

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

MİSELYUM BAZLI KOMPOZİT (MBK) MALZEMELERİN MİMARLIKTAKİ KULLANIMININ
İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selenay GÜLMÜŞ

TEMMUZ 2024
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**MİSELYUM BAZLI KOMPOZİT (MBK) MALZEMELERİN MİMARLIKTAKİ
KULLANIMININ İRDELENMESİ**

Selenay GÜLMÜŞ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"YÜKSEK MİMAR"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 / 05 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 09 / 07 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nihan ENGİN
ORCID : - - -

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Miselyum Bazlı Kompozit (MBK) Malzemelerin Mimarlıktaki Kullanımının İrdelenmesi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca kıymetli bilgi ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nihan ENGİN’e ve yüksek lisans eğitim sürecim boyunca bilgi ve birikimleriyle bana yol gösteren KTÜ Mimarlık Bölümü Öğretim Elemanlarına içtenlikle teşekkür ederim.

Hayatım boyunca aldığım tüm kararlara saygı duyan ve hedeflerimi gerçekleştirebilmek için maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Zarife GÜLMÜŞ ve babam Haluk GÜLMÜŞ’e; bu süreçte yanımda olan ve beni destekleyen tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Selenay GÜLMÜŞ

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Miselyum Bazlı Kompozit (MBK) Malzemelerin Mimarlıktaki Kullanımının İrdelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Nihan ENGİN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 09/07/2024

Selenay GÜLMÜŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Amaç ve Kapsam.....	2
1.3. Yöntem	2
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Literatür Çalışması	4
2.1.1. Biyomalzemeler	4
2.1.2. Biyokompozitler.....	6
2.1.3. Miselyum	10
2.1.4. Miselyum Bazlı Kompozitler (MBK)	11
2.1.5. MBK'lerin Mimarlıktaki Kullanımları	29
2.2. Analiz Çalışması.....	44
2.2.1. Örneklem Grubunu Oluşturacak Projelerin Seçilmesi.....	44
2.2.2. Seçilen MBK Projelerin Analiz Edilmesi	46
2.2.3. Çerçeveleme Tekniği ile Üretilen MBK Proje Örnek Analizleri.....	48
2.2.4. Kalıplama Tekniği ile Üretilen MBK Proje Örnek Analizleri	61
2.2.5. Kalıpsız Üretilen MBK Proje Örnek Analizleri.....	124
2.2.6. 3D Baskı Yöntemi ile Üretilen MBK Proje Örnek Analizleri	131
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	140
3.1. İncelenen MBK Proje Bilgileri ile İlgili Genel Bulgular ve Tartışmalar	140
3.2. İncelenen MBK Projelerin Üretim Teknikleri ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar.....	145
3.2.1. Çerçeveleme Tekniği ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar	145

3.2.2. Kalıplama Tekniği ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar.....	146
3.2.3. Kalıpsız Üretim ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar	147
3.2.4. 3D Baskı Yöntemi ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar.....	148
3.3. İncelenen MBK Projelerinin Üretim Akışları ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar.....	148
3.4. İncelenen MBK Projelerinin Bağlantı Teknikleri ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar.....	151
3.5. İncelenen MBK Projelerin Strüktürel Kurguları ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar.....	152
3.6. İncelenen MBK Projelerde Kullanılan Araç ve Gereçler ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar.....	154
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	157
4.1. MBK Malzemeler ile İlgili Genel Sonuçlar	157
4.2. İncelenen MBK Projeleri ile İlgili Sonuçlar.....	158
4.3. Öneriler.....	160
5. KAYNAKLAR	162
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

MİSELYUM BAZLI KOMPOZİT (MBK) MALZEMELERİN MİMARLIKTAKİ KULLANIMININ İRDELENMESİ

Selenay GÜLMÜŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Nihan ENGİN
2024, 180 Sayfa

Küresel CO₂ emisyonlarının büyük bir bölümünden sorumlu olan yapı sektörü, oluşturduğu çeşitli çevre sorunlarının çözümü noktasında biyokompozit yapı malzemelerinin kullanım olanaklarının artırılmasını amaçlamaktadır. Bu malzemelerin yapı sektöründeki kullanım potansiyelini iyileştirmek için araştırmalar yapmak, yaşam döngüsü bağlamında önemli olduğu gibi ekonomik ve ekolojik özelliklerinden dolayı sürdürülebilir kalkınmaya da katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında biyokompozit yapı malzemelerinden biri olan miselyum bazlı kompozit (MBK) malzemelerin mimarlık alanında kullanımının araştırılması amaçlanmıştır, son on yılda üretimi gerçekleştirilen 21 MBK proje; MBK üretim tekniği, MBK üretim akışı, MBK bağlantı tekniği, strüktürel kurgu ile araç ve gereçler bağlamında detaylı olarak analiz edilmiştir.

Çalışma sonucunda tablolar ve görseller yardımıyla gerçekleştirilen analiz çalışması ve bulgular değerlendirildiğinde; MBK'lerin hem geleneksel hem de yenilikçi üretim yöntemleriyle üretilmesi ve bağlantı sistemlerinin kurulabilmesi, yapı sektöründe; yapı malzemesi, yapı elemanı ve strüktür olarak kullanımlarının potansiyel göstermesi nedeniyle akademik araştırmaların ve yapı sektöründeki AR-GE çalışmalarının disiplinler arası çalışmalar ile gerçekleştirilmesinin gerekli ve önemli olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyokompozit, Miselyum, Miselyum Bazlı Kompozit (MBK)

Master Thesis

SUMMARY

SCRUNITIZING OF THE USE OF MYCELIUM BASED COMPOSITE (MBC) MATERIALS IN ARCHITECTURE

Selenay GÜLMÜŞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architecture Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Nihan ENGİN
2024, 180 Pages

The construction sector, which is responsible for a large part of global CO₂ emissions, aims to increase the use of biocomposite building materials at the point of solving various environmental problems. Conducting research to improve the potential of use of these materials in the construction sector is important in the context of the life cycle and contributes to sustainable development due to its economic and ecological properties.

Within the scope of this study, it was aimed to investigate the use of mycelium-based composite (MBC) materials, one of the biocomposite building materials, in the field of architecture, and 21 MBC projects produced in the last decade were analyzed in detail in the context of MBC production technique, MBC production flow, MBC connection technique, structural fiction and tools and equipment.

As a result of the study, when the analysis study and findings carried out with the help of tables and visuals were evaluated; The production of MBCs with both traditional and innovative production methods and the establishment of connection systems, in the construction sector; Due to the potential of their use as building materials, building elements and structures, it has been seen that it is necessary and important to carry out academic research and R&D studies in the building sector with interdisciplinary studies.

Key Words: Biocomposite, Mycelium, Mycelium-Based Composite (MBC)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Çalışma yönteminin süreç modeli	3
Şekil 2. Biyomalzemelerin sınıflandırılması (Tappa & Jammalamadaka, 2018)	5
Şekil 3. Kompozitlerin takviye şekillerine göre sınıflandırılması (Campbell F. C., 2010; Such ve diğerleri, 2014; Dawoud & Saleh, 2019; Baydar, 2011)	6
Şekil 4. Takviye çeşitlerine göre kompozitler (Baydar, 2011)	7
Şekil 5. Doğal liflerin sınıflandırılması (Zini & Scandola, 2011; Erden & Ho, 2017)	8
Şekil 6. Biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması (Ferreira, vd., 2016; Baghi, vd., 2022; Ghanbarzadeh & Almasi, 2013; Zhong, vd., 2020)	9
Şekil 7. Biyokompozit üretim teknikleri (Raj ve diğerleri, 2023; İNOVETA Kompozit, 2024)	10
Şekil 8. Miselyum oluşturan bir mantarın yapısı (Ecovative, 2022) kaynağından uyarlanmıştır.	11
Şekil 9. Mantar hücre duvarı bileşenleri (Vega & Kalkum, 2012) kaynağından uyarlanmıştır.	11
Şekil 10. MBK oluşturma süreci (Snøhetta, 2021; Appels ve diğerleri, 2019) kaynaklarından uyarlanmıştır.	12
Şekil 11. MBK üzerine yayınlanan bilimsel makalelerin konu alanlarına göre dağılımı	12
Şekil 12. MBK'lerin üretim akışı	14
Şekil 13. MBSK üretim akışı (Jiang, 2015)	15
Şekil 14. MBK'lerin 3D baskı üretim akışı	16
Şekil 15. Aşılama yöntemleri; a) Granül aktarımıyla aşılama, b) Sıvı kültürle aşılama (Kırdök, 2020)	17
Şekil 16. MBK'lerin kalıp olarak kullanımı; a) Robotik aşındırıcı tel kesme yöntemi ile MBK'nin kesilmesi, b) MBK kalıp, c) Kalıptan çıkarılan beton elemanın son hali (Elsacker, vd., 2021)	20
Şekil 17. Dörtlü reçine akış konfigürasyonu (Jiang ve diğerleri, 2014)	23
Şekil 18. UV ile kürlenmiş bitkisel yağ kaplamalı MBK (Tudryn, 2014)	23
Şekil 19. P. ostreatus miselyumunun farklı nem içeriklerindeki kolonizasyonu (Nashiruddin ve diğerleri, 2022)	25
Şekil 20. MycoCreate'in ilk tam ölçekli prototipinin kontaminasyon nedeniyle çökmesi (Ghazvinian, 2023)	26
Şekil 21. MBK dış yüzeyinde kömür tabakası oluşumu (Jones, vd., 2017)	32

Şekil 22.	Ahşap kaplamalı MBSK'de delaminasyon oluşumu (Postel, 2020).....	34
Şekil 23.	Shell Mycelium planı (Architetto, 2016).....	49
Şekil 24.	Shell Mycelium ahşap rijit ızgara çerçeveleme bağlantı detayı (Architetto, 2016)	50
Şekil 25.	Shell Mycelium panel kurulumu (Architetto, 2016).....	50
Şekil 26.	Miselyumun kolonizasyonu (Architetto, 2016).....	51
Şekil 27.	Shell Mycelium strüktür sistemi (Architetto, 2016).....	52
Şekil 28.	Shell Mycelium kurulumu (Architetto, 2016)	52
Şekil 29.	From Waste to Biomaterial çerçeveleme sistemi (Strunge, 2019)	54
Şekil 30.	MBK üretim akışı; (sol üst) kahve telvesi ve miselyum karışımı, (sağ üst) kenevir keçelerinin kenevir ipleri üzerine yerleştirilmesi, (sol alt) miselyum kolonizasyonu, (sağ alt) istiridye mantarı oluşumu (Strunge, 2019).....	55
Şekil 31.	From Waste to Biomaterial bağlantı tekniği (Strunge, 2019).....	56
Şekil 32.	Strüktür bağlantı elemanları (Strunge, 2019)	56
Şekil 33.	Inhabiting Ecologies çerçeveleme sistemi (Sean Lyon, 2023).....	58
Şekil 34.	Miselyum kolonizasyonu (Jordahn, 2022)	59
Şekil 35.	Strüktür ve bağlantı elemanları (Sean Lyon, 2023).....	60
Şekil 36.	Miselyumun davranış kurgusu (Sean Lyon, 2023).....	60
Şekil 37.	Hy-Fi Tower statik kalıplama (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014)	62
Şekil 38.	Hy-Fi Tower film kaplı MBK yapı blokları (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014; Hecht, 2014)	63
Şekil 39.	MBK yapı bloğu üretim akışı; (sol) miselyum ve substrat karışımı, (orta) miselyum kolonizasyonu, (sağ) boyama işlemi (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2015; Nunes, 2014).....	64
Şekil 40.	(sol) MBK yapı bloklarının anizotropik yapısı, (sağ) MBK yığma sistemi.....	64
Şekil 41.	(sol) MBK yapı bloklarının mukavemet testi, (sağ) MBK yığma ve ahşap strüktür (Architizer, 2014; Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014)	65
Şekil 42.	Performans ve deneyim katmanları; (sol) hava akışı, (sağ) ses emilimi (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2015).....	66
Şekil 43.	Hy-Fi Tower üretim gereçleri (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014; Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2015).....	66
Şekil 44.	Kalıp tasarımı (Parametrichouse, 2024; BRG, 2017).....	68
Şekil 45.	MycoTree- statik kalıplama yöntemi ile MBK blokların üretimi (Frearson, 2017b; Parametrichouse, 2024).....	69

Şekil 46.	MBK blokların birincil kolonizasyonu ve çevre koşullarının kontrolü (Frearson, 2017b; BRG, 2017)	70
Şekil 47.	MBK blokların bağlantı tekniği (Frearson, 2017b)	70
Şekil 48.	MycoTree strüktür kurgusu (Frearson, 2017b; Parametrichouse, 2024).....	71
Şekil 49.	MycoTree tasarım ve üretim gereçleri; a) Kalıp tasarımı, b) Strüktür tasarımı, c) 3D grafik statifi (Heisel ve diğerleri, 2017; Frearson, 2017b).....	72
Şekil 50.	Mycoarch kalıplama yöntemi (Yaşar University Faculty of Architecture, 2021; Jensen, 2017)	74
Şekil 51.	Mycoarch MBK üretim akışı (Jensen, 2017).....	75
Şekil 52.	Strüktürün dağılması (Yaşar University Faculty of Architecture, 2021)	76
Şekil 53.	MBK kemerin form ve kuvvet diyagramları ve 3D modellemesi (Yaşar University Faculty of Architecture, 2021; Jensen, 2017)	76
Şekil 54.	Modular Mycelia kalıplama (Campbell, vd., 2017)	78
Şekil 55.	Modüler MBK birimlerin üretimi (Campbell, vd., 2017).....	79
Şekil 56.	Modular Mycelia kaynaklı birleşim (myco-welding) (Campbell, vd., 2017).....	79
Şekil 57.	MBK modüllerin kademeli olarak istiflenmesi (Campbell, vd., 2017)	80
Şekil 58.	Grown Structures MBK üretim tekniği (Mandin, 2024)	82
Şekil 59.	İstiridye mantarı oluşumu (Mandin, 2024).....	83
Şekil 60.	“Mantar sosisleri” nin kaynaklı birleşimi (Mandin, 2024).....	83
Şekil 61.	MBK yüzey aktif strüktürel yapı bileşeni parçası (Mandin, 2024)	84
Şekil 62.	The Growing Pavilion proje ölçeği (Vinck, 2019)	86
Şekil 63.	The Growing Pavilion malzeme atlası (The Growing Pavilion, 2024)	87
Şekil 64.	MBK cephe panellerinin kalıplanması (Company New Heroes, 2019a)	87
Şekil 65.	The Growing Pavilion MBK cephe panelleri (Melander, 2019)	88
Şekil 66.	The Growing Pavilion strüktür sistemi (Melander, 2019).....	89
Şekil 67.	Ters katener MBK kemerlerin kalıplama süreci (AGI, 2019; Descalzi ve diğerleri, 2019).....	91
Şekil 68.	The Circular Garden üretim akışı diyagramı (Descalzi, vd., 2019).....	92
Şekil 69.	The Circular Garden bağlantı araçları (WASTERUSH, 2022; Peccoz, 2019).....	92
Şekil 70.	The Circular Garden strüktür (Peccoz, 2019).....	93
Şekil 71.	Refugio Fungico proje ölçeği (Mora, 2021).....	95
Şekil 72.	Refugio Fungico ikili statik kalıplama yöntemi (Mancino, 2021)	96
Şekil 73.	Refugio Fungico üretim akışı (Mancino, 2021)	96
Şekil 74.	Biyo-sonifikasyon işlemi (Mora, 2021).....	97

Şekil 75.	Refugio Fungico MBK bağlantı tekniği (Mora, 2021).....	97
Şekil 76.	Refugio Fungico strüktür (Mora, 2021).....	98
Şekil 77.	Refugio Fungico tasarım araçları (Superpraxis, 2021).....	98
Şekil 78.	MY-CO SPACE proje ölçeği ve mekan organizasyonu (Technische Universität Berlin, 2024; Günzel, 2021).....	100
Şekil 79.	MY-CO SPACE kalıplama (Meyer, vd., 2022; Technische Universität Berlin, 2024).....	101
Şekil 80.	Miselyum kolonizasyonu; a) 50 kat büyütme, b) 150 kat büyütme; c) Konvektif kurutma yöntemi (Technische Universität Berlin, 2024; Vera Meyer V. meer, 2021c)	102
Şekil 81.	Çivi ile bağlantı tekniği (Vera Meyer V. meer, 2021a)	102
Şekil 82.	MY-CO SPACE strüktür kurgusu (Meyer, vd., 2022; Technische Universität Berlin, 2024; Günzel, 2021).....	103
Şekil 83.	MY-CO SPACE tasarım araçları; a) Üç boyutlu şematik katmanlı diyagram, b) MBK panellerin diyagramı, c) Altıgen kalıbın lazer kesim için parça dizilimi (Technische Universität Berlin, 2024).....	103
Şekil 84.	La Parete Fungina kalıplama (Dessi-Olive, 2022)	105
Şekil 85.	La Parete Fungina MBK üretim akışı (Dessi-Olive, 2022)	106
Şekil 86.	MBK blokların kaynaklı birleşimi (Dessi-Olive, 2022)	107
Şekil 87.	La Parete Fungina strüktür (Dessi-Olive, 2022).....	107
Şekil 88.	MycoCreate 2.0 kalıplama (Ghazvinian, 2023).....	109
Şekil 89.	MBK blokların bağlantı tekniği (Luo, 2022).....	110
Şekil 90.	MycoCreate strüktür kurgusu (Luo, 2022)	111
Şekil 91.	BioKnit kalıplama (Agraviador ve diğerleri, 2022; Kaiser, 2023).....	113
Şekil 92.	BioKnit MBK üretim akışı (Kaiser, 2023; HBBE Hub for Biotechnology in the Built Environment, 2023).....	114
Şekil 93.	BioKnit MBK bileşenlerin kaynaklı birleşimi (HBBE, 2024)	114
Şekil 94.	BioKnit 3 boyutlu tarama görüntüleri ve ölçümleri (Agraviador ve diğerleri, 2022)	115
Şekil 95.	Monolito Micelio proje ölçeği (Miller, 2018)	117
Şekil 96.	Monolito Micelio kalıplama (Miller, 2018).....	118
Şekil 97.	Miselyum-substrat karışımının kalıplara aktarılması (Miller, 2018).....	119
Şekil 98.	Monolito Micelio iç iskelet kurulumu (Miller, 2018)	120
Şekil 99.	Monolito Micelio geometrisinin oluşum diyagramı (Dessi-Olive, 2019)	120
Şekil 100.	L'Orso Fungino kalıplama (Dessi-Olive, 2022).....	122
Şekil 101.	L'Orso Fungino MBK üretim akışı (Dessi-Olive, 2022).....	123

Şekil 102. L’Orso Fungino ardgerme sistemi (Dessi-Olive, 2022)	124
Şekil 103. Mycelium Tectonics MBK üretim akışı; (sol) aşılama, (orta) çerçeve sistem, (sağ) miselyum kolonizasyonu (Tabellini, 2014/2015).....	126
Şekil 104. Mycelium Tectonics strüktür (Tabellini, 2015).....	127
Şekil 105. Thick and Thin üretim akışı (JDOVaults, 2018)	129
Şekil 106. Thick and Thin strüktür (JDOVaults, 2018).....	130
Şekil 107. Thick and Thin form bulma süreci (JDOVaults, 2018).....	130
Şekil 108. Pulp Faction eklemeli üretimi (bioDigital matter, 2024).....	132
Şekil 109. Pulp Faction MBK üretim akışı; a) sıvı kültürlerin oluşturulması, b) Aşılama işlemi (Ana, 2020).....	133
Şekil 110. Pulp Faction-Protomycokion strüktür (Ana, 2020; bioDigital matter, 2024).....	134
Şekil 111. Tilted Arch eklemeli üretimi (Modanloo, vd., 2021)	136
Şekil 112. Tilted Arch MBK katener kemerlerin ikincil kolonizasyonu (Modanloo, vd., 2021).....	137
Şekil 113. Tilted Arch MBK katener kemerlerin kaynaklı birleşimi (Modanloo, vd., 2021).....	138
Şekil 114. Tilted Arch strüktür yük dağılımı (Modanloo, vd., 2021).....	138
Şekil 115. Tilted Arch form bulma süreci (Modanloo, vd., 2021)	139
Şekil 116. İncelenen MBK projelerin üretim yöntemlerine ve yıllara göre dağılımı	143

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	MBK'lerin üretim akışındaki faktörler (Elsacker, vd., 2019; Attias, vd., 2017; Ghazvinian, 2023) kaynaklarından yararlanılarak oluşturulmuştur.	24
Tablo 2.	MBK'lerin yapısal özellikleri (Arslan & Aktaş, 2018; Bruscato, vd., 2019; Jones, vd., 2020; Özer & Acun Özgünler, 2019; Postel, 2020; Saez, vd., 2021; T.S.E., 2008; Uçar Peten, 2022; Ziegler, vd., 2016; Sağlam & Özgünler, 2022)	35
Tablo 3.	Yapı sektöründe MBK projeleri	37
Tablo 4.	Akademik alanda MBK araştırmaları	41
Tablo 5.	Örneklem grubunun kronolojik sıralanışı	44
Tablo 6.	Shell Mycelium (Architetto, 2016; Frearson, 2017a)	48
Tablo 7.	From Waste to Biomaterial (Strunge, 2019; Søren Jensen, 2024)	53
Tablo 8.	Inhabiting Ecologies (Sean Lyon, 2023; Jordahn, 2022; Chart Art Fair, 2022)	57
Tablo 9.	Hy-Fi Tower (Maloney, 2014; Stott, 2014; Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014)	61
Tablo 10.	MycoTree (Heisel ve diğerleri, 2017; BRG, 2024; Parametrichouse, 2024)	67
Tablo 11.	Mycoarch (Dessi-Olive, 2019; Yaşar University Faculty of Architecture, 2021; Jensen, 2017)	73
Tablo 12.	Modular Mycelia (Campbell, vd., 2017)	77
Tablo 13.	Grown Structures (Mandin, 2024; Morby, 2017; Mok, 2018)	81
Tablo 14.	The Growing Pavilion (Company New Heroes, 2022; The Growing Pavilion, 2024; Pownall, 2019)	85
Tablo 15.	The Circular Garden (Carlo Ratti Associati, 2019; Hitti, 2019; AGI, 2019; Descalzi ve diğerleri, 2019)	90
Tablo 16.	Refugio Fungico (Dejtiar, 2021; Mora, 2021; Superpraxis, 2021; Soriano, 2022; MDPYA, 2024; Casa, 2024)	94
Tablo 17.	MY-CO SPACE (Meyer, vd., 2022; Technische Universität Berlin, 2024; Pohl, vd., 2022; Vera Meyer V. meer, 2021a; Vera Meyer V. meer, 2021b; Günzel, 2021)	99
Tablo 18.	La Parete Fungina (Dessi-Olive, 2022; MycoMatters Lab, 2024)	104
Tablo 19.	MycoCreate 2.0 (Ghazvinian, 2023; PennState College of Arts and Architecture, 2024)	108

Tablo 20.	BioKnit (Kaiser, 2023; Agraviador ve diğerleri, 2022; HBBE, 2024).....	112
Tablo 21.	Monolito Micelio (Dessi-Olive, 2022; Dessi-Olive, 2019; Miller, 2018)	116
Tablo 22.	L’Orso Fungino (Dessi-Olive, 2022).....	121
Tablo 23.	Mycelium Tectonics (Tabellini, 2015; Materiability Research Group, 2024; Tabellini, 2014/2015)	125
Tablo 24.	Thick and Thin (Dessi-Olive, 2019; JDOVaults, 2018)	128
Tablo 25.	Pulp Faction (Goidea, vd., 2020).....	131
Tablo 26.	Tilted Arch (Modanloo ve diğerleri, 2021)	135
Tablo 27.	İncelenen MBK projelerin tasarım ve üretim sorumluları.....	141
Tablo 28.	İncelenen MBK projelerin yapım yeri ve yılı.....	142
Tablo 29.	İncelenen MBK projelerinin genel bilgileri.....	144
Tablo 30.	Çerçeveleme tekniği kullanılarak üretilen MBK projelerin çerçeve bilgileri.....	145
Tablo 31.	Kalıplama tekniği kullanılarak üretilen MBK projelerin kalıp bilgileri.....	147
Tablo 32.	3D baskı yöntemi kullanılarak üretilen projelerin teknik bilgileri	148
Tablo 33.	İncelenen projelerin MBK üretim akışları.....	150
Tablo 34.	İncelenen projelerin MBK bağlantı teknikleri.....	152
Tablo 35.	İncelenen MBK projelerinin strüktürel kurguları	153
Tablo 36.	İncelenen MBK projelerde kullanılan araç ve gereçler	155

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A&G	: Araç ve Gereçler
AM	: Eklemeli Üretim (Additive Manufacturing)
AR-GE	: Araştırma geliştirme
BT	: Bağlantı Tekniği
CO ₂	: Karbondioksit
Ft	: Feet
kN	: Kilonewton
MBK	: Miselyum Bazlı Kompozit
MBSK	: Miselyum Bazlı Sandviç Kompozit
SK	: Strüktürel Kurgu
UV	: Ultraviyole
ÜA	: Üretim Akışı
ÜT	: Üretim Tekniği

1. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde, tez çalışmasını ortaya çıkaran güncel durum ve tez konusunun önemi, tezin amacı, kapsamı ve yöntemi detaylı olarak açıklanmaktadır.

