan birbirine bağlı lifli ipliklerin büyümesi yoluyla yapısal bağlanma sağlar. Miselyum düşük yoğunluklu, düşük maliyetli, daha az enerji, yoğun bir üretim süreci ve belki de en önemlisi

biyolojik olarak parçalanabilirlik olmak üzere geleneksel sentetik polimerlere göre birçok ana avantaja sahiptir (Jones ve ark., 2017).

Boşluklu yapısı ve kimyasal bileşenlerinin özellikleri miselyumun hafif olmasını sağlar. Hafifliği sayesinde örneğin yapılaşmada dolgu ve yalıtım malzemesi gibi alanlarda kullanılması durumunda yapının sabit yüklerini azaltarak avantaj sağlayabilir. Aynı şekilde hafif bir yapı malzemesi tedarik ve inşaat aşamasında stoklama, taşıma ve işçilik anlamında kolaylık ve zaman tasarrufu sağlayacaktır.

Miselyum biyokompozitlerinin ses ve ısı yalıtım kapasitesinin yüksek olmasının boşluklu yapısından kaynaklandığı söylenebilir. Yalıtım özellikleri sayesinde yine inşaat sektöründe cazip bir malzeme olduğunu göstermektedir. Artan konfor talebini karşılamada ve zorlu iklim koşullarında ısı ile ses izolasyonu sağlayarak geleneksel yapı malzemelerine meydan okumaktadır.

Miselyumun öne çıkan bir diğer üstünlüğü de yangın sırasındaki performansıdır. Yangın geciktiriciliği tehlikenin boyutunu azaltarak yangına müdahale için zaman kazandıracaktır. Yangın sırasında kritik bir eşik olan ani parlama (flashover) süresini de uzatarak miselyum maddi ve can kaybı riskini mümkün olduğunca dengeleyecektir. Ayrıca yaygın kullanılmakta olan yapı malzemelerinin birçoğu yanma sırasında zehirli gazlar açığa çıkarmaktadır.

Bütün kazanımlarına ek olarak miselyum farklı büyüme koşulları ile özelleştirilebilir olduğundan yeni ve/veya daha gelişmiş özellikler kazanabilir. Böylece gelecekte birçok sektörde farklı kullanım alanlarına sahip popüler bir ürün olacağı öngörülebilir.

Dezavantajları

Söz ettiğimiz bütün olumlu taraflarına karşılık miselyum kompozitlerinin çekme ve basınç mukavemeti yeterli değildir ayrıca boşluklu yapısı nedeniyle su emme kapasitesi yüksektir. Avantajlarına rağmen miselyum bazlı malzemelerin taşıyıcı yapı elemanları olarak uygulamaları öncelikle düşük mekanik özellikleri nedeniyle sınırlı kalmıştır. Yapısal kütlelerin bir binanın toplam gömülü karbonuna en büyük katkıyı yaptığı göz önüne alındığında miselyum gibi düşük karbonlu malzemelerin yapısal uygulamaları bir binanın çevresel performansını önemli ölçüde iyileştirme potansiyeline sahiptir (Bitting ve ark., 2022). Beton ve çelik gibi gelişmiş yapı malzemeleriyle rekabet edemez. Miselyumun nispeten yangına dayanıklılık özelliklerine sahip

Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı

yenilenebilir ve düşük karbonlu alternatif bir malzeme olurken akustikten mekanik özelliklere, basınç dayanımı dahil olmak üzere inşaat için önemli olan bir dizi özellik sağladığı kanıtlanmıştır. Bununla birlikte inşaat endüstrisinde uygulanmasının en büyük sınırlamalarından biri de gerilme ve bükülmeye karşı düşük direncinden kaynaklanmaktadır (Özdemir ve ark., 2022). Bu nedenle asıl yapı malzemelerine takviye olarak yük taşımamak kaydıyla duvarlarda dolgu malzemesi veya dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. Miselyum biyokompozitler yalıtımının hidrokarbon maddelerine kıyasla hala belirgin dezavantajları olması ticari ölçekte benimsenmesini engelleyebilir. Bunlara daha yüksek yoğunluk ve su alımıyla ilgili sorunlar da dahildir. Ayrıca hangi substrat bileşimi, mantar suşu, kuluçka koşulları ve üretim tekniklerinin kullanıldığına bağlı olarak malzeme performansında geniş çeşitlilik olabilir. Bu alandaki nispeten seyrek araştırma ile birleştğinde tam değerlendirmeleri ve çalışmalar arasında karşılaştırmaları daha zor hale getirir. Büyüyen organizmalarla çalışmanın ek faktörleri nedeniyle miselyum biyokompozitler üretirken yeni tasarım yaklaşımlarının da dikkate alınması gerekecektir. Miselyum biyokompozitler tasarımcıya şekiller ve iç geometriler yaratma konusunda yeni özgürlükler sunmaktadır. Ancak yalnızca 3 boyutlu baskı kullanılırken görülen potansiyel olarak seri üretim için uygun bir fiyata, gelişmiş ambalaj ürünleri ve özel yapım kompozit sandviç yapılar gibi düşük fiyatlı ürünler iç takviye elemanlarıdır (Robertson, 2020). Ayrıca su emen kompozitlerde şekil değişimi ve ağırlık artışı yaşanacaktır. Su ve nem kompozit üzerinde bozulmalar yaratarak yapının kısa ömürlü olmasına yol açacaktır. Bu nedenle doğru yerde kullanılması halinde verim sağlanabilir. Bununla birlikte düşük mukavemet gibi dezavantajlar yük taşıma kapasitesini iyileştirmek için sertliğini, çekme ve basınç mukavemetini daha fazla analiz etmeye teşvik etmiştir. Ayrıca alt tabaka olarak talaşların kullanılması miselyum bazlı malzemenin daha yüksek yoğunluğuna izin vermesiyle yük taşıma kapasitesini olumlu etkiler (Saez ve ark., 2020).

MİSELYUM İLE GELENEKSEL YAPI MALZEMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Kentleşmenin giderek hızlanması ile birlikte tuğla, çimento, yalıtım panelleri ve diğerleri gibi geleneksel yapı malzemelerinin sürekli temini için inşaat endüstrisi üzerinde önemli bir baskı oluşmuştur. Konvansiyonel yapı malzemelerinin üretiminde yüksek enerji gerektirmesinin yanı sıra hava, su ve toprak kirliliğine de neden olmaktadır. Tarım yan ürünleri ve atık-

larının miselyum ile kompozitleştirilebilmesi araştırmacıları düşük enerjili inşaat malzemelerinin üretimi ve atık geri dönüşümü açısından cezbetmektedir. Ayrıca miselyum bazlı malzemeler düşük maliyetle geri dönüşebilirlik ve daha az çevresel etki de dahil olmak üzere geleneksel malzemelere göre çeşitli avantajlar sunmaktadır. Kontrollü işleme teknikleriyle birlikte belirli uygulamalar için istenen yapı ve işleve sahip miselyum türevli malzemeler üretilebilmektedir.

Saman ve kenevir lifleri üzerinde yetiştirilen miselyum esaslı kompozitler genellikle güçlü bir bağlantıya sahip olan düşük yoğunlukları ve düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle doğal bir yalıtkan görevi görmektedir.

Miselyum bazlı malzemeler yanma sırasında daha az CO₂ ve duman ürettiği için parlamanın uzun zaman alması nedeniyle geleneksel yüksek yanıcı petrol bazlı malzemelere kıyasla daha güvenlidir.