1.1. Giriş

Küresel çapta yapı üretim sistemi içerisinde yer alan yapım, yenileme ve yıkım aşamalarında yaklaşık 100 milyar ton atık oluşmaktadır ve bu atıkların yaklaşık %35'i çöp depolama alanlarına gönderilmektedir (United Nations Environment Programme, 2022). Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü'nün (OECD) 2019 yılında yayımladığı rapora göre 2060 yılına kadar kaynak tüketimindeki en büyük artışın, özellikle gelişmekte olan ekonomilerde, inşaat malzemeleri ve metaller dahil olmak üzere minerallerde olacağı tahmin edilmektedir (Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2019). Uluslararası inşaat sektörü ile ilişkili karbon emisyonlarındaki en büyük payın (%37) yapı malzemelerinin çıkarılması, işlenmesi, imalatı ve nakliyesinden kaynaklandığı düşünüldüğünde çevreyi korumak ve karbon ayak izini azaltmak için sürdürülebilirlik alanında gömülü karbon enerjisi düşük yapı malzemelerinin yapı sektöründe kullanılmasına yönelik yapılan araştırmalar ve çalışmalar günümüzde önemini ön plana çıkarmıştır (Dias ve diğerleri, 2021; United Nations Environment Programme, 2022).

Biyokompozit bir ürün olan miselyum bazlı biyokompozitler (MBK), geleneksel ısı yalıtım malzemeleriyle rekabet edecek düzeyde ısı iletkenlik değerine sahip olması, %70-75 akustik emilim değeriyle akustik yalıtım performansı sergilemesi (Jones ve diğerleri, 2020), ahşap gibi ısıya maruz kaldığında oluşturduğu kömür tabakası nedeniyle yangın geciktirici olarak davranması (Jones ve diğerleri, 2017), atmosferik partikül maddeleri filtreleyebilmesi (Lee & Choi, 2021), doğal polimerden oluşan miselyum ve doğal hammaddeden oluşan substratlardan üretilmesi (Appels ve diğerleri, 2019; Haneef ve diğerleri, 2017) sebebiyle tamamen geri dönüştürülebilmesi özellikleriyle bilhassa AR-GE (araştırma geliştirme) çalışmalarında irdelenen, günümüz ve gelecek için sürdürülebilirliğe katkı verecek yapı malzemelerinden biri olduğu düşünülmektedir.

1.2. Amaç ve Kapsam

Çalışmanın amacı, yapı sektöründe süregelen fosil bazlı ve yenilenemeyen yapı malzemelerinin yerini alabilecek biyokompozitlerden biri olan miselyum bazlı kompozit (MBK)'lerin mimarlık alanında kullanımını araştırmak ve günümüz ile gelecekteki kullanımına zemin hazırlamaktır.

Bu amaç kapsamında son10 yılda üretilmiş olan MBK projeler arasından seçilen 21 MBK projenin;

- MBK üretim teknikleri,
- MBK üretim akışları,
- MBK bağlantı teknikleri,
- Strüktürel kurguları ile
- Araç ve gereçleri analiz edilip değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında, incelenen MBK projelerde kullanılan MBK'lerin malzeme bazındaki yapısal özellikleri (yoğunluk, yangın dayanımı, ısı iletkenliği, su emilimi, akustik emilimi, basınç ve eğilme dayanımı) kapsam dışı bırakılmıştır.

1.3. Yöntem

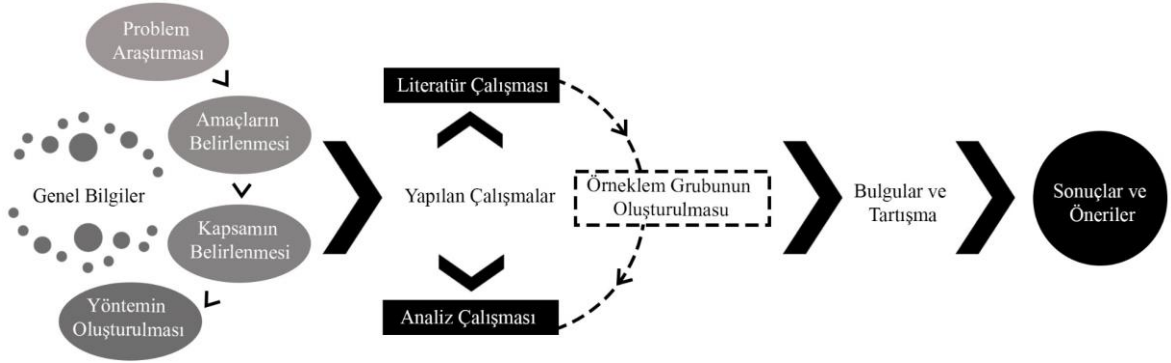
Çalışma kapsamında, nitel (betimsel, ilişkisel, korelasyonel) araştırma türü kullanılmıştır. Çalışmada; genel evren “biyokompozit malzemeler”, çalışma evreni ise “miselyum bazlı biyokompozitler” olarak belirlenmiştir. Yapılan tez çalışması dört ana başlık altında ele alınmıştır;

1. “Genel Bilgiler” bölümünde; çalışmayı ortaya çıkaran güncel durum giriş olarak açıklanmış, çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi detaylı olarak verilmiştir.
2. “Yapılan Çalışmalar” bölümü, literatür ve analiz çalışmalarını kapsamaktadır. Literatür çalışmasında elde edilen bilgilerde; lisansüstü tez, makale, bildiri, e-kitap, rapor, internet kaynakları gibi birçok kaynaktan yararlanılmıştır. 5 alt başlıktan oluşan bu bölümde öncelikle MBK'lerin malzeme sınıfı içerisindeki yeri, MBK'lerin üretim sistemleri, MBK'lerin üretimini etkileyen etkenler ve MBK'lerin yapı malzemesi olarak davranışları literatür üzerinden irdelenmiştir. Analiz çalışmasında ise yapı sektöründe ve akademik alanda gerçekleştirilen MBK projeleri arasından örneklem grubu olarak son on yılda

üretile 21 MBK proje seçilmiştir. Bu projelerin seçiminde; projelerin gerçekleştirilmiş olması, MBK’lerin yapım sistemi içerisinde belirli bir işlevi olması ve projelerde kullanılan MBK ve strüktür sistemi ile tasarım ve üretim yöntemi hakkında yeterli bilgiye erişilebilme imkanının olması esas alınmıştır. İncelenen 21 MBK proje, üretim yöntemlerine göre gruplandırılarak proje ile ilgili genel bilgiler, MBK üretim tekniği, MBK üretim akışı, MBK bağlantı tekniği, strüktürel kurgu ile araç ve gereçler olmak üzere 6 alt başlıkta oluşturulan analiz tabloları ve görseller üzerinden incelenmiştir.

3. “Bulgular ve Tartışma” bölümünde; analiz çalışmasından elde edilen bulgular tablolar üzerinden açıklanmıştır. MBK’lerin mimarlık alanındaki kullanımları, elde edilen bulgular bağlamında tartışılmıştır.
4. “Sonuçlar ve Öneriler” bölümünde literatür ve analiz çalışmasından elde edilen bulgu ve tartışmaların sonuçları değerlendirilmiştir.

Çalışma sürecinde izlenen yöntemin grafiksel anlatımı Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Çalışma yönteminin süreç modeli

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmalar bölümü; literatür çalışması ve analiz çalışması olmak üzere iki ana alt başlıktan oluşmaktadır.

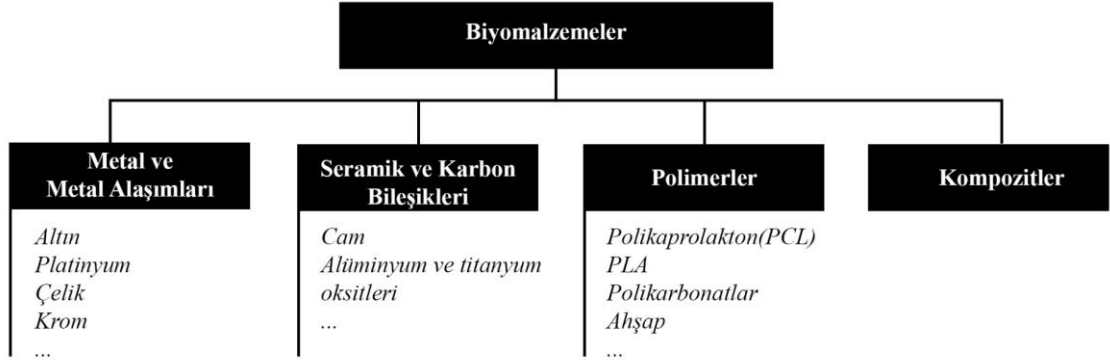
2.1. Literatür Çalışması

2.1.1. Biyomalzemeler

18. yüzyılın ikinci yarısında buhar makinesinin icadı ile başlayan I. Endüstri devrimi ile birlikte üretim sisteminde insan gücü arka plana atılarak makineleşme ön plana çıkmıştır. 19. yüzyılın sonlarında II. Endüstri devrimini başlatan elektrikli motorların kullanımı, üretimin sisteminin seri hale getirilmesine olanak sağlamıştır. Bu sayede bir ürüne kısa zamanda çok sayıda kopyasının üretilebilme imkanı verilmiştir. 20. yüzyılın ortalarında üretim sistemine dijital bilgi teknolojilerinin dahil olması sonucunda üretimin standartlaştırılması ve özişler kılınması ile III. Endüstri devrimi yaşanmıştır (Hebel & Heisel, 2017).

III. Endüstri devrimi ile dijital alanın yapı sektörüne girmesi ve sürdürülebilir mimarlık anlayışının ortaya çıkmasıyla endüstriyel üretim süreci için biyolojik olarak yetiştirilen yapı malzemelerinin kullanılması fikri yetişen yapım sistemi anlayışını ortaya çıkarmıştır. Bu yapım sisteminin uygulanabilir olmasını sağlamak adına dijital alan, en uygun koşulların sağlanması ve yetişen malzemenin davranışını anlamak için kullanılabilmektedir (Hebel & Heisel, 2017). Fiziksel, dijital ve biyolojik alanların birbiriyle kesişmeleri ve birbirlerini desteklemeleri yönüyle diğer sanayi devrimlerinden ayrılmasıyla 21. yüzyıl, IV. Endüstri devriminin başlangıcı sayılabilir (Schwab, 2016).

Biyomalzemeler, biyolojik sistemlerden oluşan ve bu sistemlerle etkileşime giren herhangi bir madde, yüzey veya yapıdır. Biyomalzemelerin sistem içerisinde fiziksel olarak (direkt) ya da sistem içerisine dahil edilen bir malzemenin üretiminde kullanılmasıyla (endirekt) oluşturulan tasarım anlayışı ise “biyo-entegre tasarım” olarak tanımlanmaktadır (Arunkumar, 2020). Tappa ve Jammalamadaka’ya (2018) göre malzemelerin kimyasal yapılarına bağlı olarak 3D baskıda kullanılan biyomalzemeler Şekil 2’de gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2. Biyomalzemelerin sınıflandırılması (Tappa & Jammalamadaka, 2018)

Biyomalzemelerin yapı malzemesi olarak kullanılmasının göstereceği avantajları arasında;

- Yenilenebilir olmaları,
- İlk adımda malzemenin, ikinci adımda ise enerjinin kullanıldığı sistem olarak tanımlanan kademeli kullanım yöntemiyle biyokütlenin kaynak verimliliğini en üst düzeye çıkarmaları,
- Çelik, cam veya beton gibi geleneksel yapı malzemelerine göre daha düşük karbon ayak izine sahip olmaları,
- Optimum ağırlık/yük taşıma kapasitesi oranına sahip olmaları nedeniyle tasarımda özgürlük tanımları,
- Prefabrikasyona ve hızlı kuruluma olanak sağlamaları,
- Kolayca tedarik edilip çeşitli formlarda dağıtılmaları,
- Hizmet ömrünü tamamladıklarında biyolojik olarak parçalanabilir ve kompostlanabilir olmaları,
- Gözenekli yapıları sayesinde nemi kontrol edebilme özellikleri,
- Düşük termal yayılımı sahip olmaları nedeniyle gelişmiş ısı yalıtım performansı sergilemeleri gösterilebilir (Sandak ve diğerleri, 2019; Tellnes ve diğerleri, 2017; Jones & Brischke, 2017; IfBB, 2024).

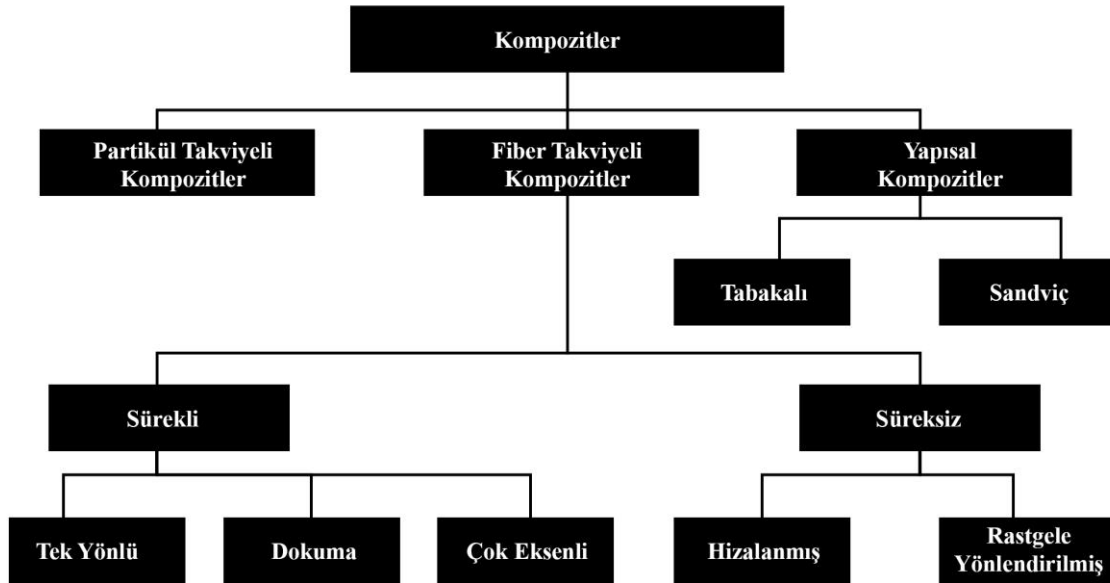
Ancak geleneksel yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında biyomalzemelerin bazı dezavantajları vardır. Bunlar arasında;

- %5-%40 arasında nem bağlama kapasitesine sahip olmaları nedeniyle higroskopik davranış sergilemeleri sonucunda büzülme ve şişme gibi yapısal bozulmalar göstermesi,
- Yanıcı davranış sergilemeleri nedeniyle düşük yangın dayanımına sahip olmaları,
- Üretimlerinin maliyetli olmaları,
- Malzeme bulunabilirliğine ve ürün tasarımına bağlı olarak teknolojik yetersizlikler gösterilebilir (Sandak, vd., 2019; Jones & Brischke, 2017).

Yenilenemeyen ve enerji yoğun malzemelerin yapı sektöründeki baskınlığından kurtulmak ve biyomalzemelerin yapı malzemesi olarak üretiminin ve kullanımının teşvik edilmesi için siyasi, sosyal, çevresel, ekonomik, yasal ve teknolojik sorunların çözülmesi ve fırsata dönüştürülmesi gereklidir (Jones & Brischke, 2017).

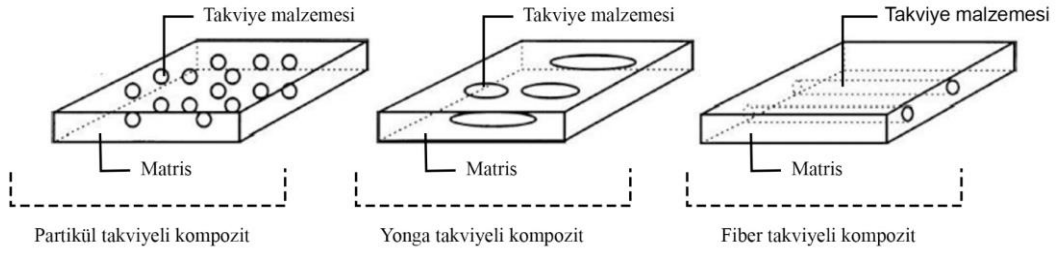
2.1.2. Biyokompozitler

Kompozit malzemeler, tek başına sahip oldukları özelliklerinden daha iyi özellikler sağlamak amacıyla temelde takviye ve matris malzemelerin birleşiminden oluşan malzemelerdir (Campbell F. C., 2010). Takviye şekillerine göre kompozit malzemeler Şekil 3'te gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3. Kompozitlerin takviye şekillerine göre sınıflandırılması (Campbell F. C., 2010; Such ve diğerleri, 2014; Dawoud & Saleh, 2019; Baydar, 2011)

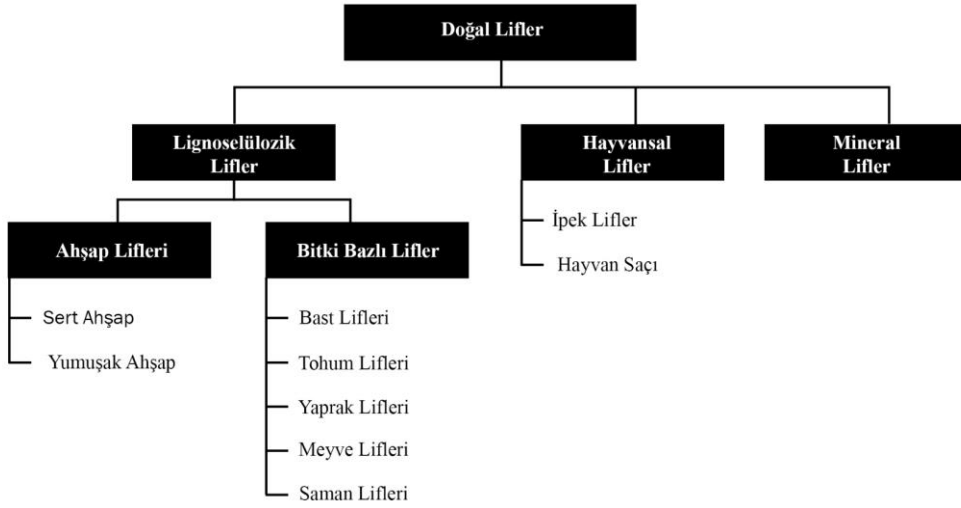
Şekil 4'te gösterildiği gibi takviye malzemeleri (karbon, cam gibi elyaf takviyeler; seramik, cam, mineral gibi parçacık takviyeler; doğal lif, grafit, cam gibi lamine kompozitlerde kullanılan takviyeler ve köpüklü polimerler, sentetik kauçuk, ahşap gibi sandviç kompozitlerde kullanılan takviyeler) taşıyıcı, matris malzemeleri (alüminyum, magnezyum, bakır gibi metal matrisler; seramik matrisler ve termoplastik, termoset veya elastomerlerden oluşan polimer matrisler) ise bağlayıcı görevindedir (Kasapseçkin, 2015; Waje, 2019; Knippers ve diğerleri, 2011; Kaya, 2016).



Şekil 4. Takviye çeşitlerine göre kompozitler (Baydar, 2011)

Kompozit malzemeler, kendini oluşturan bileşenlerle karşılaştırıldığında, daha düşük yoğunluğa, daha fazla sağlamlığa ve sertliğe sahiplerdir (Dawoud & Saleh, 2019). Kompozit malzemelerin sağladığı avantajlar arasında yüksek özgül mukavemet, korozyon direnci, daha uzun kullanım süresi, yüksek dayanıklılık, daha az enerji kullanımı, iyi ses yalıtımı, yüksek yangın dayanımı, elektriksel direnç, boyutsal stabilite, kalıplama kolaylığı yer almaktadır (Kasapseçkin, 2015; Waje, 2019). Ancak kompozit malzemeler geleneksel malzemelere göre daha yeni olduklarından üretimlerinde yüksek maliyet ve komplike üretim sürecine sahip olması ve kendini oluşturan matris ve takviye malzemeleri arasındaki adezyon kuvvetinin zayıflığından kaynaklı oluşabilecek delaminasyon riski ve hasar tespitinin incelenmesinde yaşanabilecek zorluklar kompozit malzemelerin dezavantajlarıdır (Waje, 2019).

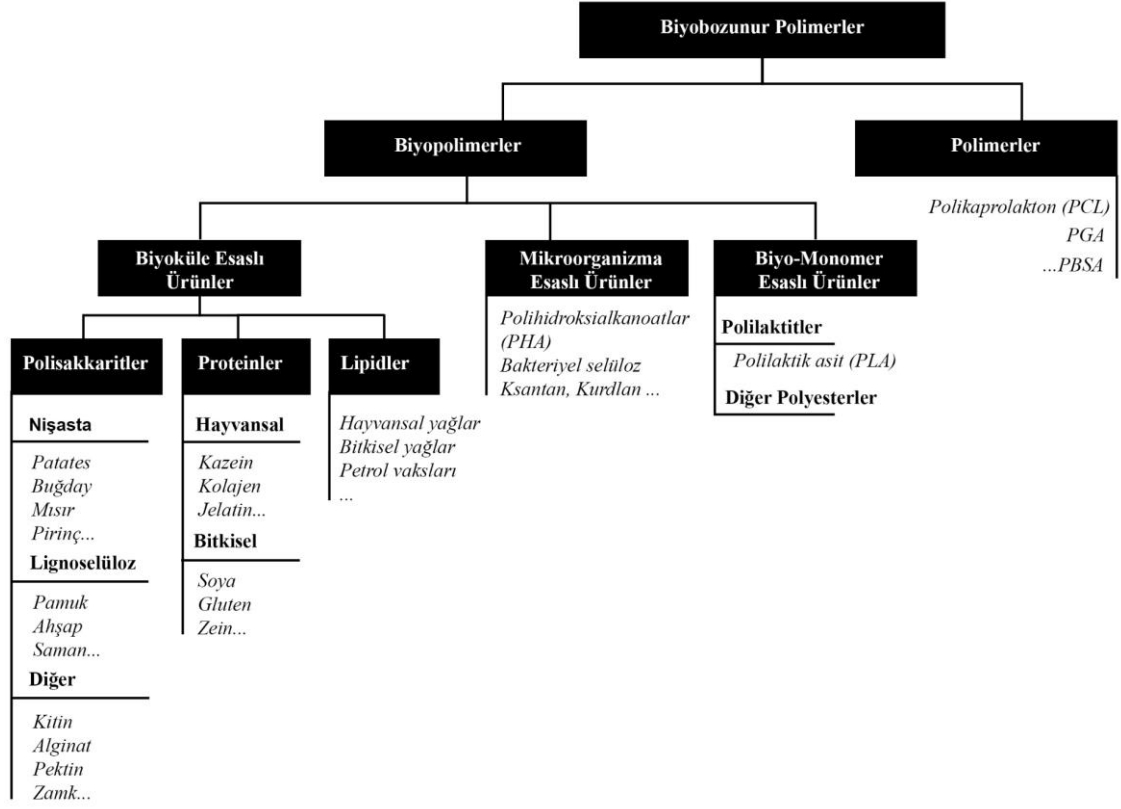
Biyokompozit malzemeler, doğal liflerle takviye edilmiş bir matris bileşeninden oluşan kompozit malzemelerdir (Petrescu ve diğerleri, 2021). Doğal lifler Şekil 5'te gösterildiği gibi lignoselülozik, hayvansal veya mineral kaynaklı olabilmektedir.



Şekil 5. Doğal liflerin sınıflandırılması (Zini & Scandola, 2011; Erden & Ho, 2017)

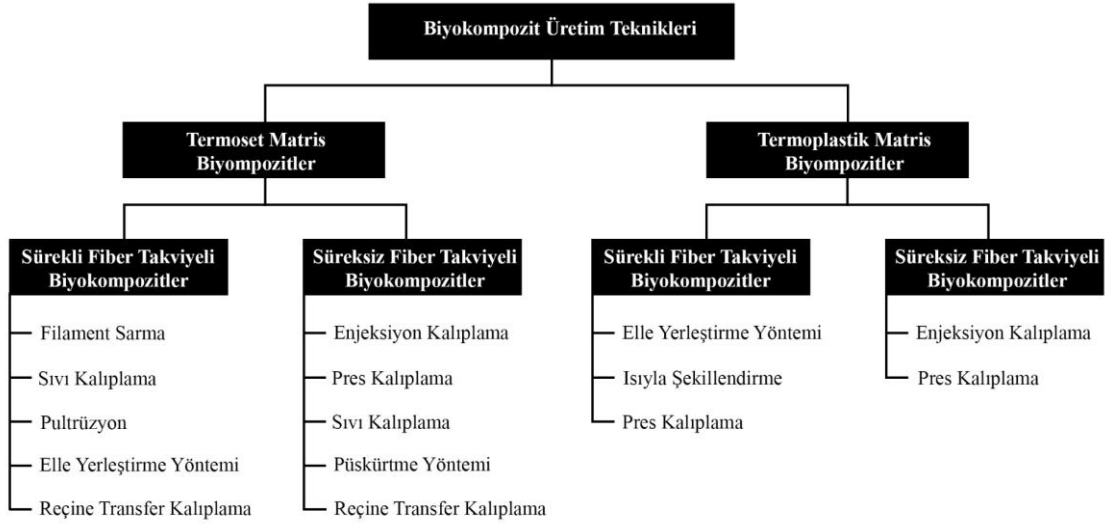
Doğal liflerin düşük yoğunluklu, düşük maliyetli, geri dönüştürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilirlik avantajlarının yanı sıra, yüksek nem emilimi, elyaf ve matris arasındaki zayıf uyumluluğa bağlı olarak kompozitlerde değişken mekanik özelliklere neden olması dezavantajlarıdır (Waje, 2019). Özellikle gelişmiş ısı yalıtım özelliklerine ve düşük yoğunluğa sahip olmalarının yapılı çevrede önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayacakları düşünülmektedir (Fowler ve diğerleri, 2006).

Doğal lifler tamamen veya kısmen biyopolimerlerden oluşmaktadır (Girometta ve diğerleri, 2019). Biyobozunur polimerler Şekil 6'da gösterildiği gibi yenilenebilir kaynaklardan oluşan biyopolimerlerden ve petrol kaynaklı polimerlerden oluşmaktadır. Bu nedenle biyolojik olarak parçalanabilen tüm polimerler biyopolimer değildir (Ferreira ve diğerleri, 2016).



Şekil 6. Biyobozunur polimerlerin sınıflandırılması (Ferreira, vd., 2016; Baghi, vd., 2022; Ghanbarzadeh & Almasi, 2013; Zhong, vd., 2020)

Biyokompozitleri üretmek için kullanılan yöntemler matris (reçine) ve takviye edilen lif türüne göre Şekil 7’de gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır. Elle yerleştirme, püskürtme ve filament sarma yöntemleri malzemelerin kürlenmesi ve sertleşmesi için havaya maruz bırakıldığı açık kalıplama; pultrüzyon (profil çekme), reçine transfer yöntemi (RTM), pres kalıplama, enjeksiyon kalıplama ve sıvı kalıplama yöntemleri ise matris ve liflerin kalıp içerisine kürlendiği kapalı kalıplama biyokompozit üretim yöntemleridir (Zin ve diğerleri, 2016; Trivedi ve diğerleri, 2023; Rajak ve diğerleri, 2019). Geleneksel yöntemler arasında en az ekipman gerektirmesi nedeniyle en yaygın olarak kullanılan yöntem elle yerleştirme yöntemidir (Rajak, vd., 2019).



Şekil 7. Biyokompozit üretim teknikleri (Raj ve diğerleri, 2023; İNOVETA Kompozit, 2024)

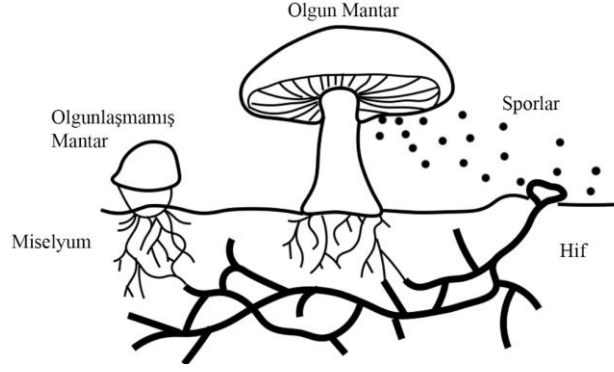
Geleneksel biyokompozit üretim yöntemlerinin kalıp kullanımının gerekliliğinden kaynaklı, üretiminin maliyetli olması ve sınırlı tasarım seçeneklerine sahip olması sebebiyle biyokompozit malzemelerin üretimi için bilgisayar destekli tasarım sisteminin dahil edildiği katmanların üst üste eklenerek yapıldığı imalat tekniğinin kullanıldığı eklemeli üretim (AM) yöntemi, kalıp ihtiyacını ortadan kaldırması, montaj gerektirmeden fonksiyonel parçalar oluşturabilmesi, tasarım özgürlüğü sunması ve daha düşük üretim maliyetine sahip olması nedeniyle son zamanlarda ön plana çıkmaktadır (Hu ve diğerleri, 2019; Goh ve diğerleri, 2018; Chua & Leong, 2014; Ngo ve diğerleri, 2018; Ivanova ve diğerleri, 2013).

2.1.3. Miselyum

Biyotasarım uygulamaları, biyolojiden ilham alan diğer yaklaşımlardan farklı olarak tasarım ve üretimde canlı organizmaların temel yapı bileşeni olarak görev aldığı yaklaşımı ifade etmektedir (Myers, 2018). Son zamanlardaki malzeme biliminde yeni nesil enerji dönüştüren malzemelerin geliştirilmesi ve mimarlık alanında üretilen malzemelerin yerine yetiştirilen biyomalzemelerin kullanımı sentetik biyolojinin uygulanmasını gerektirmektedir (Zolotovskiy, 2017).

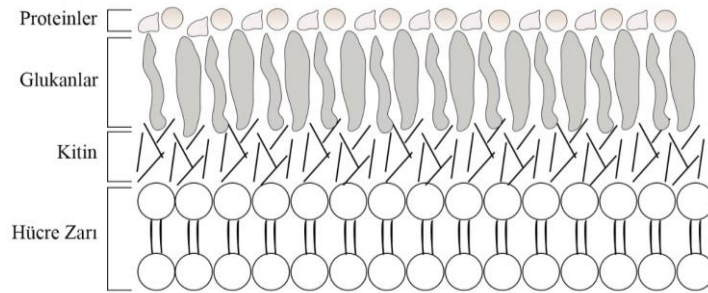
Yetiştirilen bir biyomalzeme olan miselyum, salgıladıkları enzim sayesinde lignoselülozik atıkları parçalayabilen saprotrof (çürükçül) mantarların bitkisel kısmını içeren

ve Şekil 8’de gösterildiği gibi, hif adı verilen 2-10 μm genişliğinde filamentli hücreleriyle subapik olarak dallanarak oluşan üç boyutlu bir ağ yapısıdır (Appels ve diğerleri, 2019).



Şekil 8. Miselyum oluşturan bir mantarın yapısı (Ecovative, 2022) kaynağından uyarlanmıştır.

Miselyum; kitin, selüloz ve proteinler gibi doğal polimerlerden oluştuğu için doğal bir polimerik kompozit lifli malzemedir (Haneef ve diğerleri, 2017). Miselyum hif duvarının ana bileşenleri ise Şekil 9’da gösterildiği gibi kitin, glukanlar ve proteinlerdir (Mohseni ve diğerleri, 2023). Misel hücrelerinin hif ağı oluşturarak gözenekli yapıların boşluklarına doğru gelişme eğilimi, yapıların olası hasarlı bölgelerini kendi kendine yenilemesini ve onarmasını sağlamaktadır (Gantenbein ve diğerleri, 2023).

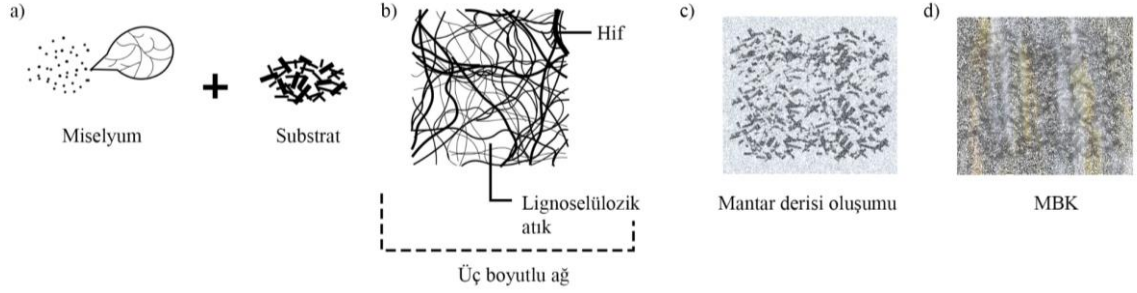


Şekil 9. Mantar hücre duvarı bileşenleri (Vega & Kalkum, 2012) kaynağından uyarlanmıştır.

2.1.4. Miselyum Bazlı Kompozitler (MBK)

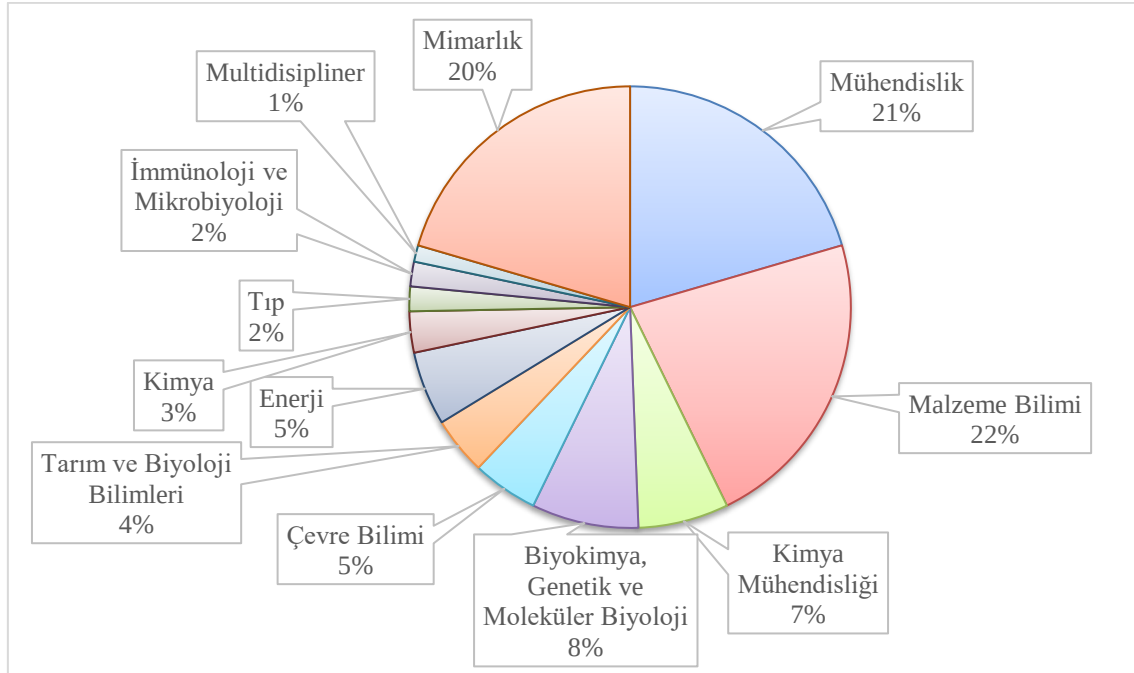
Saprotrof mantarlar oluşturdıkları miselyum yapısıyla Şekil 10’da gösterildiği gibi substrat olarak adlandırılan lignoselülozik atıkları ayrıştırarak üç boyutlu ağ yapısıyla substratı kaplarlar. Üç boyutlu ağ yapısını oluşturan hiflerin zamanla havaya doğru

büyümesiyle substratı kaplayan ve mantar derisi olarak bilinen kabarık ve kompakt bir tabaka oluşmaktadır. Sonuç olarak, takviye olarak substrat, takviye ve matris olarak miselyumun bir araya gelmesiyle oluşan biyokompozitler, miselyum bazlı kompozitler (MBK) olarak adlandırılmaktadır (Appels ve diğerleri, 2019; Attias ve diğerleri, 2020).



Şekil 10. MBK oluşma süreci (Snøhetta, 2021; Appels ve diğerleri, 2019) kaynaklarından uyarlanmıştır.

Wiley Online Library ve Scopus veritabanlarında MBK üzerine yayınlanan bilimsel makalelerin araştırma alanları incelemek amacıyla “mycelium-based composite” anahtar kelimesi kullanılarak tarama yapıldığında Şekil 11’de gösterildiği gibi, “Mimarlık” alanının, “Malzeme” ve “Mühendislik” alanlarından sonra en çok araştırma yapılan alan olduğu gözlemlenmiştir.

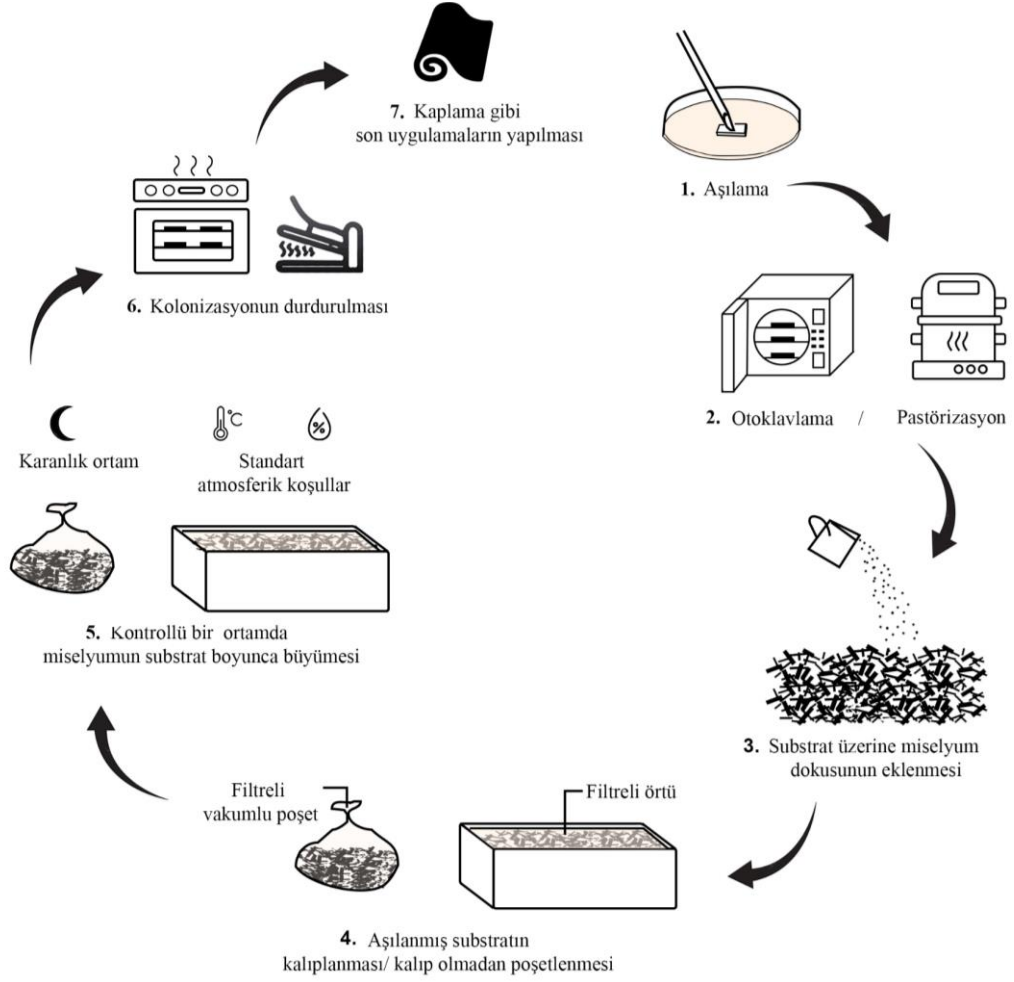


Şekil 11. MBK üzerine yayınlanan bilimsel makalelerin konu alanlarına göre dağılımı

MBK Üretim Akışı

Miselyum kompozitlerin üretim akışı genel olarak Şekil 12’de gösterildiği gibi 7 aşamadan oluşmaktadır;

1. Miselyumun agar plakaları üzerinde aşılınması,
2. Substratların sterilize edilmesi için otoklavlama /pastörizasyonu,
3. Substratların miselyum ile birleştirilmesi,
4. Birleşimin filtreli vakumlu poşetlere aktarılması/kalıplanması,
5. Karanlık ve standart atmosferik koşulların sabitlendiği bir ortamda miselyumun substrat boyunca geliştirilmesi (kolonizasyon),
6. Gelişimi sonlandırmak amacıyla kurutma işlemi ve
7. Özellikleri geliştirmek için istenilen amaca uygun olarak kaplama veya sıcak/soğuk presleme yapılması (Attias ve diğerleri, 2017; Bhat ve diğerleri, 2018; Xing ve diğerleri, 2018; Appels ve diğerleri, 2019; Bruscato ve diğerleri, 2019; Kırdök, 2020; Tacer-Caba ve diğerleri, 2020; Vanden Elsacker, 2021; Ghazvinian & Gürsoy, 2022)

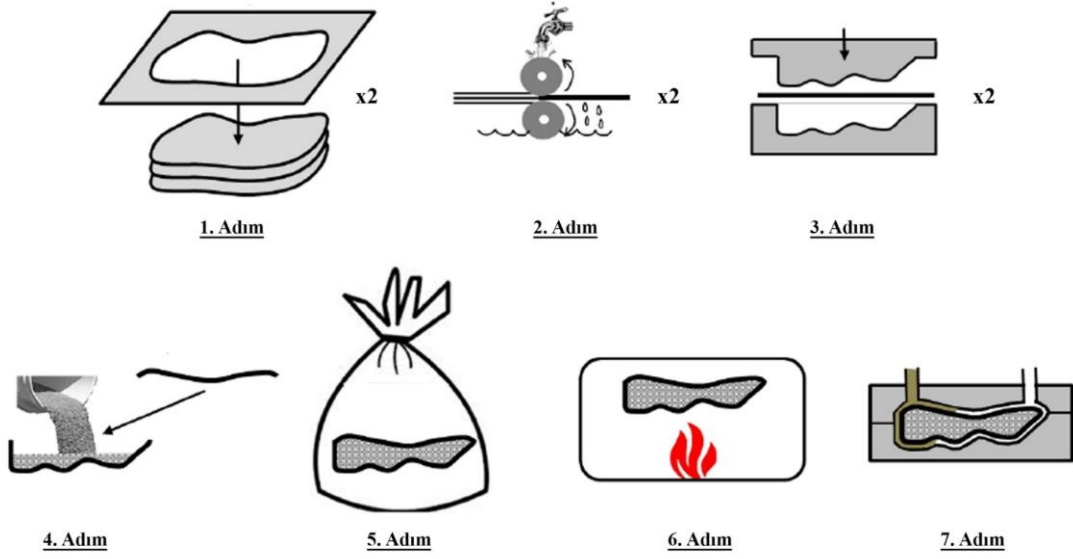


Şekil 12. MBK'lerin üretim akışı

Şekil 12'de bahsedilen üretim akışı MBK'lerin yalıtım paneli, levha veya yapı bloğu gibi komplike olmayan yapı elemanlarının üretilmesinde kullanılan genel adımları göstermektedir. Fakat kompozit laminatlar, sandviç malzemeler veya karmaşık formlara sahip monolitik birimlerin/yapıların üretilmesi için bu adımlara ek olarak farklı üretim teknikleri sürece dahil edilebilmektedir. Lai Jiang ve Ecovative Design'ın işbirliğiyle Miselyum Bazlı Sandviç Kompozitlerin (MBSK) üretilmesinde üretkenliği (manuel üretimden otomatik üretim akışına geçiş) ve malzeme kalitesini geliştirecek Şekil 13'te gösterilen yeni bir yöntem geliştirilmiştir;

1. Dokunmuş kumaş (tekstil) veya mat takviyenin kesilmesi,
2. Takviye katmanı/katmanlarının miselyum ile uyumlu doğal tutkal ile emprenyesi ve düz kompozit laminatların oluşturulması,
3. Entegre kalıplama yöntemi ile düz laminat kompozitlerin şekillendirilmesi ve sterilize edilmesi,

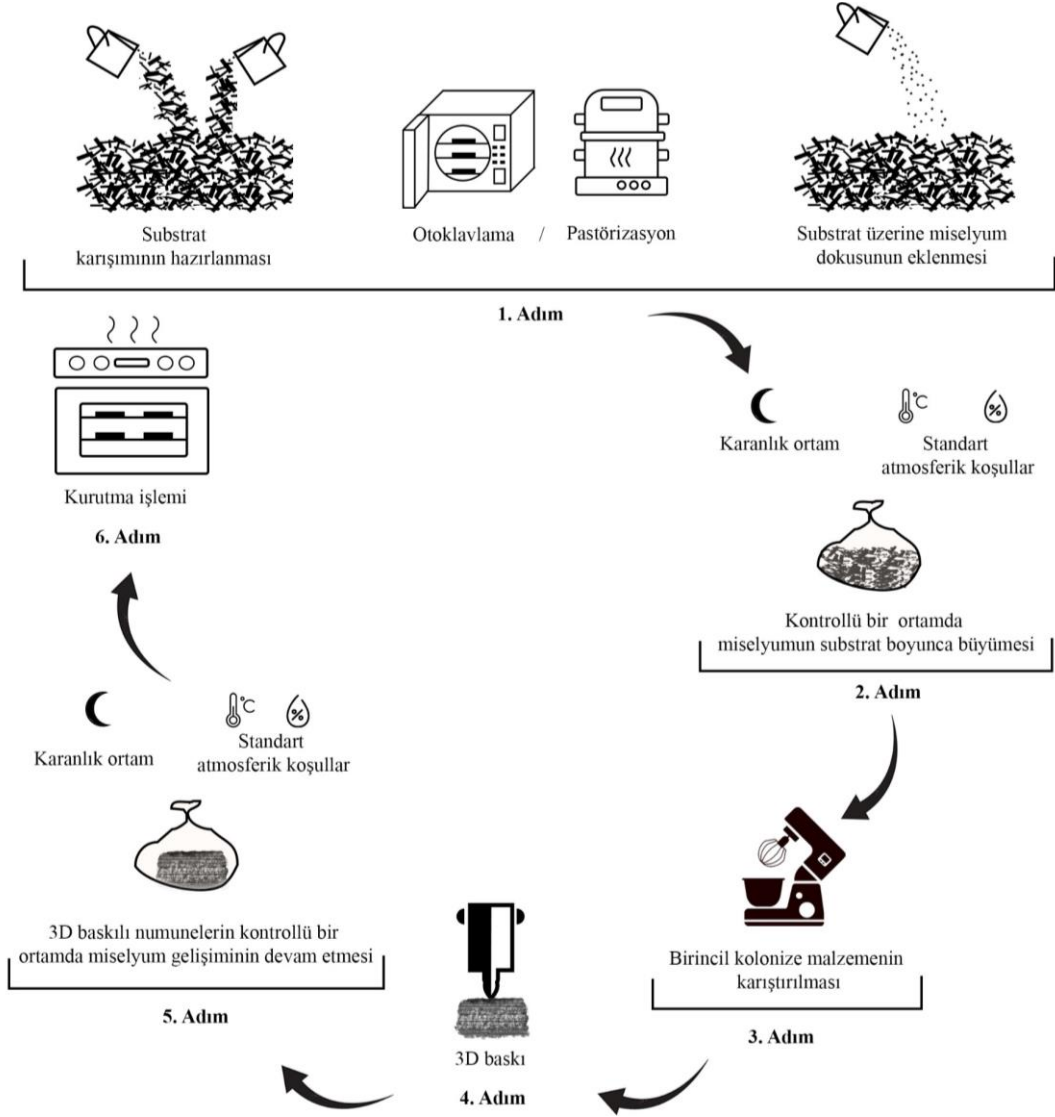
4. Miselyum ile aşılانmış substratların kalıplara dökülmesi,
5. Miselyum kolonizasyonunun gerçekleştirilmesi,
6. Kolonizasyonu durdurmak ve fazla nemi dışarı atmak için parçaların kurutulması,
7. Dış takviye katmanlarını sertleştirmek amacıyla kaplamalara biyoreçine aşılانması ya da kürlenmesi (Jiang, 2015).