Miselyum aynı zamanda olağanüstü bir akustik emici olmasından dolayı gürültü kirliliğini azaltmak için potansiyel olarak geleneksel kaplamaların yerini alabilir. Bir araştırmaya göre tarımsal kalıntılar içeren miselyum bazlı kompozitler %70-75'e kadar akustik emicilik gösterebilmektedir. Miselyum kompozitlerinin yüzey gözenekliliği ve lifleri akustik dalga hareketine müdahale etmektedir. Bu nedenle ses dalgaları malzemenin karmaşık geçişleri boyunca hareket ettikçe ve bu süreçte ısıya dönüştükçe potansiyel olarak genliğini azaltabilirler. İnce lifler kolayca hareket edebildikleri için gelişmiş akustik absorpsiyon sunmaktadır. Birim hacim başına çok sayıda lif ile daha fazla bükülme yolu sağlayarak daha iyi hava akışı direncine yardımcı olur. Genel olarak yoğun ve kompakt malzemeler ince ve gevşek malzemelere kıyasla daha fazla ses enerjisini emmektedir.

Ayrıca doğal termit öldürücüler kullanarak daha iyi termit direnci sunar. Bu benzersiz özellikler miselyum bazlı kompozitleri geleneksel yapı malzemelerine uygulanabilir, düşük maliyetli, güvenli ve çevresel açıdan sürdürülebilir alternatifler haline getirmektedir (Manan ve ark., 2021).

MİSELYUMUN BETONA ETKİSİ

Betonda oluşan ve donma çözünme etkisi gibi etkilerle giderek büyüyen çatlaklar yapının kullanılabilir ömrünü azaltmaktadır. Bu durumu engellemek ya da azaltmak adına yapılan çalışmalardan biri de biyobeton deneimleridir. Bakteri sporları ile yapılan bilindik biyobeton benzer şekilde miselyum biyobetonu hazırlanırken harcın içine miselyum sporları ve organik besin maddeleri karışıma beton karıştırılırken eklenir. Za-

Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı

manla çatlayan miselyum karışumlu biyobetonun çatlaklarına giren suyun etkisiyle aktif olan sporlar kalsiyum karbonat çökeltileri oluşturarak çatlağı onaracaktır. Bu sürecin ardından miselyum sporları tekrar uykuya geçecektir.

Miselyum biyobetonu teknolojisi köprü inşaatlarının geleceği olarak görülmektedir. Bunun nedeni ise bakım maliyetlerini düşürecek ve erişilemeyen/fark edilemeyen çatlaklardan kaynaklanan tehlikeleri azaltabilecek olmasıdır (Aparna ve ark., 2019).

3D BASKI MİSELYUMU

Malzemeleri tasarlama ve yapılandırma konusunda yüksek derecede özgürlük elde etmek için genellikle 3D baskı tercih edilen yöntemdir. 3D baskı teknolojileri nanometrikten makroskopik ölçeklere kadar değişen şekiller ve yapılar oluşturarak mimari de dahil olmak üzere geniş bir uygulama yelpazesi için tüm malzeme sınıflarına uygulanmıştır (Soh ve ark., 2020). Mimari ölçekte miselyum bazlı malzemelerle yeni üretim tekniklerinin uygulanması birtakım zorluklar sunar. Örneğin, miselyum prototipleme için robotik bir kolun kullanılması, doğru nem ve sıcaklık kontrolüne sahip bir temiz oda gerektirir (Bitting ve ark., 2022). Miselyumun gerilim ve eğilme direnci eksikliğini telafi etmek için son zamanlarda miselyumun güçlendirilmesine yönelik araştırmalar geliştirilmiştir. Dokuma tekstiller, ağaç lifleri veya 3D baskılı uzamsal kafesler kullanılan yöntemler arasındadır.

Miselyum 3D baskı Eric Klarenbeek, Chester Dols, the Blast stüdyosu, Offina Corpuscoli ve CodeIT gibi sanatçılar ve tasarımcılar tarafından araştırılmış fakat prosedürler ve özellikler henüz sistematik olarak incelenmemiştir (Soh ve ark., 2020).

SONUÇ

Geleneksel yapı malzemelerinin çoğu geri dönüştürülemez, yüksek enerji ve maliyet gerektirir ve çevre dostu değildir. Sürdürülebilir malzemeler üretim, kullanım, nakliye ve yıkım süreçlerinde daha az kirlilik ve daha az atık üreten ekonomik olarak uygulanabilir malzemelerdir.