Şekil 13. MBSK üretim akışı (Jiang, 2015)

Monolitik MBK birimlerin veya yapıların üretiminde Şekil 12’deki bahsedilen yöntem haricinde eklemeli üretim tekniği olarak malzeme ekstrüzyonu yöntemi kullanılarak MBK’lerin 3D baskısı gerçekleştirilebilmektedir. Bhardwaj ve diğerlerinin (2020) yapmış olduğu çalışmaya dayanarak 3D baskı yoluyla MBK’lerin üretim akışı genel olarak Şekil 14’te gösterildiği gibi 6 aşamadan oluşmaktadır;

1. Substrat malzemelerin miselyum ile aşılانması,
2. Malzemenin birincil kolonizasyonu,
3. Birincil kolonize malzemenin 3D baskıda yazdırılabilir bir kıvama getirmek için gerekli katkı maddelerinin eklenmesi ve elle/mikserle karıştırılması,
4. Malzemenin 3D baskısı,
5. 3D baskılı numunelerin ikincil kolonizasyonu,
6. 3D baskılı numunelerin kurutma işlemi (Bhardwaj ve diğerleri, 2020).

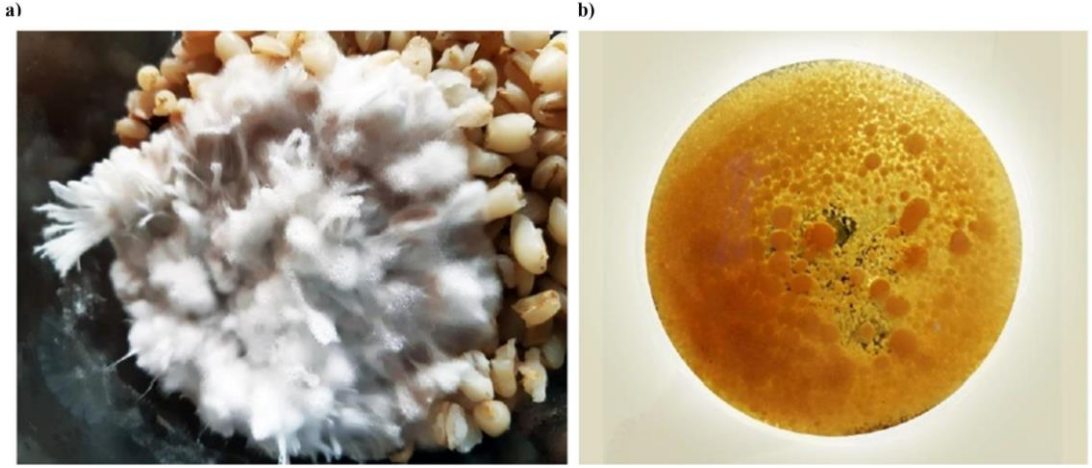


Şekil 14. MBK'lerin 3D baskı üretim akışı

Şekil 14'te gösterilen genel süreçten farklı olarak MyCera projesinde önce baskı sonra sırasıyla sterilizasyon, aşılama, kolonizasyon ve kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir (Jauk ve diğerleri).

- Aşılama

Substratları miselyum ile aşılama için Şekil 15'te gösterildiği gibi iki farklı aşılama yöntemi kullanılmaktadır; granül aktarımıyla aşılama ve sıvı kültürle aşılama (Holt ve diğerleri, 2012; Kırdök, 2020; Vanden Elsacker, 2021).



Şekil 15. Aşılama yöntemleri; a) Granül aktarımıyla aşılama, b) Sıvı kültürle aşılama (Kırdök, 2020)

Granül aktarımıyla aşılama yönteminde miselyum belirli oranda malt özütü agar plakaları üzerinde yetiştirilir. Aşının katı form kazanması için kullanılacak olan granül sterilize edildikten sonra agar plaka kültürlerinden alınan miselyum numunesiyle aşılanır ve granüller kolonizasyona bırakılır. Son olarak kolonize edilen granüller daha önceden sterilize edilen substratlara eklenerek aşılanır (Xing, vd., 2018). Granül aşılar ayrıca endüstriyel sektörde plastik torbalar içinde hazır olarak temin edilebilmektedir (Bhat, ve diğerleri, 2018; Jones, vd., 2017).

Sıvı kültürle aşılama yönteminde ise miselyumlar belirli oranlarda malt özütünde ve agar plakaları üzerinde çoğaltılır ve substratların sterilizasyonu tamamlanana kadar $4\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilir. Sterilizasyon tamamlandıktan sonra sıvı kültür substratlara aşılanır (Tacer-Caba, vd., 2020).

Sıvı kültürle aşılama yöntemi uygulama açısından daha kolaydır ve aşılama sonrasında daha tutarlı bir dağılım davranışı sergilemektedir (Holt ve diğerleri, 2012). Ayrıca sıvı kültürde pelet adı verilen 2-5 mm çapında oluşan küresel yapılar daha homojen kolonizasyona imkân tanımaktadır (Kırdök, 2020). Granül aktarımıyla aşılama yöntemi ise 2mm'den daha küçük substrat üzerine uygulandığında daha yüksek yoğunluklu malzemelerin elde edilmesine neden olmaktadır (Holt ve diğerleri, 2012).

- Sterilizasyon

Substratın miselyum ile aşılandıktan sonra miselyumun substrat üzerinde gelişimi sırasında bakteri, böcek veya diğer mantarlar gibi kötü amaçlı organizmaların miselyum ile rekabet etmemesi için substratların sterilize edilmesi gerekmektedir (Lelivelt, 2015). Sterilizasyon işleminin; sıcaklık yardımıyla otoklavlama veya pastörizasyon, kimyasal madde olarak hidrojen peroksit veya mikrobiyal maddelerin kullanımı, bitkisel ilaç kullanımı ve doğal kompostlama işlemi olmak üzere birçok farklı yöntemi vardır (Lelivelt, 2015; Vanden Elsacker, 2021).

Otoklavlama işlemi, substratların otoklavlanabilir torbalara ya da yetiştirme şişelerine aktarıldıktan sonra 115-121 °C arasındaki farklı sıcaklıklarda ve 15-90 dakika arası değişen sürelerde sterilize edilme işlemidir (Tacer-Caba, vd., 2020; Lee & Choi, 2021; Xing, vd., 2018; Jones, vd., 2017). Otoklav adında özel bir ekipman ile gerçekleştirilen bu yöntemde tüm organizmalar öldürülür (Lelivelt, 2015).

Pastörizasyon işlemi, substratın yaklaşık 71-82 °C arasındaki belirli bir sıcaklıktaki suda yaklaşık 60 dakika bekleterek zararlı rakip organizmaları yok ederken faydalı bakterileri korumayı sağlamak için gerçekleştirilen bir sterilizasyon yöntemidir (Mrs. Mushroom, 2022). Literatürde yapılan çalışmaların bazılarında bu işlem, substratın 30-90 dakika arası değişen sürelerde suda kaynatılarak da gerçekleştirildiği görülmektedir (Kutbay, vd., 2021; Dias, vd., 2021).

Hidrojen peroksit yönteminde öncelikle substrat 60 dakika suda bekletilip süzildikten sonra bir gün boyunca su ve hidrojen peroksit karışımında bekletilir. Daha sonra substrat durulanıp süzülür ve işlem tamamlanmış olur. Bu yöntem miselyuma zarar vermeden yabancı organizmaları yok etmektedir (Mrs. Mushroom, 2022).

Abhijith ve diğerlerine (2018) göre, pastörizasyon ve otoklavlama gibi enerji gerektiren sterilizasyon işlemleri yerine tarçın kabuğu yağı, kekik yağı ve limon otu yağı gibi biyolojik hammaddeler mikrobiyal faaliyetleri durdurmak için kullanılabilir.

Substratın bir kısmının gübreden oluştuğu doğal kompostlama yönteminde, substrat iyice karıştırıldıktan sonra kapalı alana yerleştirilir. Kompostlaşma sayesinde sıcaklığın zamanla 90 °C'ye kadar çıkması ve amonyak gibi zehirli gazların yüksek yoğunlukta birikmesiyle zararlı organizmalar yok edilmektedir. Ancak işlem sırasında oluşan zehirli gazlar çevreye ve insan sağlığına zararlı olduğundan dolayı ek önlemlerin alınması gerekmektedir (Lelivelt, 2015).

Tüm bu yöntemler dışında ek olarak Mikolog Paul Stamets tarafından geliştirilen soğuk yetiştirme yöntemiyle yaklaşık 1-10 °C arasındaki düşük sıcaklıkta rakip organizmaların yavaşlatılmasıyla gerçekleştirilen kolonizasyon işlemi sayesinde ayrı bir sterilizasyon işlemine gerek duyulmamaktadır (Mrs. Mushroom, 2022).

- Şekillendirme

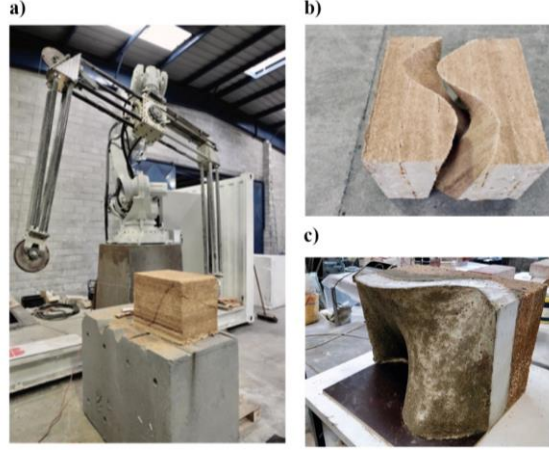
MBK'leri belirli bir formda oluşturmak için çeşitli şekillendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler, kalıplı ya da kalıpsız olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Kalıplı şekillendirme yönteminde kullanılan kalıp malzemeleri; EPS (Gauvin ve diğerleri, 2021) ve plastik (Jones, vd. 2017; Bhat, ve diğerleri, 2018; Bruscatto, vd., 2019) gibi inorganik olabildiği gibi, pamuk (Cox, 2017), bristol kağıt (Ghazvinian, 2023), karton (Dessi-Olive, 2019), ahşap ve kumaş (Dessi-Olive, 2022) gibi organik de olabilmektedir.

Kalıpsız şekillendirme yönteminde, organik kalıplar üretim akışında miselyum için iç takviye malzemesi olarak kalıcı olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde kalıp, şekillendirme amacından çok dayanıklılık ve ek besin işlevinde yer almakta ve şekillendirme işlemi miselyumun kolonizasyon davranışına bağlı olarak gelişmektedir. Örneğin “Thick and Thin” projesinde olduğu gibi, miselyum kolonizasyon sırasında substratın yanı sıra kalıp üzerinde de gelişerek kalıbı ek bir iç takviye olarak görmekte ve yapının ayrılmaz bir parçası haline getirmektedir (Kutbay, vd., 2021; Dessi-Olive, 2019).

Kalıpsız şekillendirme yöntemi olarak 3D baskı, özellikle karmaşık forma sahip yapıları oluşturmak için etkili bir yöntemdir (Bhardwaj ve diğerleri, 2021). Ancak 3D baskı için kullanılacak miselyum bazlı malzemenin nozülde kesintisiz ve belirli bir hacimde sıkılabilmesi için uygun viskoziteye sahip olması gerekmektedir (Vanden Elsacker, 2021).

MBK'ler, bir yapı elemanı ya da bileşeni olarak şekillendirilebilmelerinin yanı sıra aynı zamanda karmaşık formlu yapı elemanları oluşturmak için kalıp olarak tasarlanabilmektedirler. Bu karmaşık kalıp sistemlerini oluşturmak için Şekil 16'da gösterildiği gibi robotik aşındırıcı tel kesme yöntemi kullanılabilir (Elsacker ve diğerleri, 2021).



Şekil 16. MBK'lerin kalıp olarak kullanımı; a) Robotik aşındırıcı tel kesme yöntemi ile MBK'nin kesilmesi, b) MBK kalıp, c) Kalıptan çıkarılan beton elemanın son hali (Elsacker, vd., 2021)

MBK'lerin şekillendirme işlemleri sadece durağan (pasif) olarak değil, dinamik (aktif) olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Elbasdı ve Alaçam'ın (2019) yapmış olduğu çalışmada, miselyumun kolonizasyon süreci içerisinde, kumaş kalıbın sınır koşulları değiştirildiğinde ya da MBK üzerine uygulanan baskı değiştiğinde, MBK'nin şekillendirme sürecinin manipüle edilebildiği görülmektedir.

- Kolonizasyon (Yetiştirme)

Miselyumun lignoselülozik substratların polimerlerini besin olarak tüketebilmek için 2-10 μm genişliğindeki hif adı verilen hücrelerini substratların etrafını sararak salgıladıkları enzim yardımıyla parçalaması ve kendi bünyesiyle birleştirmesi sürecine yetiştirme (kolonizasyon) denilmektedir (Appels ve diğerleri, 2019). Kolonizasyonun verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi için yüksek nem (%65-95), orta sıcaklık (21-27 $^{\circ}\text{C}$), karanlık ortam ve optimum oksijen erişebilirliği gibi uygun çevresel koşulların sağlanması gerekmektedir (Lelivelt, 2015; Kırdök, 2020; Attias, vd., 2017; Ghazvinian & Gürsoy, 2022; Ataç, 2019; Bruscato, vd., 2019).

Kolonizasyon süreci; büyük ölçekli yapılarda, aşılınmış substratın optimum koşulların sağlandığı geniş bir alanda yetiştirilmesine dayanan açık kolonizasyon, küçük ölçekli yapılarda, aşılınmış substratın filtreli plastik poşetlerde veya kalıplarda yetiştirilmesine dayanan kapalı kolonizasyon yöntemi ile gerçekleştirilmektedir (Lelivelt, 2015).

MBK üretim akışında kullanılan mantar ve substrat çeşidi, kalıp türü, yetiştirme koşulları gibi dış ve iç etkenlere bağlı olarak kolonizasyon süresi yaklaşık olarak 5-30 gün arasında değişmektedir (Attias, vd., 2017; Appels, ve diğerleri, 2019; Kırdök, 2020; Ghazvinian & Gürsoy, 2022; Lee & Choi, 2021; Holt, ve diğerleri, 2012; Vanden Elsacker, 2021).

- Kolonizasyonun (Yetiştirmenin) Durdurulması

Miselyum kolonizasyonunun durdurulması ve MBK'lerden fazla suyun dışarı atılması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır; havayla kurutma, ısı ile kurutma (konvektif veya iletken kurutma) ve sıcak/soğuk presleme (Ghazvinian, 2023; Vanden Elsacker, 2021; Tudryn, 2014).

Havayla kurutma işleminde miselyum kış uykusuna yatırılır, büyüme geçici olarak durdurulur. Kurutulan MBK'lerin nem içeriği %0,6-20 arasında değiştiğinden dolayı malzeme hala canlıdır. Gerekli çevresel koşullar sağlanırsa miselyumun hif uzantıları büyür ve kolonizasyon süreci tekrar başlar. Havayla kurutma işlemi MBK'lerin biyo-kaynak/miko-kaynak (bio-welding/mycowelding) ya da kendi kendine iyileştirme/yenileme (self-healing) birleşim/bağlantı teknikleriyle üretilmesi istenildiğinde uygulanmaktadır (Ghazvinian, 2023; Vanden Elsacker, 2021).

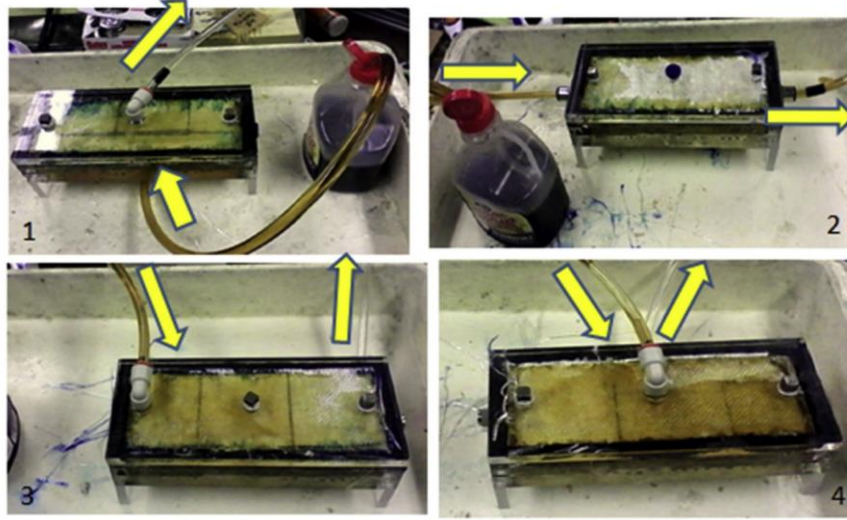
Isıtma ile kurutma işlemi sıcak ve kuru havanın direkt olarak uygulandığı konvektif yolla ya da malzemenin ısıtılan bir yüzeye temas ettirilerek dolaylı olarak uygulandığı iletken yolla gerçekleştirilebilmektedir (Berk, 2009). Konvektif kurutma işlemi, yüksek sıcaklıklardaki fırınlarda miselyumun kolonizasyonunun tamamen durdurulması yöntemidir. Bu yöntem özel araç olarak kapalı fırınlarda gerçekleştirildiğinden küçük ölçekli MBK'ler için geçerlidir. Bu yöntemde uygulanan sıcaklık ve zaman değerleri 40-200 °C ile 1.5-48 saat arasında değişmektedir (Kırdök, 2020; Attias, vd., 2017; Tacer-Caba, vd., 2020; Ghazvinian & Gürsoy, 2022; Indrajeet & Rathi, 2018; Lee & Choi, 2021; Jones, vd., 2017; Bruscatto, vd., 2019; Wimmers, ve diğerleri, 2019). Isıtma ile kurutma işlemi genelde tek seferde yapılmaktadır ancak bazı çalışmalarda iki seferde de yapıldığı görülmektedir (Kırdök, 2020; Jiang L. ve diğerleri, 2017). Tudryn'in (2014) yapmış olduğu UV ve keten tohumu kaplamalı MBK üretimi konulu çalışmada iletken kurutma işleminin yüzey kaplamalarının tutulmasını optimize ettiği, homojenliğini arttırdığı ve verimli ısı transferi nedeniyle genel işlem süresini azalttığı belirtilmektedir.

Presleme işlemi, sıcak ya da soğuk olarak gerçekleştirilebilmektedir. Appels ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu MBK'lerin mekanik, nem ve su ile ilgili özelliklerini etkileyen parametrelerin incelendiği çalışmada, farklı numunelere 20 dakika boyunca 30 kN'den daha az bir kuvvetle sıcak (150 °C) ve soğuk (20 °C) presleme yapılmıştır. Presleme uygulamasından sonra sıcak preslenmiş numuneler oda sıcaklığında soğutulurken, soğuk preslenmiş numuneler ise çevre koşullarında 24-48 saat aralığında kurutulmuştur. Çalışma sonucunda sıcak preslemenin, MBK'nin yoğunluğunu ve eğilme mukavemetini soğuk preslemeye göre daha çok artırdığı ve MBK'lerin köpük benzeri malzeme statüsünden ayrılarak ahşap gibi doğal malzemelerin yoğunluk ve elastikiyet modülü özelliklerine yakın performans sergilediği tespit edilmiştir.

- Son İşlemler

MBK'lerin mukavemetlerini güçlendirmek ve dış etkenlere karşı dayanımı güçlendirmek amacıyla biyobazlı reçinelerin ya da kaplamaların kurutulmuş MBK'lerin yüzeyine uygulanması MBK üretim akışındaki son işlemlerdir (Vanden Elsacker, 2021).

Jiang ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu biyoreçine kaplamalı MBSK üretimi konulu çalışmada jüt, keten ve selüloz tekstillerin kullanıldığı takviye kaplaması, miselyuma bağlı tarımsal atıklardan oluşan çekirdek ve soya bazlı reçinenin matris olarak kullanıldığı MBSK üretiminde reçine infüzyonu için reçine giriş/çıkış noktalarının Şekil 17'deki gibi yer alan kalıcı alüminyum RTM (Reçine Transfer Kalıplama) kalıbı tasarlanmıştır. MBSK'lerin kolonizasyonunu durdurmak için sırasıyla sıcak presleme, hava ile kurutma ve soğuk presleme yapıldıktan sonra biyoreçime infüzyonu ve yerinde kürlleme gerçekleştirilmiştir. Sertleştirilen MBSK numunelerin eğilme testleri sonucunda, biyoreçinenin uygulandığı tüm numunelerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir (Jiang L. ve diğerleri, 2019).



Şekil 17. Dörtlü reçine akış konfigürasyonu (Jiang ve diğerleri, 2014)

Tudryn'in (2014) yapmış olduğu UV ve keten tohumu kaplamalı MBK üretimi konulu çalışmada dört farklı şekilde (ince, kaba, karışık, katmanlı) öğütülen mısır koçanı tarımsal atıklarının takviye olarak kullanıldığı MBK'lerin üretiminde iki farklı kurutma yöntemi (konvektif ve iletken kurutma) kullanılmıştır. Kurutulan MBK'lere son işlem olarak James Crivello (Rensselaer Politeknik Enstitüsü) tarafından geliştirilen epoksitlenmiş keten tohumu yağından hazırlanmış ve termal olarak aktifleştirilmiş yüzey kaplamaları elle uygulandıktan sonra yaklaşık 82 °C'de 2 x 30 watt UV-C lambası ($\lambda=254$ nm) kullanılarak 10 dakika kürlenmiştir. Çalışma sonunda, Şekil 18'de gösterilen keten tohumu yağı ile hazırlanan ve UV ile kürlenen yüzey kaplamasının iletken yolla kurutulan MBK'ler için daha uygun olduğu ve UV ile kürlemenin en çok arzu edilen görünümü ve mukavemeti sağladığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 18. UV ile kürlenen bitkisel yağ kaplamalı MBK (Tudryn, 2014)

MBK Yetiştirme Parametreleri

MBK'lerin üretim verimliliğini ve yapısal özelliklerini değiştiren üretim akışındaki çevresel, fiziksel ve kimyasal etkenler Tablo 1'de gösterilmektedir.

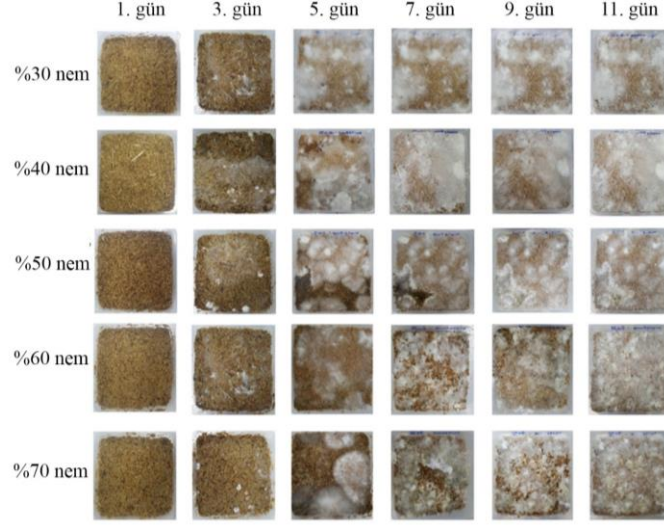
Tablo 1. MBK'lerin üretim akışındaki faktörler (Elsacker, vd., 2019; Attias, vd., 2017; Ghazvinian, 2023) kaynaklarından yararlanılarak oluşturulmuştur.

Çevresel Faktörler	Fiziksel Faktörler	Kimyasal Faktörler
- Nem - Sıcaklık - Işık - PH - Nitrojen seviyesi	- Aşılama yöntemi - Sterilizasyon yöntemi - Kolonizasyon sistemi ve süresi - Şekillendirme yöntemi - Kalıp malzemeleri ve tasarımı - Kurutma yöntemi	- Mantar türleri - Substrat çeşitleri, boyutları ve karışım oranları - Katkı maddeleri

• Çevresel Faktörler

Miselyum kolonizasyonu için sıcaklık bakımından mevcut çevre koşulların kullanılması daha ucuz ve az enerji gerektirmesine rağmen yüksek sıcaklıkta gerçekleşen kolonizasyona göre daha yavaş miselyum büyümesine neden olacaktır (Jones, vd., 2020). Ancak sıcaklık değişkeninin optimum aralığı kullanılan mantar türünün doğal yetiştirme sıcaklığı ile ilişkili olduğundan miselyum türüne göre farklılık göstermektedir (Nashiruddin ve diğerleri, 2022).

Substrattaki nem içeriği, miselyum hif ucunun uzamasını sağlayan büyük turgor basıncını sağladığından miselyum kolonizasyonunda önemli rol üstlenmektedir. Ancak Şekil 19'da gösterildiği gibi, fazla nem içeriği, oksijen yetersizliğinden dolayı miselyum kolonizasyonunu engelleyeceğinden istenmeyen kontaminasyon ihtimalini artırmaktadır (Nashiruddin ve diğerleri, 2022).



Şekil 19. *P. ostreatus* miselyumunun farklı nem içeriklerindeki kolonizasyonu (Nashiruddin ve diğerleri, 2022)

Appels ve diğerlerinin (2018) yapmış olduğu hidrofobin geninin silinmesi ve çevresel koşulların MBK üzerine etkisinin irdelendiği çalışmada, ışıktaki ve yüksek CO₂ miktarına sahip ortamda üretilen MBK'lerin daha yüksek young (elastisite) modülüne sahip olduğu, dolayısıyla MBK'lerin daha rijit yapıda oldukları belirtilmektedir.

Kolonizasyon sürecinde MBK'lerin PH seviyesinin azalması mantarın substrat üzerinde geliştiğini göstermektedir. Bu gelişim süreci içerisinde miselyumun, çoğunlukla substratın karbonunu sindirdiğinden kendi bünyesinde bulunan nitrojen ile birlikte substratın nitrojeninin eklenmesine bağlı olarak nitrojen seviyesinde bir artış görülmektedir (Attias, vd., 2017).

- Fiziksel Faktörler

Sterilizasyon işlemi dikkatli bir şekilde yapılmadığı takdirde Şekil 20'de gösterilen MycoCreate prototipinde olduğu gibi, MBK'de zamanla oluşan yeşil küf, miselyumun kolonizasyonunu durdurarak malzemenin kararlı yapısının bozulmasına neden olabilir (Ghazvinian, 2023).



Şekil 20. MycoCreate'in ilk tam ölçekli prototipinin kontaminasyon nedeniyle çökmesi (Ghazvinian, 2023)

Kontaminasyon riskinin olduğu durumlardan birisi de MBK üretim akışında plastik torbalarda gerçekleştirilen kolonizasyon sürecidir. Kırdök ve diğerlerinin (2022) yapmış olduğu mantar bazlı ürünlerin üretimi için modüler zincir biyoreaktör tasarımı konulu çalışmada, geleneksel torba sistemlerinin zayıf yönlerini iyileştirmek için geliştirilen modern torba prototipi sayesinde; yüksek havalandırma, nem ve kontaminasyon kontrolü, şeffaflık ve düşük maliyet avantajları kazandırılmıştır. Ayrıca oluşturulan prototip sistemin modülerite özelliği sebebiyle farklı karışımlar farklı amaçlar için aynı anda üretilebilmekte ve belirli bir modülde oluşan herhangi bir kontaminasyon riskinin diğer modüllere erişimi engellenebilmektedir.

Lignoselülozik bir substrat üzerinde yetiştirilen mantar türlerinin kolonizasyon hızı, agar bazlı sentetik bir ortamda yetiştirilen mantar türlerine göre daha fazladır (Vanden Elsacker, 2021). Appels ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu MBK'lerin mekanik, nem ve su ile ilgili özelliklerini etkileyen parametrelerin incelendiği çalışmada, *P. ostreatus* ve *T. versicolor* mantar türlerinin substratların dış kısımlarındaki kolonizasyonunun daha yoğun olduğu görülmüştür. Bu durum, miselyumun kolonizasyon sırasındaki oksijen ihtiyacından kaynaklanmaktadır. MBK'lerin orta kısımlarındaki kolonizasyonun geliştirilmesi için kolonizasyon sırasında hava desteği sağlanabilir ya da kolonizasyon süresi uzatılabilir (Appels ve diğerleri, 2019). Ancak kolonizasyon süresi arttıkça organik madde bozunumu da arttığından MBK'lerin basınç dayanımı azalmaktadır (Ghazvinian & Gürsoy, 2022).

Poşetlerde yetiştirilenlere göre kalıplarda daha uzun süre büyütülen MBK'ler daha iyi mekanik performans göstermektedirler (Ghazvinian & Gürsoy, 2022). Kırdök'ün (2020) gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, MBK ürünlerini yetiştirme sırasında nem seviyesinin yüksek olması hava girişini de engelleyebileceğinden hava akışını sağlamak amacıyla

boşluklu kalıpların üretilebileceği ve nem seviyesini de kontrol etmek amacıyla perlit yatağının uygulanabileceği bahsedilmektedir.

Appels ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu MBK'lerin mekanik, nem ve su ile ilgili özelliklerini etkileyen parametrelerin incelendiği çalışmada, genel olarak preslenmemiş ve soğuk preslenmiş malzemelerin köpük benzeri ve beyazımsı görünümü sahip olduğu, ısıyla preslenen malzemelerin ise kompakt yapıda kahverengi görünümde olduğu gözlemlenmiştir.

- Kimyasal Faktörler

Lundell ve diğerlerine (2014) göre, ölü organik maddeleri ayrıştırarak misel kütesine dönüştüren saptofitik mantarlar iki ana gruba ayrılmaktadır; beyaz çürükçül mantarlar lignin de dahil olmak üzere ahşapta bulunan tüm bileşikleri ayrıştırarak beyaz görünüme sahip ürün verirken, kahverengi çürüklük mantarları ise sadece selüloz ve hemiselülozu ayrıştırır ve son ürün kahverengidir (Ghazvinian, 2023). Wimmers ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu ahşap atıkların kullanıldığı MBK yalıtım panellerinin üretimi konulu çalışmada beyaz çürükçül mantar kültürlerinin kahverengi çürükçül mantar kültürlerine göre daha hızlı ve daha yoğun geliştiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle beyaz çürükçül mantarları MBK üretimi için en uygun mantar türüdür.

Literatürde MBK üretiminde en çok kullanılan mantar türleri, beyaz çürükçül mantar grubuna ait; *Pleurotus ostreatus*, *Trametes multicolor* ve *Ganoderma lucidum* (reishi) türü mantarlardır (Ghazvinian, 2023). *Pleurotus pulmonarius*, *Pleurotus salmoneostramineus*, *Pleurotus albidus*, *Aeagerita agrocibe*, *Trametes pubescens*, *Trametes suaveolens*, *Trichoderma asperellum*, *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* (shiitake), *Ganoderma resinaceum*, *Kuehneromyces mutabilis*, *Flammulina velutipes*, *Oxyporus latermarginatus*, *Megasporoporia minor*, *Lentinus velutinus*, *Pycnoporus sanguineus*, *Fomitopsis pinicola*, *Gloeophyllum sepiarium*, *Laetiporus sulphureus*, *Phaeolus schweinitzii*, *Piptoporus betulinus*, *Polyporus arcularius* ve *Trichaptum abietinum* türü mantarlar, literatürde kullanılan diğer mantar türlerinden bazılarıdır (Attias, vd., 2017; Appels, ve diğerleri, 2019; Tacer-Caba, vd., 2020; Xing, vd., 2018; Bruscato, vd., 2019; Wimmers, ve diğerleri, 2019). *Ceriporia lacerate* mantar türü ise sterilize edilmemiş substratlarla kullanıma uygundur (Ghazvinian, 2023). Kuştaş ve Gezer'in (2024) yapmış olduğu silikatlanmış buğday samanından üretilen MBK yalıtım malzemelerin fiziki ve mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmaya göre; *Ganoderma lucidum* ile üretilen MBK yalıtım levhaları, *Pleurotus ostreatus*

ile üretilenlere kıyasla daha iyi fiziksel ve mekaniksel özelliklere sahip olmasına rağmen Gezer ve Kuştaş'a (2024) göre, daha düşük ısı yalıtım performansı sergilemektedirler.

Literatürde MBK üretiminde en çok kullanılan substrat türleri; talaş, saman ve kenevirdir (Ghazvinian, 2023). Kullanılan saman substratlarına; buğday, yulaf, pirinç ve kolza samanı; kullanılan talaş substratlarına; huş, ladin, köknar, kayın, titrek kavak, okaliptüs, meşe, çam, asma ve elma ağacı yongaları örnek olarak gösterilebilir (Kırdök, 2020; Attias, vd., 2017; Appels, ve diğerleri, 2019; Tacer-Caba, vd., 2020; Lee & Choi, 2021; Wimmers, ve diğerleri, 2019). Attias ve diğerlerinin (2017) yapmış olduğu tasarım ve mimarlık alanında MBK üretimindeki gelişen uygulamaların incelendiği çalışmaya göre; *P.ostreatus* miselyumu, asma ve elma ağacının yongaları üzerinde okaliptüs, meşe ve çam ağacı yongalarına göre daha iyi yetişebilmektedir. Ghazvinian ve Gürsoy'un (2022) yapmış olduğu zaman ve substrat karışımının MBK'nin mekanik özelliklerine etkisinin değerlendirilmesi konulu çalışmaya göre; sadece meşe talaşı ile yetiştirilen *P.ostreatus* miselyumunun, meşe talaşı ve saman ile yetiştirilen *P.ostreatus* miselyumuna göre daha iyi mekanik özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Wimmers ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu ahşap atıkların kullanıldığı MBK yalıtım panellerinin üretimi konulu çalışmaya göre; huş ağacı talaşında yetişen mantar gelişimi, titrek kavak, ladin, çam ve köknar ağacı talaşlarında yetişen mantar gelişimine göre daha iyi performans göstermiştir.

Miselyum zayıf organik substratlar ile beslendiğinde köpük benzeri mekanik özellik sergilemektedir. Ancak miselyum, kitin ve kitosan gibi doğal nanofibriller üzerinde yetiştirildiğinde daha fazla polimer verimi elde edildiği (yaklaşık %10-26) ve daha yüksek gerilme mukavemeti (yaklaşık 25MPa) sergilediği bulunmuştur (Jones ve diğerleri, 2019). Buna rağmen, kitin ve kitosan gibi yapısal polimerler hücre duvarı ile sınırlı olduğundan miselyumun; hif ağları, hücre duvarı kalınlığı, iç yapısı ve dallanma özelliklerinde belirleyici olan farklı hif tiplerine sahip (monomitik, dimitik, trimitik) miselyum türleri de mekanik performansı önemli ölçüde etkilemektedir (Jones, vd., 2020).

Substrat parça boyutlarının nispeten küçük olması MBK'lerin kırılmaya karşı hassas yapıda olmasına neden olurken, substrat parça boyutlarının artması MBK'lerin bükülme mukavemetini artırmakta ve daha iyi sıkıştırılabilirlik sağlamaktadır. Karışık parçacık boyutlu MBK'ler ise iri parçacıklı MBK'lere göre, bünyesindeki boşlukları ince parçacıklarla doldurarak daha yüksek elastik modüle sahip olduğundan daha rijit yapıdadır (Tudryn, 2014).

Daha fazla lignin içeren substratlarla oluşturulan MBK'ler daha iyi basınç dayanımına sahiptirler ancak zayıf ve güçlü substratların karıştırılmasıyla oluşturulan MBK'lerin mekanik mukavemetinde büyük bir değişiklik yaşanmadığından aradaki fark yadsınabilmektedir (Ghazvinian & Gürsoy, 2022). Diğer yandan Sağlam ve Özgünler'in (2024) yapmış olduğu MBK üretimi termal yalıtım özelliklerinin değerlendirilmesi konulu çalışmada, lignin oranının azalması ile misel gelişimi arasında ters orantı olduğu gözlemlenmiştir.

Pirinç kabuğu veya cam tozu gibi yüksek silika içeriğe sahip substratların MBK üretiminde kullanılması, MBK'lerin yangına karşı dayanımını artırmaktadır (Jones, vd., 2017; Bhat, ve diğerleri, 2018).

Gauvin ve diğerlerinin (2021) yapmış olduğu MBK yalıtım malzemelerinin fiziksel, ısı yalıtım ve su emilimi performansının incelenmesi konulu çalışmada, diğer saman bazlı substratlarda olduğu gibi kolza tohumu samanının, ahşaptan daha fazla hidrofobik mumsu kütikül içeriğe sahip olması nedeniyle kolza tohumu samanının substrat olarak kullanıldığı MBK'lerin selüloz lifiyle oluşturulan MBK'lere göre daha az su emilimi gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Sağlam ve Özgünler'in (2024) yapmış olduğu MBK üretimi termal yalıtım özelliklerinin değerlendirilmesi konulu çalışmada ise keten tohumu ile kaplanmış MBK'lerin su emme oranının %30-50 oranında azaldığı ve kaplanmamış MBK'lere göre çevresel etkenlere karşı dayanıklılık özelliklerinin daha gelişmiş olduğu buna karşın su buharı geçirgenliğine karşı direnç geliştirmediği gözlemlenmiştir.

Ross'a (2016) göre; silika, kil, perlit, metilselüloz, gliserin ve agaroz gibi katkı maddeleri, nemi korumak veya substratın viskozitesini arttırmak için liflere eklenebilir (Vanden Elsacker, 2021). Substratlara patates dekstroz suyunun ilave edilmesi sert bir polimer olan kitin üretimini azaltarak misellerin daha sünek davranış göstermesini sağlayarak MBK'lerin daha esnek olmasını sağlamaktadır (Haneef ve diğerleri, 2017).

2.1.5. MBK'lerin Mimarlıktaki Kullanımları

Literatürde MBK'lerin mimarlık alanında yapıda; dolgu, blok, levha, panel biçiminde çeşitlendiği, ayrıca yapının kendisini oluşturacak strüktürel kurgu şeklinde oluşturulduğu görülmektedir. Yapıda dolgu, blok, levha, panel gibi kullanımlarında; ısı yalıtımı, ses yalıtımı, yangına karşı dayanım, su emilimi, yapısal bütünlük ve mukavemet ile çevreye

karşı davranış özellikleri irdelenmektedir. Bu bağlamdaki çalışmalara yönelik kısa bir literatür özeti aşağıda verilmektedir.

- Isı Yalıtımı

Isı iletkenlik değeri ile ısı yalıtım performansı arasında ters orantı vardır. Bir malzemenin ısı iletkenlik değeri ne kadar düşüğe o kadar iyi ısı yalıtımı gerçekleştirmektedir. Collet ve Pretot'un (2014) yapmış olduğu kenevir betonlarının ısı iletkenliği konulu çalışmada yoğunluğun ve nem içeriğinin malzemenin ısı iletkenlik değerlerini etkilediği belirtilmektedir (Jones, vd., 2020).

Dias ve diğerlerinin (2021) yapmış olduğu miscanthus bitkisinin kullanıldığı MBK yalıtım malzemesi üretimi konulu çalışmaya göre, ortalama yoğunluğu 122 kg/m³ olan yeni yalıtım malzemesi Mycelium-Miscanthus kompozit için 0,0882-0,104 W/mK arasında ısı iletkenliği gözlemlenmiştir. Wimmers ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu ahşap atıkların kullanıldığı MBK yalıtım panellerinin üretimi konulu çalışmada, üretilen MBK'ler arasında ASTM C518-17' ye (2017) göre yapılan termal testler sonucunda yaygın olarak kullanılan yalıtım ürünlerinden yaklaşık %30 daha yüksek termal iletkenlikler (0.051W/mK-0.055W/mK) elde edilmiştir. Yüksek ısı yalıtım performansına sahip saman ve kenevir gibi substratların kullanıldığı MBK'lerin düşük yoğunluklara (57-99 kg/m³) ve düşük termal iletkenliklere (0.04 0.08 W/mK) sahip olması, onları koyun yünü (18 kg/m³, 0,05 W/m·K) ve kenaf (105 kg/m³, 0,04 W/m·K) (Asdrubali vd., 2015) dahil olmak üzere diğer doğal yalıtkanlara ek olarak, cam yünü (57 kg/m³, 0,04 W/mK) ve ekstrüde polistiren yalıtım (XPS, 34 kg/m³, 0,03 W/mK) (Papadopoulos, 2005) gibi geleneksel ticari ısı yalıtım malzemeleriyle rekabet edebilecek noktaya getirmektedir (Jones, vd., 2020).

- Ses Yalıtımı

MBK'ler %37-99 akustik emilim değeriyle poliüretan köpüklerle karşılaştırılabilir, polistiren köpüklerden (%20-60) ve kontrplaklardan (%10-23) ise daha iyi performans gösterdiklerinden akustik yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirler (Jones, vd., 2020; Sydor, vd., 2022; Gezer & Kuştaş, 2024). MBK yalıtım levhalarının ses yalıtımı performansı; malzemenin gözenek boyutu ve görünür yoğunluğu ile ilişkilidir. Görünür yoğunluğun düşük olmasıyla yüksek gözenekliliğe sahip MBK'ler genellikle düşük

frekanstaki seslerin emilmesinde, düşük gözenekliliğe sahip MBK'ler ise genellikle yüksek frekanstaki seslerin emilmesinde etkilidir (Gezer & Kuştaş, 2024).

- Yangına Karşı Dayanım

MBK'lerin ve geleneksel yalıtım malzemelerinin yangına karşı dayanımı ve yangın sürecinde göstermiş oldukları davranışları incelendiğinde, sentetik kökenli (XPS, EPS, poliüretan vb.) ısı yalıtım malzemelerinin çoğunun yangın davranışları petrol türevi olduklarından iyi değildir (Bektaş, 2018). Jones ve diğerlerine (2017) göre, benzer ateşleme süresine sahip olmasına rağmen, MBK'lerin ısı salma oranları (en yüksek değerler dahil), XPS köpüğüne göre önemli ölçüde daha düşüktür. Yangın güvenliği bağlamında MBK'lerde substrat olarak silika konsantrasyonu yüksek malzemeler seçilmelidir (Jones, vd., 2017; Bhat, ve diğerleri, 2018). Bhat ve diğerlerine (2018) göre, MBK üretiminde substrat olarak kullanılan pirinç kabukları, yangın performansını artıran önemli miktarda kömür ve silika külü verir ancak cam tozu içeren MBK'ler, önemli ölçüde daha yüksek silika konsantrasyonları ve düşük yanıcı malzeme içeriği nedeniyle en iyi yangın performansını sergilemektedirler. Ayrıca XPS ve ahşap kompozite göre çok daha iyi yangın güvenliği parametrelerine sahiptirler. Jones ve diğerlerinin (2017) yapmış olduğu MBK'lerin termal bozunumu ve yangına karşı reaksiyon özellikleri konulu çalışmada termogravimetrik analize (TGA) göre, substrat olarak pirinç kabuğu kullanılan MBK'ler, substratta bulunan lignin ve miselyumdaki fosforun varlığıyla, yangına maruz bırakıldığında, ahşap malzemelerdekine benzer şekilde, Şekil 21'de gösterildiği gibi, dış yüzeyde oluşan kömür tabakası sayesinde yangının ilerlemesini engelleyerek üstün yangın geciktirici performans göstermektedirler.



Şekil 21. MBK dış yüzeyinde kömür tabakası oluşumu (Jones, vd., 2017)

Bhat ve diğerlerine (2018) göre MBK'ler; yalıtım, mobilya ve kaplama uygulamaları için son derece yanıcı petrol ve doğal gaz türevi sentetik polimerlere ve endüstriyel ahşaplara göre daha ekonomik, sürdürülebilir ve güvenilir alternatiflerdir.