Bugüne kadar malzeme bilimi alanında sınırlı sayıda mantar türü araştırılmıştır. Mantarların lif sistemi olan miselyum ile elde edilen kompozitler miselyumun organik substratlar (kenevir, talaş, saman, vb.) üzerinde büyümesiyle üretilir. Aşılama için kullanılan mantar türleri, organik madde (substrat) tipi, büyüme sırasındaki

çevresel koşullar (nem, sıcaklık, katkı, vb.), şekillendirme ve işleme teknikleri gibi büyüme koşulları kompozitin özelliklerini doğrudan etkiler. Büyümeyi etkileyen bu koşullar kompozitin kullanılacağı alana göre oluşturularak kompozit özelleştirilir. Böylece örneğin duvar yalıtımı için ayrı duvar dolgusu için ayrı koşullar sağlanarak hedeflenen özellikler elde edilebilir. Çeşitli araştırmalara göre miselyum bazlı kompozitler plastiklere kıyasla nispeten düşük bir yoğunluğa, yığma yapılarda kullanılan geleneksel malzemelere kıyasla düşük bir basınç ve çekme dayanımına sahiptir. Bunlarla birlikte miselyum ve kompozitlerinin çekme ve basınç karşı mukavemeti yetersizdir. Ayrıca belli standartları karşılamak için miselyum ve miselyum kompozitlerinin yangın geciktiricilik özellikleri artırılmalıdır. Yanan bir kompozit tarafından salınan ısı, duman ve gazlar da yangınla mücadelede zorlaştırarak yaralanma ve ölüm olasılığını artırabilir. Miselyum kompozitlerinde bulunan büyük miktarlarda organik madde bir yakıt kaynağı olarak hareket edebilir.

Mantar bazlı kompozitler sürdürülebilir ekonomi kavramına uygun bir yeniliktir. Miselyum doğal yapıştırıcı görevi üstlenerek tarım ve sanayi atığı organik substratları bağlayarak yenilikçi ve sürdürülebilir malzemeler haline getirir. Kütleme sürecinin sonunda kompozitler morfoloji, moleküler yapı, yoğunluk, basınç-çekme dayanımı, ısıl kararlılık, suya ve yangına karşı direnç gibi birçok açıdan değerlendirilir. Yapılan değerlendirme ile miselyum kompozitlerinin paketleme, yapı tasarımı, duvarlar, yalıtım ve hatta sanat gibi farklı alanlarda uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Miselyum kompozitlerin mekanik ve fiziksel avantajlarını düşük maliyetleri, çevre dostu üretim süreçleri ve biyolojik olarak parçalanabilirlikleri ile birleştirdiğimizde, kompozitlerin inşaat endüstrisinde kullanılan geleneksel malzemelerle rekabet gücünün yüksek olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alemu, D., Tafesse, M., Mondal, A. K. (2022). Mycelium-based composite: The future sustainable biomaterial. *International Journal of Biomaterials*, 2022; DOI: 10.1155/2022/8401528
- Aparna, D., Anuja, K., Joe, R (2019). Effect of mycelium on self-healing bio-concrete. Bridge Engineering Institute Conference (BEI), 22-25 July 2019, Honolulu, Hawaii, USA: 218-222.
- Bitting, S., Derme, T., Lee, J., Van Mele, T., Dillenburger, B., Block, P. (2022). Challenges and Opportunities in Scaling up Architectural Applications of Mycelium-Based Materials with Digital Fabrication. *Biomimetics*, 7(2), 44; DOI: 10.3390/biomimetics7020044
- Barreca, F., Fichera, C. R. (2016). Thermal insulation performance assessment of agglomerated cork boards. *Wood and Fiber Science*, 48(2): 96-103.

Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı

- Dias, P. P., Jayasinghe, L. B., Waldmann, D. (2021). Investigation of Mycelium-Miscanthus composites as building insulation material. *Results in Materials*, 10; DOI: 10.1016/j.rinma.2021.100189
- Elsacker, E., Vandellook, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L., Peeters, E. (2020). A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Science of The Total Environment*, 725, 138431; DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138431
- Gil, L. (2009). Cork composites: A review. *Materials*, 2(3): 776-789.
- Gil, L. (2015). New cork-based materials and applications. *Materials*, 8(2): 625-637.
- Gou, L., Li, S., Yin, J., Li, T., Liu, X. (2021). Morphological and physico-mechanical properties of mycelium biocomposites with natural reinforcement particles. *Construction and Building Materials*, 304: 124656; DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.124656
- Islam, M. R., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L., Picu, R. C. (2017). Morphology and mechanics of fungal mycelium. *Scientific reports*, 7(1): 1-12; DOI: 10.1038/s41598-017-13295-2
- Jones, M., Bhat, T., Wang, C. H., Moinuddin, K., John, S. (2017, August). Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites. In *Proceedings of the 21st International Conference on Composite Materials*, Xi'an, China, 20-25.
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, 187: 108397; DOI: 10.1016/j.matdes.2019.108397
- Malanho, S., Veiga, R., & Farinha, C. B. (2021). Global performance of sustainable thermal insulating systems with cork for building facades. *Buildings*, 11(3): 83; DOI: 10.3390/buildings11030083
- Manan, S., Ullah, M. W., Ul-Islam, M., Atta, O. M., Yang, G. (2021). Synthesis and applications of fungal mycelium-based advanced functional materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6(1): 1-10; DOI: 10.1016/j.jobab.2021.01.001
- Özlü, D., Nicholas, P. (2021). Architecture of reforestation: Mycelium as a new building material and design of the fibrous woven scaffolds. 12-15 October 2021, Coimbra, Portugal.
- Özdemir, E., Saeidi, N., Javadian, A., Rossi, A., Nolte, N., Ren, S., Dwan, A., Acosta, I., Hebel, D.E., Wurm, J., Eversmann, P. (2022). Wood-veneer-reinforced mycelium composites for sustainable building components. *Biomimetics*, 7(2): 39; DOI 10.3390/biomimetics7020039
- Robertson, O. (2020). Fungal future: A review of mycelium biocomposites as an ecological alternative insulation material. *DS 101: Proceedings of NordDesign 2020, Lyngby, Denmark, 12th-14th August 2020*, 1-13.
- Saez, D., Grizmann, D., Trautz, M., Werner, A. (2020). Analyzing a fungal mycelium and chipped wood composite for use in construction. In *Proceedings of the IASS Annual Symposium 21*: 555-565.
- Soh, E., Chew, Z. Y., Saeidi, N., Javadian, A., Hebel, D., Le Ferrand, H. (2020). Development of an extrudable paste to build mycelium-bound composites. *Materials & Design*, 195: 109058; DOI: 10.1016/j.matdes.2020.109058
- Silvestre, J. D., Pargana, N., De Brito, J., Pinheiro, M. D., Durão, V. (2016). Insulation cork boards- environmental life cycle assessment of an organic construction material. *Materials*, 9(5): 394; DOI: 10.3390/ma9050394
- URL-1 (2022). <https://www.fikir.gen.tr/mantarlar-alemi-ve-ozellikleri-mantarlarin-biyolojik-ve-ekonomik-acidan-onemi/> (Erişim Tarihi: 21.05.2022)
- van Nieuwenhuizen, J. D. C., Blauwhoff, D. R. L. M., De Werdt, M. F. C., Van Der Zanden, W. G. N., Van Rhee, D. J. J. L., Bottger, W. O. J. (2017). The compressive strength of mycelium derived from a mushroom production process. *Academic Journal of Civil Engineering*, 35(2): 265-271.
- Vandellook, S., Elsacker, E., Van Wylick, A., De Laet, L., Peeters, E. (2021). Current state and future prospects of pure mycelium materials. *Fungal biology and biotechnology*, 8(1): 1-10; DOI: 10.1186/s40694-021-00128-1
- Yang, L., Park, D., Qin, Z. (2021). Material function of mycelium-based bio-composite: A review. *Frontiers in material*, 374; DOI: 10.3389/fmats.2021.737377