- Su Emilimi

MBK'ler gözenekli yapılarından dolayı yüksek su emilim özelliği göstermektedirler (Dias, vd., 2021; Lee & Choi, 2021; Robertson, Høgdal, Mckay, & Lenau, 2020). Bu nedenle su ile temas halinde malzemenin yalıtımsal özelliğinin bozulma tehdi oluşmaktadır. Ayrıca aşırı su emilim sonucu malzemenin yapısında deformasyonlar görüleceğinden levha olarak değerlendirildiğinde yapısal bütünlüğünün bozulması dezavantajlı bir durumdur. Literatürde su emilimini azaltacak 3 farklı ölçüt belirlenmiştir; mantar türü, uzun inkübasyon süresi ve sıcak/soğuk presleme. İnkübasyon süresi arttıkça malzemenin su emiliminde azalma tespit edilmiştir. Sıcak presleme uygulamasının ise malzemenin gözenekliliğini küçülterek mekanik özelliklerini geliştirmenin yanı sıra su emilimini de azalttığı gözlemlenmiştir (Appels, ve diğerleri, 2019; Gauvin, vd., 2021; Uçar Peten, 2022; Gezer, vd., 2024; Wu, ve diğerleri, 2011). Appels ve diğerlerinin (2019) yapmış olduğu MBK'lerin mekanik, nem ve su ile ilgili özelliklerini etkileyen parametrelerin incelendiği MBK'lerin mekanik, nem ve su ile ilgili özelliklerini etkileyen parametrelerin incelendiği çalışmaya göre, kayın talaşının (43 wt%), kolza samanı tohumu ve pamuk lifine göre (580 wt%) su emilimi gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni ise kayın talaşının, ağırlıkça

%48 selüloz ve %26 hidrofobik lignin içeriğinden kaynaklı küçük gözenekli yapısıyla bağlantılı olduğu düşünülmektedir (Jones, vd., 2020).

- Yapısal Bütünlük ve Mukavemet

MBK'ler yalıtım malzemesi olarak değerlendirildiğinde, EPS'ye göre %60 daha iyi sıkıştırma mukavemetine sahiptirler (Bruscato, vd., 2019).

MBK yapı blokları, 12.2-13.5 MPa sıkıştırma mukavemetiyle kiremit tuğlalara (7.2-8.0 MPa) göre daha iyi basınç dayanımı, daha az çiçeklenme (beyazlanma) ve %10.50 su emilim değeri ile kiremit tuğlalara (%11.56) göre suya karşı daha iyi dayanım göstermektedir (Kishan ve diğerleri, 2018). Diğer yandan talaş ve pirinç kepeği bazlı tuğlalara bağlayıcı olarak miselyum eklendiğinde basınç ve eğilme dayanımlarında artış gözlenirken bu durum, kil bazlı tuğlaların eğilme dayanımlarının artmasına rağmen basınç dayanımlarının azalmasına sebep olmuştur (Ongpeng ve diğerleri, 2020). Ayrıca Vanden Elsacker'a (2021) göre, tuğla (ortalama basınç dayanımı 5,7 MPa) veya beton (ortalama basınç dayanımı 22,5 MPa) gibi diğer yük taşıyan malzemelerle karşılaştırıldığında MBK'ler rekabet edemez.

MBK'lerin sandviç kompozit panel üretiminde çekirdek malzeme olarak kullanımına yönelik çalışmalar incelendiğinde ise;

- Wong ve diğerlerine (2019) göre, alüminyum kaplamalı MBSK'ler sıkıştırmaya karşı MBK'lere göre daha iyi performans sergilememişlerdir (Jones, vd., 2020).
- Tekstil kaplamalı MBSK'ler, 4.6-6.5 MPa etkili bükme performansı ile daha basit yöntemlerle elde edilebilmesine rağmen düşük sıkıştırma mukavemetine sahip olduğundan dolayı yapısal uygulamalarda kullanılamamaktadır (Ziegler, vd., 2016; Jones, vd., 2020).
- Ahşap bazlı MBSK'ler yapısal olarak CLT'ye göre daha iyi fakat OSB'den daha düşük performans sergilemekte (Saez, vd., 2021), bazı örneklerde ise Şekil 22'de gösterildiği gibi, çekirdek ve kaplamaların birbirleriyle entegre olamamasından kaynaklı çeşitli delaminasyonlar görülmektedir (Postel, 2020).



Şekil 22. Ahşap kaplamalı MBSK'de delaminasyon oluşumu (Postel, 2020)

Genel olarak MBK'ler geleneksel yapı malzemelerine göre düşük mukavemet değerlerine sahip olması nedeniyle yapı elemanı olarak kullanılmalarındansa yüksek yalıtım performanslarından dolayı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilmektedirler (Ziegler, vd., 2016; Jones, vd., 2020; Vanden Elsacker, 2021).

- Çevreye Karşı Davranış

Jones ve diğerlerine (2017) göre, MBK'ler yangına maruz kaldığında, çevreye salınan karbondioksit, karbonmonoksit ve duman yoğunluğu, XPS'e göre önemli ölçüde daha düşüktür. Lee ve Choi' nin (2021) yaptığı araştırmaya göre, MBK panellerin hava filtreleme sistemleri olarak hareket etme ve atmosferik partikül maddeleri (PM) başarılı bir şekilde emme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bu durum aynı zamanda yüksek su emilim oranına da sebep olduğu için kaplama gibi ek önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir. Diğer taraftan bitki bazlı malzemelerin nem geçirici özelliğinden dolayı buhar geçirici malzeme olarak kullanılması yoğuşma problemini ortadan kaldıracığından miselyum kompozit malzemelerin sentetik malzemelere göre yapı biyolojisi ve insan sağlığı bakımından daha avantajlı olduğu söylenebilir (Gauvin, vd., 2021).

Yapı sektöründeki bazı yalıtım malzemeleri ve levhalar ile literatürdeki miselyum bazlı yalıtım malzemeleri, levhalar ve sandviç kompozitlerin yapısal özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. MBK'lerin yapısal özellikleri (Arslan & Aktaş, 2018; Bruscato, vd., 2019; Jones, vd., 2020; Özer & Acun Özgünler, 2019; Postel, 2020; Saez, vd., 2021; T.S.E., 2008; Uçar Peten, 2022; Ziegler, vd., 2016; Sağlam & Özgünler, 2022)

	Yoğunluk (g/cm ³)	Yangın Dayanımı (°C)	Isı İletkenlik (W/m·K)	Su Emilimi (wt%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
Mantar Isı yalıtım malzemeleri & Levhalar (TS-825)	0.080-0.500	-	0.045-0.055	-	-	-
Taş Yünü	0.020-0.200	250	0.033-0.040	yüksek	0.015-0.080	-
Cam Yünü	0.010- 0.120	250	0,040	yüksek	0.015-0.080	-
EPS	0.015- 0.075	80	0.031-0.037	düşük	0.060-0.200	0.070.-0.700
XPS	0.025-0.050	80	0.028-0.036	düşük	0.150-0.700	0.070.-0.700
MBK yalıtım paneli	0.059-0.552	220-310	0.040-0.180	yüksek	0.170-1.100	0.050-0.390
Plywood	0.460-0.680	düşük	0.300-0.500	5-49	8-25	-
Softwood	0.440-0.600	düşük	0.080-0.300	5-190	135-43, 13-9	9.9-11.5
Hardwood	0.850-1.030	düşük	0.200-0.500	5-190	168-83, 112.7-15.6	10.3-11.5
MBK levha	0.810-0.900	-	-	40-580	-	13.1-18.06
Alüminyum Kaplamalı MBSK	-	-	-	-	MBK' den daha düşük	-
Tekstil Kaplamalı MBSK	0.100-0.140	-	-	298-350	0.670-1.180	4.6-6.5
Ahşap Kaplamalı MBSK	0.360-0.540	-	0.062-0.070	-	0.100-0.400	0.11-0.16

Tablo 2'den elde edilen bilgilere göre,

- MBK yalıtım panelleri ve levhalar, malzeme bazında farklı yapısal özelliklere sahip farklı alanlarda kullanılan malzemeler olmasına rağmen TS 825 numaralı “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardında mantar ısı yalıtım malzemeleri ve levhalar birlikte değerlendirilmiştir.
- MBK yalıtım panelleri kendi muadilleri ile karşılaştırıldığında; yüksek yangın ve basınç dayanımı özellikleri ile ön plana çıktığı, ısı iletkenlik değerleriyle ise rekabet edebilir seviyede olduğu görülmektedir. Ancak yüksek yoğunluk, yüksek su Emilimi ve düşük eğilme dayanımına sahip olması dezavantajları olup iyileştirilmesi gereken özellikleridir.
- MBK levhalar kendi muadilleri ile karşılaştırıldığında; yüksek eğilme dayanımı ile ön plana çıkmaktadır. Yoğunluk bakımından “hardwood” ile benzerlik göstermesine rağmen su Emilim değerinin çok yüksek olması, MBK

levhaların iç uygulamalarda kullanımının daha uygun olduğunu göstermektedir. Bu nedenle dış uygulamalarda kullanılacaksa mutlaka su yalıtım kaplaması uygulanmalıdır.

- MBSK'ler kendi içlerinde değerlendirildiğinde; tekstil kaplamalı MBSK'lerin ahşap kaplamalı MBSK'lere göre daha düşük yoğunluk ve daha yüksek basınç ve eğilme dayanımına sahip olması, miselyumun gelişimini sağlayan substratın yapısal özelliklerinin ve miselyum kolonizasyonunun elde edilen MBSK üzerindeki etkisini göstermektedir.
- MBSK'ler genellikle MBK levhalara göre daha düşük eğilme dayanımına sahiptirler. Bu durumun sebebinin MBSK'lerin katman kalınlığının ve yoğunluklarının fazla olmasından ileri geldiği düşünülmektedir

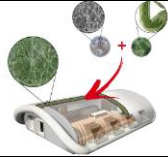
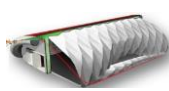
Endüstriyel ortamda MBK'lerin üretilmesi için gerekli olan substrat ve miselyum temini sağlayan şirketler arasında; Hollanda'da bulunan CNC Exotic Mushrooms, Amerika'da bulunan Ecovative ve Hollanda ve Almanya'da bulunan Grown.bio örnek olarak gösterilebilir (CNC Exotic Mushrooms, 2024; Ecovative, 2024; Grown bio, 2024)

MBK'lerin yapı sektöründe (Tablo 3) ve akademik çalışmalarda (Tablo 4) yapıda dolgu, blok, levha, panel ve yapının kendisini oluşturacak strüktürel kurgu şeklindeki uygulamalarına yönelik literatürde yer alan örnekler verilmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'teki örneklem sıralamasında proje adı ve yılındaki tarih/tarihler esas alınmıştır.

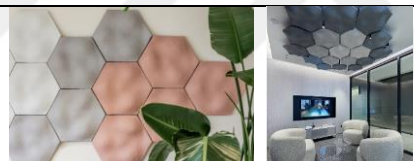
Tablo 3. Yapı sektöründe MBK projeleri

Şirket/ Araştırmacı	Çalışma Alanı	Proje Adı ve Yılı	Ülke	Kaynak
Phil Ross	Yapı bloğu		Almanya	(Evans, 2014; Wolff, 2023)
		Mycotectural Alpha (2009)		
Mycoworks	Yapı bloğu, İç mekan donanımı		ABD	(Mycoworks , 2024)
		Mycotecture Vault (2011)		
The Living & Ecovative & Arup	Yapı bloğu		ABD	(Maloney, 2014)
		Hy-Fi Tower (2014)		
Beetles 3.3 & Yassin Arredia Design	Kabuk dolgu elemanı		Hindistan	(Frearson, 2017a)
		Shell Mycelium (2016)		
BioBabes	Prototip, İç mekan donanımı		İngiltere	(Biobabes, 2024)
		Hyper Articulated Myco-Morphs (2016-2017)		

Tablo 3'ün devamı

Türkiye Biyotasarım Takımı (TBT) & Diploid	Yalıtım Paneli				Türkiye	(TBT, 2017)
		FungInsulation (2017)				
Urban Atölye	Strüktür dolgu elemanı				Türkiye	(Urban Atölye, 2018; Mimarizm, 2017)
		Alveosis (2017)				
Mycotech Lab	Yapı bloğu, Duvar paneli				Endonezya	(Mycotech Lab, 2024; Parametric ouse, 2024)
		MycoTree (2017)	Biobo (2023)	LEGOW O (2023)		
Officina Corpuscoli	3D baskı prototip, Yapı bloğu				Hollanda	(Co-de-iT, 2019; Officina Corpuscoli, 2017)
		S(e)AMENESS (2017)	Bio Ex-Machina (2019)			
NASA Ames Research Center	Kabuk dolgu elemanı				ABD	(Rothschild, 2018; Rothschild, 2021)
		Myco-architecture off Planet (2018)	Mycotecture off Planet (2021)			
Søren Jensen A/S	Kabuk dolgu elemanı, Biyofiltre				Danimarka	(Strunge, 2020; Søren Jensen, 2024)
		From Waste to Biomaterial (2018)	Hyphen			

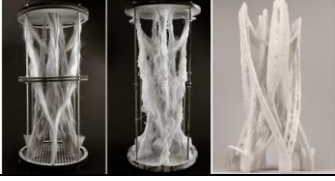
Tablo 3'ün devamı

Krown Studio Klarenbeek & Dros	İç mekan donanımı, Cephe paneli, 3D baskı prototip				Hollanda	(Studio Klarenbeek & Dros, 2024; The Growing Pavilion, 2024)
		The Growing Pavilion (2019)				
Carlo Ratti Associati	Kemer				İtalya	(Carlo Ratti Associati, 2019)
		The Circular Garden (2019)				
Co-de-iT	3D baskı prototip, İç mekan donanımı				İtalya	(Co-de-iT, 2019)
		Bio Ex-Machina (2019)				
Mogu	Akustik Panel, Duvar Panelleri, Döşeme				İtalya	(Mogu, 2024)
Blast Studio	İç mekan donanımı, Heykel, Sütun, Pavyon				İngiltere	(Hahn, 2022; Blast Studio, 2023; Blast Studio, 2022)
		Blue Tree (2021)	Tree Pavilion (2022)	Op't Oog Columns (2023)		
SUPERPRAXIS	Yapı bloğu				Arjantin	(Dejtiar, 2021)
		Refugio Fungico (2021)				

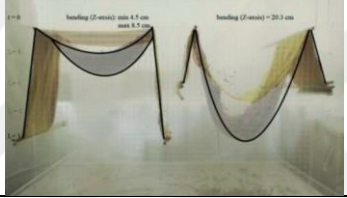
Tablo 3'ün devamı

MY-CO-X	Cephe paneli		Almanya	(Meyer ve diğerleri, 2022)
		MY-CO SPACE (2021)		
Nikolaj Emil Svenningsen, Søs Christine Hejselbæk, Jonas Rask Kalmar Hansen, Sean Lyon, SuperWood, Kvadrat, Grown.bio	Kabuk dolgu elemanı		Danimarka	(Sean Lyon, 2023)
		Inhabiting Ecologies (2022)		
Biotechnology in the Built Environment (HBBE)	Monolitik yapı		İngiltere	(Kaiser, 2023; HBBE, 2024)
		BioKnit (2022)		
Studio Link-Arc & Bio-Loop	Yapı bloğu		Çin	(ArchDaily, 2022)
		Inverted Architecture (2022)		
Natalie Alima & Simulaa	Monolitik yapı		Estonya	(Immanuel, 2021)
		Burlasite (2022)		
Simon Carroll	Cephe paneli		İngiltere	(Hahn, 2023)
		Hayes Pavilion (2023)		

Tablo 4. Akademik alanda MBK araştırmaları

Araştırma Laboratuvarı / K�rs�/ Araştırmacı	�alışma Alanı	Proje Adı ve Yılı	Kuruluş	Kaynak
Mimarlık Bölümü	Kolon prototipi	 Mycelium Tectonics (2015)	Bologna Üniversitesi	(Tabellini, 2015)
Future Cities Laboratory (FCL)	Yapı bloğu, 3D baskı prototip	 MycoTree (2017)	Singapur ETH Merkezi (SEC)	(FCL, 2024a; FCL, 2024b)
Block Research Group (BRG)	Yapı bloğu, Monolitik yapı	 MycoTree (2017)  Thick and Thin (2018)	İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü (ETH)	(BRG, 2024; JDOVaults, 2018)
Sürdürülebilir İnşaat Kürsüsü	Yapı bloğu, Panel	 MycoTree (2017)  NEWood (2023)	Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü (KIT)	(KIT, 2017; KIT Mimarlık Bölümü, 2024)
Mimarlık Okulu	Monolitik yapılar	 Mycoarch (2017)  Thick and Thin (2018)  Monolito Micelio (2018)	Georgia Teknoloji Enstitüsü	(Dessi-Olive, 2019)
Alexi Vesaluoma	Kabuk strüktür	 Grown Structures (2017)	Brunel Üniversitesi & Astudio	(Cox, 2017; Mandin, 2024)

Tablo 4'ün devamı

Bina İnşaatı Enstitüsü & Hesaplamalı Tasarım ve İnşaat Enstitüsü (ICD)	3D baskı sütun, Yapı bloğu, Monolitik yapı		Stuttgart Üniversitesi	(Nguyen ve diğerleri, 2022; Campbell ve diğerleri, 2017; Nguyen, 2023)
		Modular Mycelia (2017)		
Mimari Mühendislik Bölümü (ARCH)	3D baskı prototip, Robotik tel kesme kalıp, Kabuk		Brüksel Özgür Üniversitesi	(Vanden Elsacker, 2021; Vrije Universiteit Brussel, 2019)
		From Waste to Biomaterial (2018)		
Mimari Tasarım Bilgisayar Programı	Şekil alma ve yeniden şekillendirme		İstanbul Teknik Üniversitesi	(Elbasdı & Alaçam, 2019)
		Catenary Mycelium (2018)		
Summer Design & Build Studio	Yapı bloğu		Rensselaer Politeknik Enstitüsü (RPI)	(Rensselaer Politeknik Enstitüsü, 2019)
		Mycelium Pavilion (2019)		
BioDigital Matter Lab.	3D baskı sütun		Lund Üniversitesi, İsveç	(Goidea ve diğerleri, 2020)
		Pulp Faction (2020)		
Dijital Madde Araştırma Stüdyosu	Akustik panel		Katalonya İleri Mimarlık Enstitüsü (IAAC)	(Lago, 2023; Groth, 2022)
		SURO//MYCO (2021-2022)		

Tablo 4'ün devamı

SOFTLAB, ForMat Lab & Andre West	Kabuk dolgu elemanı			Pensilvanya Eyalet Üniversitesi & North Carolina Eyalet Üniversitesi	(SOM Foundation, 2021; Pensilvanya Eyalet Üniversitesi, 2024)
		MycoKnit (2021)			
Behzad Modanloo, Ali Ghazvinian, Muhammed Rıza Matini, Elham Andaroodi	Tonoz			-	(Modanloo ve diğerleri, 2021)
		Tilted Arch (2021)			
MycoMatters Lab	Duvar prototipleri			Kuzey Carolina Üniversitesi, Charlotte, ABD	(Dessi-Olive, 2022)
		La Parete Fungina (2022)	L'Orso Fungino (2022)		
Shape Lab	3D baskı prototip			Graz Teknoloji Üniversitesi Mimarlık ve Medya Enstitüsü	(Severi, 2023)
		MyCera (2022)			
ForMat Lab	Yapı bloğu			Pensilvanya Eyalet Üniversitesi	(Ghazvinian, 2023)
		MycoCreate 2.0 (2022)			
Computational Tectonics Lab/ Mimarlık Okulu	3D baskı ve Robotik üretim prototip			Virginia Üniversitesi	(Virginia Üniversitesi Mimarlık Okulu, 2024)

2.2. Analiz Çalışması

Tez çalışmasının bu bölümünde MBK'lerin yapım sistemi içerisine dahil edildiği projeler; MBK'lerin bir yapı elemanı ya da strüktürel kurgu olarak mimari alanda yapı içerisindeki kullanım alanları, yapım tekniği ve potansiyelleri ile ilgili detayları ortaya çıkarmak amacıyla oluşturulan örneklem grubunun analizi gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Örneklem Grubunu Oluşturacak Projelerin Seçilmesi

Çalışma kapsamında incelenecek olan örneklem grubu, Tablo 3 ve

Tablo 4'te listelenen projeler arasından seçilirken, projelerin gerçekleştirilmiş olması, MBK'lerin yapım sistemi içerisinde belirli bir işlevi olması ve projelerde kullanılan MBK ve strüktür sistemi ile tasarım ve üretim yöntemi hakkında yeterli bilgiye erişilebilme imkanının olması göz önünde bulundurulmuştur. Seçilen örneklem grubuna ait 21 proje; gerçekleştirildiği yıl, sahip olduğu mimari ölçek, kullanım yeri ve kullanılan MBK'nin üretim tekniği Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Örneklem grubunun kronolojik sıralanışı

Proje Adı	Proje Yılı	Proje Sorumlusu	Proje Yeri	Proje İşlevi	Proje Süresi	Proje Kullanım Amacı	Projede MBK'nin İşlevi
Hy-Fi Tower	2014	The Living & Ecovative & Arup	ABD	Pavyon	-	Geçici	Yapı bloğu
Mycelium Tectonics	2015	Gianluca Tabellini	İtalya	Yapı elemanı prototipi	-	-	Kolon
Shell Mycelium	2016	Beetles 3.3 & Yassin Arredia Design	Hindistan	Pavyon	3 Ay	Geçici	Kabuk dolgu elemanı
MycoTree	2017	KIT & SEC-FCL & ETH-BRG & Mycotech Lab	Güney Kore	Yapı elemanı	-	-	Yapı bloğu
Mycoarch	2017	Bridget Ayers Looby, Rebecca Ramsey ve Jonathan Dessi-Olive	ABD	Yapı elemanı	5 günden fazla	Geçici	Kemer

Tablo 5'in devamı

Modular Mycelia	2017	Sean Campbell, David Correa, Dylan Wood, Achim Menges ve Dr. Arnd G. Heyer	Almanya	Yapı elemanı	33 gün	-	Modüler yapı bileşeni
Grown Structures	2017	Aleksi Vesaluoma & Astudio	İngiltere	Pavyon	En az 4 hafta	Geçici	Kabuk strüktür
Thick and Thin	2018	Jonathan Dessi-Olive & Georgia Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Okulu	ABD	Yapı elemanı	-	-	Kemer
Monolito Micelio	2018	Jonathan Dessi-Olive & Georgia Tech Mimarlık Okulu	ABD	Pavyon	-	Geçici	Tonoz
From Waste to Biomaterial	2018	Søren Jensen A/S	Danimarka	Pavyon	6 haftadan fazla	Geçici	Kabuk dolgu elemanı
The Growing Pavilion	2019	Pascal Leboucq, Lucas De Man, Klarenbeek & Dros	Hollanda	Pavyon	1 hafta (kurulum)	-	Cephe paneli
The Circular Garden	2019	Carlo Ratti Associati & Eni	İtalya	Enstallasyon	2 ay	Geçici	Ters katener kemerler
Pulp Faction	2020	Ana Goidea, David Andréen, Dimitrios Floudas	İsveç	Yapı elemanı	-	-	Kolon modülü
Refugio Fungico	2021	SUPER-PRAXIS	Arjantin	Enstallasyon	30 gün (üretim)	Geçici	Yapı bloğu
MY-CO SPACE	2021	MY-CO-X	Almanya	Konut prototipi	5 ay	Geçici	Cephe paneli
Tilted Arch	2021	Behzad Modanloo, Ali Ghazvinian, Muhammed Rıza Matini, Elham Andaroodi	-	Yapı elemanı	-	-	Katener kemer

Tablo 5'in devamı

Inhabiting Ecologies	2022	Nikolaj Emil Svenningsen , Søs Christine Hejselbæk, Jonas Rask, Kalmar Hansen, Sean Lyon	Danimarka	Pavyon	-	Geçici	Kabuk dolgu elemanı
BioKnit	2022	HBBE-Living Textiles Research Group	İngiltere	Pavyon	-	-	Kabuk strüktür
La Parete Fungina	2022	Jonathan Dessi-Olive	ABD	Yapı elemanı	~ 1 Ay	Geçici	Yapı bloğu
L'Orso Fungino	2022	Jonathan Dessi-Olive	ABD	Yapı elemanı	6 hafta	Geçici	Duvar ünitesi
MycoCreate 2.0	2022	Benay Gürsoy, Ali Ghazvinian, Alale Mohseni	ABD	Pavyon	6 saat (kurulum)	Geçici	Yapı bloğu

2.2.2. Seçilen MBK Projelerin Analiz Edilmesi

Tablo 5'te gösterildiği üzere, örneklem grubunu oluşturan 21 proje arasında MBK üretimi; 3 projede çerçeveleme, 11 projede statik kalıplama, 1 projede esnek kalıplama, 2 projede hibrit kalıplama, 2 projede kalıpsız üretim ve 2 projede 3D baskı yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu duruma göre seçilen projelerin analizi; çerçeveleme, kalıplama (statik, esnek ve hibrit), kalıpsız üretim ve 3D baskı olmak üzere dört farklı üretim yöntemine sahip projelerin, ait oldukları üretim sınıfına göre oluşturulan proje künye tablolarına göre gerçekleştirilmektedir. Proje künyeleri genel olarak; proje bilgileri, MBK üretim tekniği, MBK üretim akışı, MBK bağlantı tekniği, strüktürel kurgu, araç ve gereçler ile proje görseli olmak üzere 7 bölümden oluşmaktadır.

Proje bilgileri bölümünde; projenin adı ve sorumlusu, yapım yeri ve yılı, projenin işlevi, projenin yapım süresi ve sürekliliği ile MBK'nin projedeki işlevi hakkında projeye ait genel bilgiler verilmektedir.

MBK'nin üretim tekniği (ÜT) bölümünde çerçeveleme tekniği ile üretilen projelerde; çerçeve sistemi, malzemesi, formu ve boyutları, kalıplama tekniği ile üretilen projelerde; kalıplama türü, kalıp malzemesi, formu ve boyutları, 3D baskı yöntemi ile üretilen projelerde

ise dijital üretim türü, nozül kalınlığı, katman yüksekliği ve katkı malzemeleri olarak alt başlıklara ayrılmaktadır. Kalıpsız üretilen projelerin yapı künyesinde ÜT kısmı bulunmamaktadır.

MBK'nin üretim akışı (ÜA) kısmında; kullanılan miselyum ve substrat türü, substrat sterilizasyon yöntemi, kolonizasyon süresi, kurutma yöntemi ve süresi alt başlıkları bulunmaktadır.

MBK'nin bağlantı tekniği (BT) kısmında ise bağlantı türüne ve malzemesine ait bilgilere yer verilmektedir. MBK bağlantı türlerine ait tanımlamaların bir kısmında Gustafsson'ın (2016) ahşap çerçeve sistemlerindeki bağlantılar üzerine yapmış olduğu çalışmadan yararlanılmıştır.

Strüktürel kurgu (SK) bölümünde; strüktür türü, strüktürün yapım sistemi içerisinde çalışma prensibi ve strüktür malzemesi ile ilgili veriler bulunmaktadır. Strüktür sistemlerinin sınıflandırılması geleneksel ve modern strüktür sistemlere göre değerlendirilmiştir. Modern strüktürel kurguya sahip projelerin strüktür sınıflandırması, Engel'in (1997) strüktür sistemleri üzerine yapmış olduğu çalışma referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Geleneksel strüktür sistemi olan yığma yapım sistemi ise modern strüktür sistemlerinden ayrı olarak ele alınmıştır. Ahşap strüktür sistemlerinin incelenmesinde, Koç & Gür'ün (2021) yapmış olduğu ahşap ızgara kabuklar konulu çalışmadan yararlanılmıştır.

Tasarım aracı ve üretim gereci olarak iki alt başlıkta incelenen araç ve gereçler (A&G) bölümünde; projenin tasarım aşamasında kullanılan araçlar ve tasarım metodu ile projenin üretim aşamasında kullanılan gereçlerden bahsedilmektedir. Proje künyesinde son olarak projeye ait görsel verilmektedir.

Seçilen projeler proje bilgileri, MBK üretim tekniği, MBK üretim akışı, MBK bağlantı tekniği, strüktürel kurgu ile araç ve gereçler olmak üzere 6 alt başlıkta incelenmiştir.

Tablolarda gösterilen “-” ifadesi, belirtildiği alan ile ilgili bilgi bulunmadığını, “yok” ifadesi ise belirtildiği alana ait özelliğinin bulunmadığı anlamına gelmektedir.

2.2.3. Çerçeveleme Tekniği ile Üretilen MBK Proje Örnek Analizleri

Tez çalışmasının bu bölümü, örneklem grubunda yer alan ve çerçeveleme tekniği ile üretilen 3 MBK projenin analiz çalışmasından oluşmaktadır.

Tablo 6. Shell Mycelium (Architetto, 2016; Frearson, 2017a)

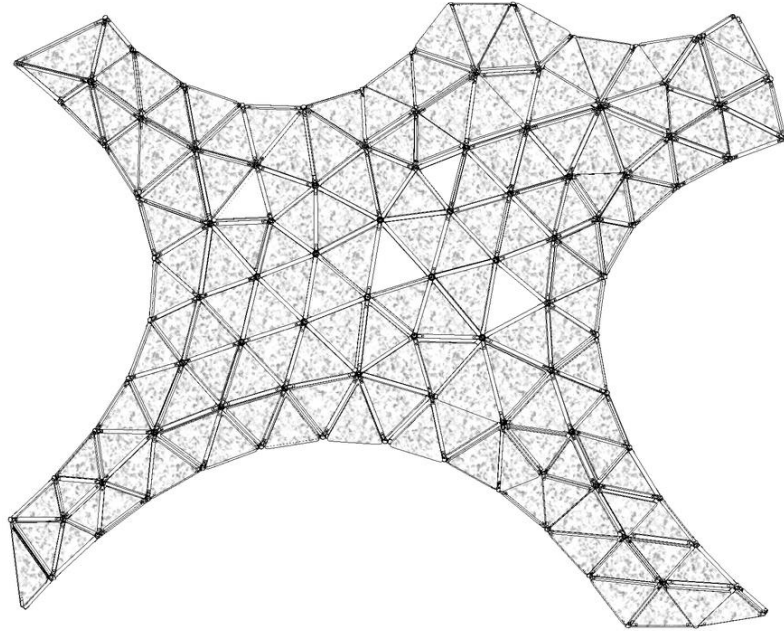
Proje Bilgileri	Proje Adı	Shell Mycelium
	Proje Sorumlusu	Beetles 3.3 & Yassin Arredia Design
	Proje Yeri	Hindistan
	Proje Yılı	2016
	Proje İşlevi	Pavyon
	Proje Süresi	3 Ay
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Kabuk dolgu elemanı
ÜT	Çerçeve Sistemi	Rijit Izgara
	Çerçeve Malzemesi	Ahşap
	Çerçeve Formu	Üçgen
	Çerçeve Boyutları	5x5 cm kiriş
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	-/Hindistan cevizi kabuğu
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	Birkaç gün
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/-
BT	Bağlantı Türü	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)
	Bağlantı Malzemesi	Miselyum
SK	Strüktür Türü	Vektör aktif strüktür-Kavisli kiriş sistem
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	Ahşap
A&G	Tasarım Aracı	-
	Üretim Gereci	Geleneksel
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

Beetles 3.3 stüdyosundan Asif Rahman ve Yassin Arredia Design stüdyosundan Giombattista Arredia ve Mohamad Yassin tarafından yapılan iş birliği sonucunda geçici pavyon yapısı olarak tasarlanan ve yapımı gerçekleştirilen Shell Mycelium projesi, Hindistan'ın Kerala eyaletinde Kochi Muziris Bienali 2016 programında Aralık 2016'dan Mart 2017'ye kadar olan üç aylık süreç içerisinde yapılmıştır. Yapı amacına uygun olarak hizmet ettikten sonra bienal sonunda doğaya geri dönmesi için dağıtılmıştır. MBK, projede kabuk dolgu elemanı olarak kullanılmaktadır ancak kolonizasyona izin verildiği sürece miselyum ahşap strüktürden beslenerek zamanla yapı strüktürünün bir parçası olmaktadır (Frearson, 2017a).

- MBK Üretim Tekniği

Miselyum panelleri oluşturmak amacıyla Şekil 23'te gösterilen plan şemasında olduğu gibi ahşap rijit ızgara çerçeveleme yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 23. Shell Mycelium planı (Architetto, 2016)

Üç yönlü olarak düzenlenmiş üçgen forma sahip çerçeveler Şekil 24'te gösterildiği gibi, 5x5 cm boyutlarındaki ahşap elemanlar tek tabaka halinde $\Phi 6 \times 5$ cm boyutlarındaki

Bu alanlar miselyum ile doldurulduktan sonra substrat olarak hindistan cevizi kabuğu liflerinden oluşan hindistan özüyle kaplanmıştır. Birkaç gün süren Şekil 26’da gösterilen kolonizasyon sürecinin ardından havayla kurutulan MBK’lerin dış yüzeyinde güneş ışığından kaynaklanan ve alt katmanları koruyan kabuksu katman oluşmuştur (Frearson, 2017a).



Şekil 26. Miselyumun kolonizasyonu (Architetto, 2016)

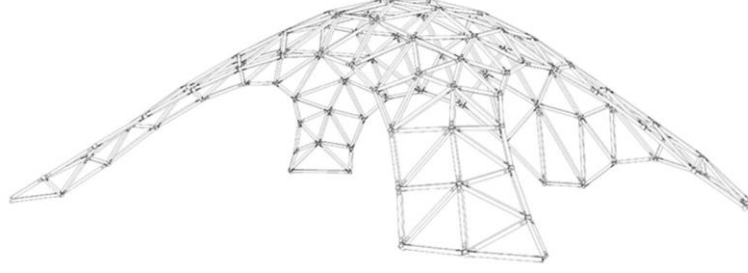
- MBK Bağlantı Tekniği

Zaman içerisinde alt tabakadaki kolonizasyonun devam etmesi ve ahşap strüktürle miselyumun kaynaklı birleşim (myco-welding) yöntemi ile taşıyıcı sisteme dahil olan MBK, yapıda kabuk dolgu elemanı olarak değil, zamanla yapıyı oluşturan strüktür olarak işlevini gerçekleştirmektedir (Frearson, 2017a).

- Strüktürel Kurgu

Üç yönlü (üçgen) ahşap rijit ızgara çerçevelerin serbest yüzey geometrisine sahip Shell Mycelium pavyon yapısını oluşturmak amacıyla biçime uygun olacak şekilde metal bağlantı elemanlarıyla birleştirilmesi sonucunda Şekil 27’de gösterildiği gibi, yapının taşıyıcı

sistemini oluşturan kavisli kirişler, vektör aktif strüktür sistemini oluşturmaktadır (Frearson, 2017a).



Şekil 27. Shell Mycelium strüktür sistemi (Architetto, 2016)

- Araç ve Gereçler

Projede hangi tasarım aracının kullanıldığı belirtilmemektedir. Ancak proje konseptini oluşturan Bozunma Hareketi Manifestosu'na göre pavyonun tasarımı; bozunabilirlik, sürdürülebilirlik ve sorumluluk kavramlarına bağlı olarak olimpiyatlar, ulusal oyunlar ve bienaller gibi belirli bir süre gerçekleşecek etkinlikler için inşa edilen kalıcı yapıların aksine 2016 Kochi Muziris Bienali için kurulumu gerçekleştikten sonra bienal sonunda dağılacak şekilde oluşturulmuştur. Yapının kurulumunda, Şekil 28'de gösterildiği gibi geleneksel üretim gereçleri kullanılmıştır (Architetto, 2016).



Şekil 28. Shell Mycelium kurulumu (Architetto, 2016)

Tablo 7. From Waste to Biomaterial (Strunge, 2019; Søren Jensen, 2024)

Proje Bilgileri	Proje Adı	From Waste to Biomaterial
	Proje Sorumlusu	Søren Jensen A/S
	Proje Yeri	Danimarka
	Proje Yılı	2018
	Proje İşlevi	Pavyon
	Proje Süresi	6 haftadan fazla
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Kabuk dolgu elemanı
ÜT	Çerçeve Sistemi	Rijit Izgara
	Çerçeve Malzemesi	Ahşap
	Çerçeve Formu	Üçgen
	Çerçeve Boyutları	-
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>Pleurotus ostreatus</i> /kahve telvesi ve kenevir keçesi
	Sterilizasyon Yöntemi	Pastörizasyon
	Kolonizasyon Süresi	3+3 hafta
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/-
BT	Bağlantı Türü	Bağlama
	Bağlantı Malzemesi	Kenevir ip
SK	Strüktür Türü	Form aktif strüktür-Kablo sistem
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	Ahşap
A&G	Tasarım Aracı	-
	Üretim Gereci	Geleneksel
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

Søren Jensen firması tarafından geçici bir pavyon yapısı olarak tasarlanan From Waste to Biomaterial projesi, Danimarka’da 2018 yazında yıllık bir bayram yarışı için altı haftadan daha fazla sürede inşa edilmiştir. İki ay boyunca sergilenen projede MBK, yalıtımlı, yangına ve suya dayanıklı kabuk dolgu elemanı olarak kullanılmaktadır (Strunge, 2019).

- MBK Üretim Tekniği

Modülerlik ve eklemlilik bağlamında tasarlanan ve MBK kabuk dolgu elemanına şekil vermeye yardımcı olacak Şekil 29’da gösterilen çerçeveleme sistemi, üç yönlü ahşap rijit ızgara çerçeveleme yöntemi ile oluşturulmuştur. Çerçeveleme sisteminin hareket edilebilirliği sağlamak amacıyla geçici sökülebilir ahşap destek elemanlar ve tekerlek elemanları kullanılmıştır (Strunge, 2019).



Şekil 29. From Waste to Biomaterial çerçeveleme sistemi (Strunge, 2019)

- MBK Üretim Akışı

Yerel uzmanlar, bir mantar yetiştiricisi ve bir biyotasarımcıdan oluşturulan ekip tarafından MBK membranının dayanıklı olarak yetiştirilmesi için bir protokol oluşturulmuştur. MBK üretiminde; 45 kg *Pleurotus ostreatus* miselyumu, substrat olarak 60 kg kahve telvesi, 40 kg kenevir keçesi, 5 kg kenevir ipi kullanılmıştır. Substratlar 70 °C suda 15 dakika

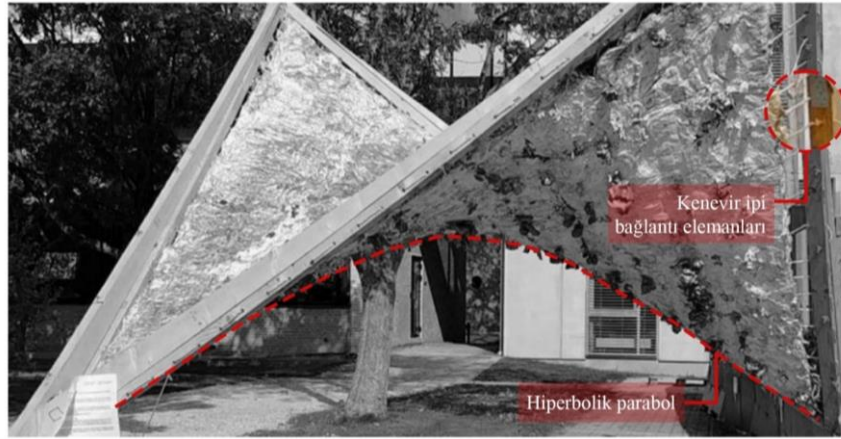
boyunca pastörizasyon yöntemi ile sterilize edilmiştir. Kolonizasyon çerçevelemiden önce 3 hafta, çerçevedikten sonra %50 nem içeriği ve 17 °C ısı kontrolü sağlanarak 3 hafta olmak üzere toplam 6 hafta boyunca iki aşamada gerçekleşmiştir. Bayrak yarışı sırasında açık havada kurutulması istenen projede kurutma işlemi başarıyla gerçekleşmediğinden 7.5 m²'lik MBK membran üzerinde Şekil 30'da gösterildiği gibi istiridye mantarları oluşmuştur. 2 aylık sergilenme süresi boyunca fırtınaya maruz kalan projede oluşan mantarlardan dolayı halatların zayıfladığı gözlemlenmiştir. Ancak şiddetli yağmur sırasında MBK membran derisinde gözle görülür bir hasar tespit edilmemiştir (Strunge, 2019).



Şekil 30. MBK üretim akışı; (sol üst) kahve telvesi ve miselyum karışımı, (sağ üst) kenevir keçelerinin kenevir ipleri üzerine yerleştirilmesi, (sol alt) miselyum kolonizasyonu, (sağ alt) istiridye mantarı oluşumu (Strunge, 2019)

- MBK Bağlantı Tekniği

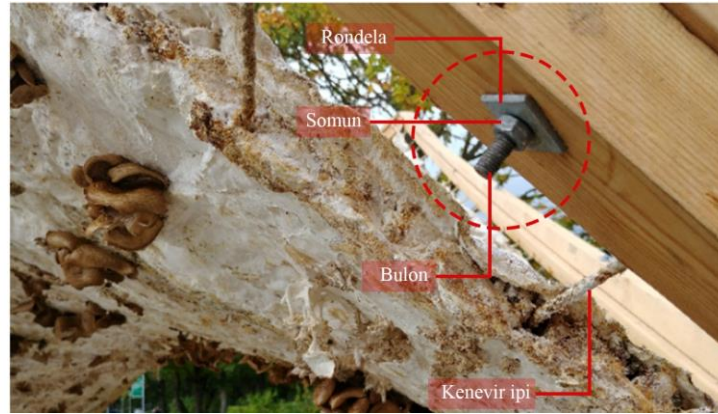
Kenevir ipi sadece substrat olarak miselyum için besin maddesi olarak değil, aynı zamanda MBK kabuk dolgu elemanın hiperbolik şeklini oluşturmak amacıyla da kullanılmıştır. Şekil 31'de gösterilen hiperbolik parabol formun biçimlenmesi, ahşap rijit ızgara çerçeveleme sistemine bağlı kenevir iplerinin miselyum-kahve telvesi karışımı ve kenevir keçeleri arasında şekillendirici referans hat işlevini gerçekleştirmesi sonucu oluşmaktadır.



Şekil 31. From Waste to Biomaterial bağlantı tekniği (Strunge, 2019)

- Strüktürel Kurgu

Kablo sisteminden oluşan form aktif yapı strüktürü, üç yönlü yatay ve dikey ahşapların Şekil 32’de gösterildiği gibi; bulon, somun ve rondelanın birleşmesi ile oluşan bulonlu birleşim yöntemi ile oluşturulmuştur. Kenevir ipleri ise MBK kabuk dolgu elemanının yükünü çerçeve strüktüre aktaran ikincil bağlantı elemanlarıdır (Strunge, 2019).



Şekil 32. Strüktür bağlantı elemanları (Strunge, 2019)

- Araç ve Gereçler

Yeni yapı malzemelerinin yerine atık malzemelerin kullanımına yönelik döngüsel malzeme konseptinden ortaya çıkan ve disiplinler arası bir takımın yapmış olduğu çalışma sonucunda gerçekleştirilen projede geleneksel üretim gereçleri kullanılmıştır (Strunge, 2019).

Tablo 8. Inhabiting Ecologies (Sean Lyon, 2023; Jordahn, 2022; Chart Art Fair, 2022)

Proje Bilgileri	Proje Adı	Inhabiting Ecologies
	Proje Sorumlusu	Nikolaj Emil Svenningsen, Søs Christine Hejselbæk, Jonas Rask, Kalmar Hansen, Sean Lyon
	Proje Yeri	Danimarka
	Proje Yılı	2022
	Proje İşlevi	Pavyon
	Proje Süresi	-
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Kabuk dolgu elemanı
ÜT	Çerçeve Sistemi	Rijit Izgara
	Çerçeve Malzemesi	Ahşap
	Çerçeve Formu	Çokgen
	Çerçeve Boyutları	Değişken
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	- / kahve telvesi, talaş ve tekstil
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	-
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/-
BT	Bağlantı Türü	Yapıştırma
	Bağlantı Malzemesi	Alg bazlı biyopolimer
SK	Strüktür Türü	Vektör aktif strüktür- Uzay kafes sistem
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	Ahşap
A&G	Tasarım Aracı	Parametrik modelleme
	Üretim Gereci	Geleneksel
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

Nikolaj Emil Svenningsen, Søs Christine Hejselbæk, Jonas Rask, Kalmar Hansen ve Sean Lyon'dan oluşan takımın Kopenhag'daki Chart Art Fair 2022 yılı sanat fuarı için tasarlanan proje, Charlottenborg malikanesinin avlusunda geçici bir pavyon yapısı olarak inşa edilmiştir (Sean Lyon, 2023; Jordahn, 2022).

- MBK Üretim Tekniği

MBK'lerin yetişebileceği alanları oluşturmak üzere tasarlanan Şekil 33'te gösterilen ahşap rijit ızgara çerçeveleme sistemi, Superwood tarafından tedarik edilen iki yönlü çokgen ahşap çerçevelerin dış ve yük taşıyıcı olan kısımlarında çift kalınlıkta birleştirilmesiyle oluşturulmuştur.



Şekil 33. Inhabiting Ecologies çerçeveleme sistemi (Sean Lyon, 2023)

- MBK Üretim Akışı

Kvadrat tarafından tedarik edilen ve Şekil 34'te gösterildiği gibi çerçeveleme sistemindeki geometrilere uygun olacak şekilde kesimi gerçekleştirilen tekstiller, miselyumun talaş ve Apollo Bar & Canteen sponsorluğundaki kahve telvelerinden oluşan substratlar ile beslenmesini sağlamak amacıyla hem altlık oluşturmakta hem de miselyumun

kolonizasyonu için ek besin kaynağı olarak yer almaktadır. Yapıda kurutma işlevi açık havada doğal sürece maruz bırakılarak havayla kurutma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Jordahn, 2022).



Şekil 34. Miselyum kolonizasyonu (Jordahn, 2022)

- MBK Bağlantı Tekniği

MBK'nin oluşmasını sağlayan tekstil malzemelerin ahşap ile birleşimi, çevreye zarar veren kimyasal malzeme yerine doğada ayrıştırılabilen alg bazlı biyopolimerlerin doğal yapıştırıcı olarak kullanılması ile gerçekleşmektedir.

- Strüktürel Kurgu

87 adet iki boyutlu çokgen forma sahip ahşap çerçeveler, tek boyutlu ahşap elemanlar ile metal düz ve L formunda köşe bağlantı elemanları ile birleştirilerek Şekil 35'te gösterildiği gibi, 14 adet uzay kafes modüllerin bir araya getirilmesiyle vektör aktif yapı strüktürü oluşturulmuştur. Yapının strüktürünü oluşturmak için toplam 504 adet ahşap eleman kullanılmıştır.



Şekil 35. Strüktür ve bağlantı elemanları (Sean Lyon, 2023)

- Araç ve Gereçler

Charlottenborg'un neo-klasik mimarisinden ilham alan proje, beşerî ve doğal biçimleri sınırlayan unsurları araştırmaktadır. Şekil 36'da gösterilen tasarım modeli, miselyumun süsleme, kaplama, ışık filtreleme ve dokunsallık bağlamındaki davranış kurgusunun bir algoritma olarak değerlendirilmesi sonucunda parametrik modelleme yöntemi ile oluşturulmuştur. Yapının kurulumu sahada geleneksel üretim gereçleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Sean Lyon, 2023; Jordahn, 2022; Chart Art Fair, 2022).



Şekil 36. Miselyumun davranış kurgusu (Sean Lyon, 2023)

2.2.4. Kalıplama Tekniği ile Üretilen MBK Proje Örnek Analizleri

Tez çalışmasının bu bölümü, örneklem grubunda yer alan ve kalıplama tekniği ile üretilen 14 MBK projenin analiz çalışmasından oluşmaktadır.

Tablo 9. Hy-Fi Tower (Maloney, 2014; Stott, 2014; Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014)

Proje Bilgileri	Proje Adı	Hy-Fi Tower
	Proje Sorumlusu	The Living & Ecovative & Arup
	Proje Yeri	ABD
	Proje Yılı	2014
	Proje İşlevi	Pavyon
	Proje Süresi	-
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Yapı bloğu
ÜT	Kalıplama Türü	Statik kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Termoform plastik kalıp
	Kalıp Formu	Özel şekil
	Kalıp Boyutları	Değişken
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	-/Mısır sapları
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	5 gün
	Kurutma Yöntemi/Süresi	-/-
BT	Bağlantı Türü	Yapıştırma
	Bağlantı Malzemesi	Harç
SK	Strüktür Türü	Hiperboloid strüktür birleşimi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür ve yatay yük taşıyıcı ahşap strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK ve ahşap
A&G	Tasarım Aracı	Bilgisayar destekli tasarım
	Üretim Gerci	Geleneksel
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

MoMA'nın (Modern Sanat Müzesi) Genç Mimarlar Programını kazanan ve 10.000 MBK yapı bloğundan yapılan 40 ft (yaklaşık 12 metre) yüksekliğine sahip üç adet dairesel kulelerin birleşiminden oluşan Hy-Fi Tower projesi, New York'ta bulunan The Living mimarlık stüdyosundan David Benjamin tarafından tasarlanmıştır. Ecovative tarafından geliştirilen MBK yapı bloğu teknolojisini yapısında kullanan projenin gerçekleştirilebilmesi için yapısal mühendislik hizmetlerini sağlayan Arup firması ile iş birliği yapılmıştır. Yapı, 2014 yılında New York'taki MoMa PS1'in avlusunda 3 ay boyunca sergilendikten sonra sökülerek ve MBK yapı blokları yerel halk bahçelerine geri verilmek üzere kompostlaştırılmıştır (Maloney, 2014; Stott, 2014; Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014; Frearson, 2014).

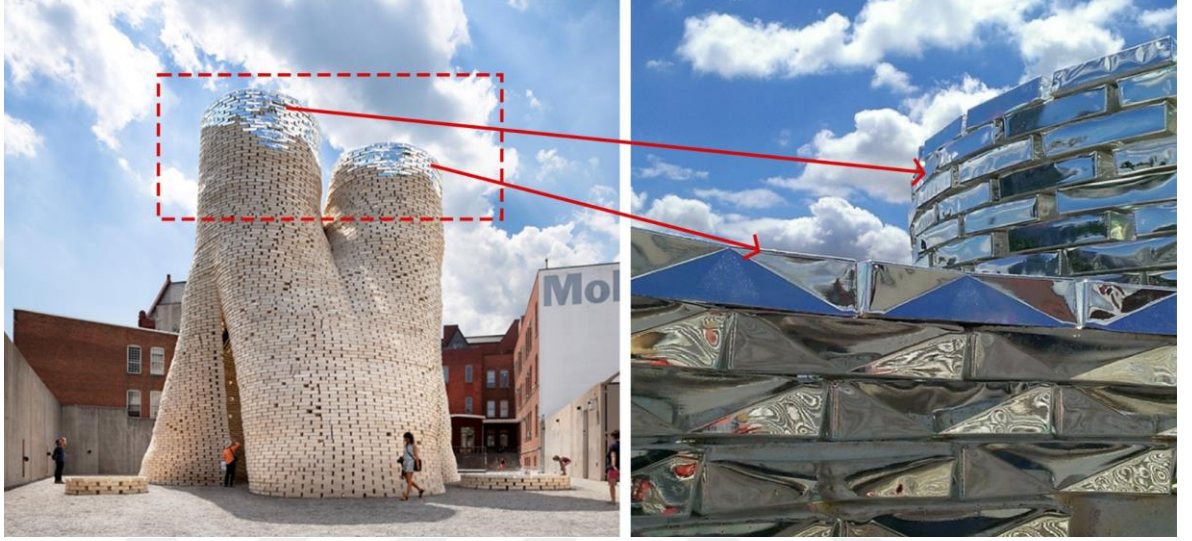
- MBK Üretim Tekniği

MBK yapı blokları, Şekil 37'de gösterilen özel şekillendirilmiş termoform plastik kalıplarda statik kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Bu yapı blokları üretildikten sonra yapının silindirik formuna karşılayabilmek amacıyla kurulum aşamasında kesme işlemine maruz kalmaması için Şekil 37'de gösterildiği gibi üç farklı kalıp boyutu tasarlanmıştır (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014).



Şekil 37. Hy-Fi Tower statik kalıplama (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014)

3M malzeme firması tarafından geliştirilen ışığı kıracak ve yansıtacak özel ayna film kaplı bazı kalıplardan üretilen MBK yapı blokları, Şekil 38’de gösterildiği gibi yapının üst katmanlarına birkaç sıra halinde dizilerek hem yazın güneş ışınlarını yansıtarak pasif soğutma sağlamakta hem de New York’un estetik kent silüetine gönderme yapmaktadır (Stott, 2014; Rajagopal, 2014).



Şekil 38. Hy-Fi Tower film kaplı MBK yapı blokları (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014; Hecht, 2014)

- MBK Üretim Akışı

Şekil 39’da gösterildiği gibi, miselyumun substrat olarak mısır saplarından beslenerek yetiştiği MBK yapı bloğu üretiminde kolonizasyon süreci kontrollü bir ortamda 5 günde tamamlanmaktadır. Miselyum büyümesini durdurmak ve fazla nemi dışarı atmak için gerçekleştirilen kurutma işleminden sonra bazı yapı bloklarına Shabd Simon-Alexander ve Audrey Louisere'den gelen kompostlanabilir boya ile boyama işlemi uygulanmıştır (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014; Rajagopal, 2014).



Şekil 39. MBK yapı bloğu üretim akışı; (sol) miselyum ve substrat karışımı, (orta) miselyum kolonizasyonu, (sağ) boyama işlemi (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2015; Nunes, 2014)

- MBK Bağlantı Tekniği

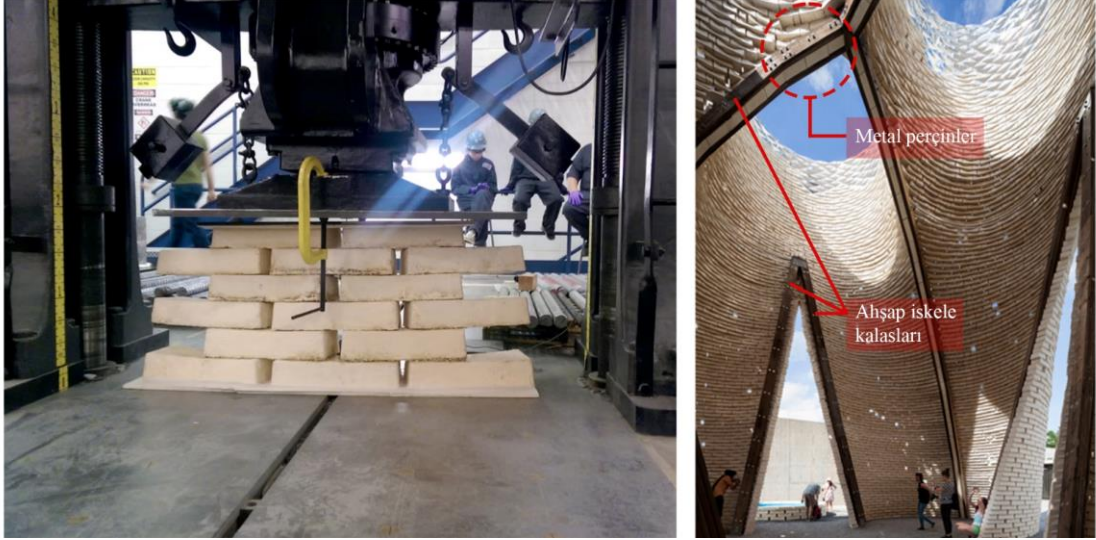
Yalçın (2001)'a göre, malzemenin yönlerle bağlı olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi açıklayan kavram anizotropi olarak tanımlanmaktadır (Hamarat, 2015). Şekil 40'da gösterildiği gibi, üst üste yığma yapım sistemine göre dizilen anizotropik özellik gösteren MBK yapı blokları, harç ile yapıştırma yöntemi kullanılarak birbirleri ile bütünleşmektedir. Harç/yapı bloğu kalınlık oranına bağlı olarak anizotropik MBK yapı bloklarının yığma yapım sistemine göre birleştirilmesinden kaynaklı oluşan yanıl yüklemeye karşı izotropik malzemelere kıyasla yatay rijitliği daha yüksektir (Kimençe, 2019).



Şekil 40. (sol) MBK yapı bloklarının anizotropik yapısı, (sağ) MBK yığma sistemi

- Strüktürel Kurgu

MBK yapı bloklarının yığma yapım sistemine göre dizilmesiyle üçlü silindirik kulelerin birleşimi kurgulanarak hiperboloid strüktür birleşimi oluşturulmuştur. MBK yapı bloklarının ne kadar ağırlığa dayanabileceğini ölçmek amacıyla Şekil 41’de gösterildiği gibi mukavemet testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda yapının 40 ft yüksekliğinde yapısal bütünlüğünü koruyabileceği tespit edilmiştir. MBK yapı bloklarına, üç hafta boyunca üç yıllık rüzgar, yağmur ve nem gibi olumsuz hava şartlarını simüle eden hızlandırılmış test uygulandığında malzemenin performansında herhangi bir düşüş gözlenmemiştir. Ayrıca yapının şiddetli rüzgara (65 milden fazla) karşı dayanıklı olmasını sağlamak amacıyla üç bacanın bir araya getirilmesiyle geniş tabanlı, silindirik, kule benzeri bir form tasarlanmıştır. MBK yapı blokları, rüzgar yüklerini tek başlarına taşıyabilmektedirler ancak rüzgarın hareket miktarını sınırlamak amacıyla yatay yükleri taşımaya yardımcı ahşap elemanları metal perçinler ile yapıya sabitlenmiştir (Maloney, 2014; Stinson, 2014).

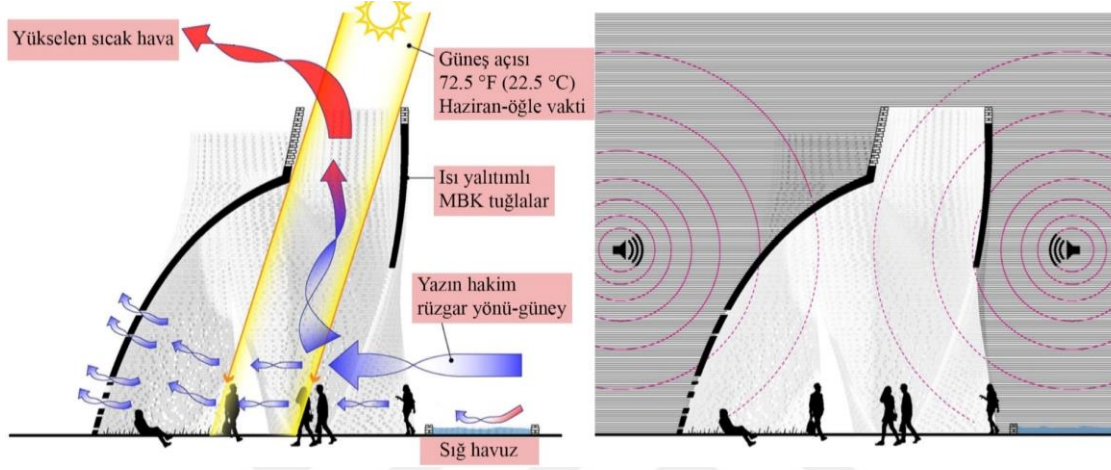


Şekil 41. (sol) MBK yapı bloklarının mukavemet testi, (sağ) MBK yığma ve ahşap strüktür (Architizer, 2014; Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014)

- Araç ve Gereçler

Biyo-tasarım yöntemi kullanarak tasarlanan yapının formu, MBK yapı bloklarını üreten şirket ile yapı analizlerini gerçekleştiren Arup firmasından alınan dönütler sonucunda The Living mimarlık stüdyosunun algoritmik olarak çalıştırılan 3D model aracılığıyla

oluşturulmuştur (The Creators Project, 2014). Proje, çevresel tasarım danışma firması olan Atelier Ten ile yapılan iş birliği sonucunda, tasarımın bir parçası olan sığ havuzların, cephedeki yapı blokları arasında bırakılan bazı boşlukların ve baca etkisinin yaz aylarında sağlayacağı pasif soğutma etkisi ve ses emilim düzeyi Şekil 42’de grafiksel olarak gösterilmiştir (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2015).



Şekil 42. Performans ve deneyim katmanları; (sol) hava akışı, (sağ) ses emilimi (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2015)

Yapı, Şekil 43’te gösterildiği gibi, sahada geleneksel üretim gereçleri kullanılarak inşa edilmiştir.



Şekil 43. Hy-Fi Tower üretim gereçleri (Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2014; Holcim Foundation for Sustainable Construction, 2015)

Tablo 10. MycoTree (Heisel ve diğerleri, 2017; BRG, 2024; Parametrichouse, 2024)

Proje Bilgileri	Proje Adı	MycoTree
	Proje Sorumlusu	KIT & SEC-FCL & ETH-BRG & Mycotech Lab
	Proje Yeri	Seul, Güney Kore
	Proje Yılı	2017
	Proje İşlevi	Yapı elemanı
	Proje Süresi	-
	Proje Sürekliliği	-
	Projede MBK'nin İşlevi	Yapı bloğu
ÜT	Kalıplama Türü	Statik Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	-
	Kalıp Formu	Özel şekil
	Kalıp Boyutları	Değişken
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>Ganoderma lucidum</i> /Şeker kamışı ve manyok
	Sterilizasyon Yöntemi	Otoklavlama
	Kolonizasyon Süresi	8-12+6-9 gün
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Isı ile (konvektif) kurutma/24-48 saat
BT	Bağlantı Türü	Plaka ve dübel
	Bağlantı Malzemesi	Bambu ve ahşap
SK	Strüktür Türü	Vektör aktif strüktür- Kavisli kafes kiriş sistem ve Kesit aktif strüktür- Kiriş kafes sistem
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK ve Bambu
A&G	Tasarım Aracı	3D modelleme
	Üretim Gereci	Geleneksel, CNC

Proje Görseli

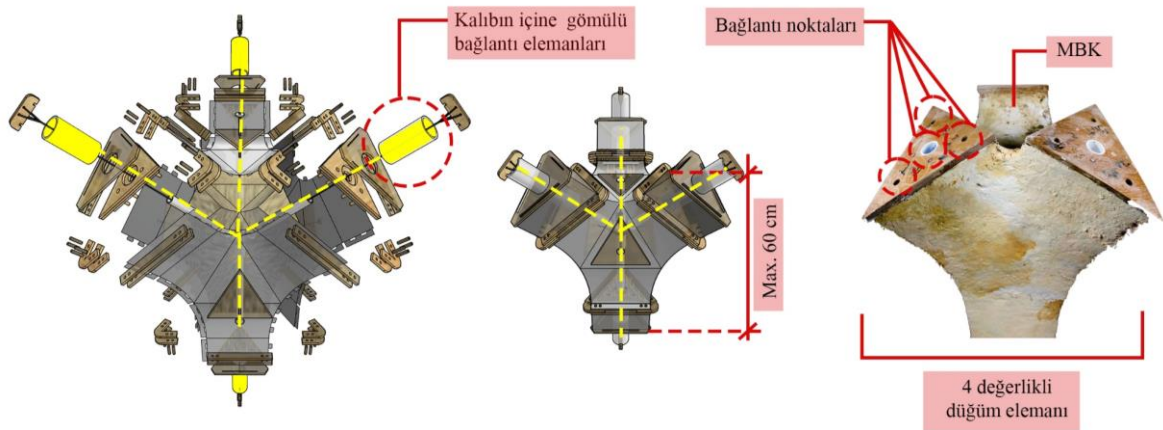


- Proje Bilgileri

KIT Sürdürülebilir İnşaat kürsüsü başkanı Prof. Dirk E. Hebel, Karsten Schlesier ve Felix Heisel yönetimindeki KIT mimarları, inşaat ve biyoloji mühendisleri, malzeme ve enerji araştırmacılarından oluşan disiplinler arası ekip ve ETH Zürih BRG kurucusu Prof. Dr. Philippe Block tarafından tasarlanan MycoTree projesinin, 2017 yılında Seul Mimarlık ve Şehircilik Bienali'nin gerçekleştirildiği mekanlardan biri olan Donuimen Müze Köyü'nde "Madencilik Ötesinde-Kentsel Büyüme" sergisi altında yapı elemanı olarak kurulumu gerçekleştirilmiştir. Yapısal strüktürün bileşenlerini oluşturan MBK bloklar, Endonezya'daki Mycotech Lab'da yetiştirildikten sonra Seul'de birleştirilmiştir (Frearson, 2017b; KIT, 2017).

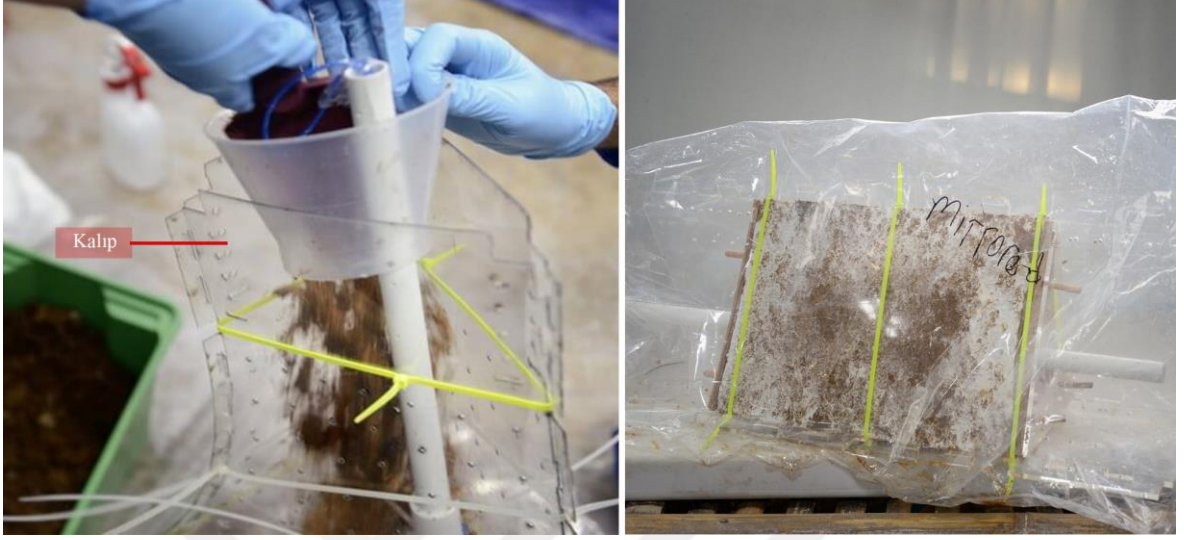
- MBK Üretim Tekniği

MBK blokların üretimi, maximum üretilebilirlik ve minimum geometrik karmaşıklığı karşılayabilmek adına dört değerlik ile sınırlandırılan düğüm elemanları dijital olarak üretilmiş ve özel şekillendirilmiş 60 cm uzunluğu geçmeyen Şekil 44'teki gibi tasarlanan kalıpların kullanıldığı statik kalıplama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Heisel ve diğerleri, 2017).



Şekil 44. Kalıp tasarımı (Parametrichouse, 2024; BRG, 2017)

Bağlantı noktaları kalıbın bir parçası olarak tasarlandığından, miselyum-substrat karışımı Şekil 45'te gösterildiği gibi bağlantı elemanları sabit tutularak aktarıldıktan sonra kalıbın içindeki gelişim sürecini tamamlanmasına izin verilmiştir (Heisel ve diğerleri, 2017).



Şekil 45. MycoTree- statik kalıplama yöntemi ile MBK blokların üretimi (Frearson, 2017b; Parametrichouse, 2024)

- MBK Üretim Akışı

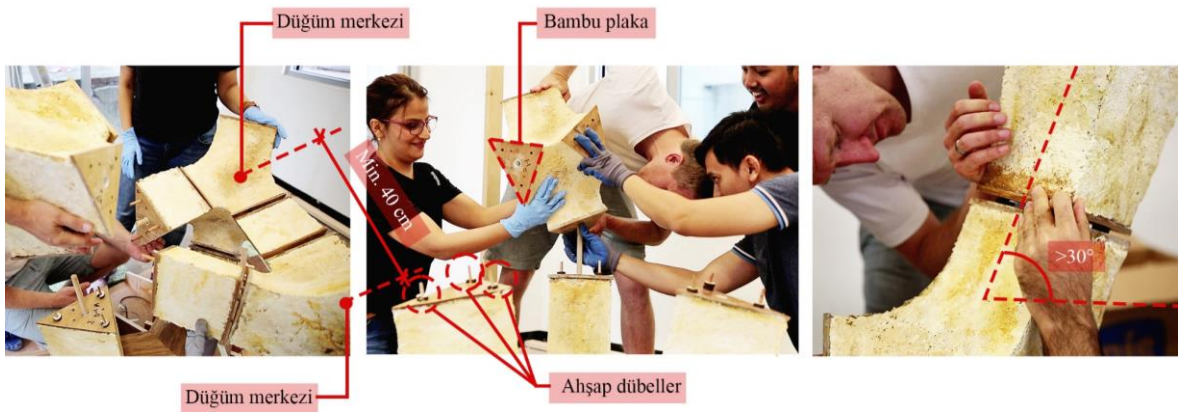
MBK blokları üretmek için öncelikle substrat olarak kullanılan şeker kamışı ve manyok kökleri küçük parçalara ayrıldıktan sonra nem içeriği %60-65 arası bir değere ayarlanmıştır. Oluşabilecek herhangi bir kontaminasyonu önlemek amacıyla substrat karışımı, 121 °C'de 30 dakika boyunca otoklavlanmıştır. Sterilize edilen substrat karışımı daha önceden mısır üzerinde yetiştirilen *Ganoderma Lucidum* miselyumu ile granül aktarımı yöntemiyle aşılandıktan sonra ilk kolonizasyon süreci Şekil 46'da gösterildiği gibi, kontrollü çevre koşulları (28 °C ve %80 bağıl nem) altında 8-12 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. İkinci kolonizasyon süreci ise, kalıplara yerleştirilen miselyum-substrat karışımının aynı çevre koşullarının sabit tutulduğu ortamda 6-9 gün daha gelişmesiyle tamamlanmıştır. Kalıplardan çıkarılan MBK bloklar, kitin benzeri derinin oluşması için belirli bir süre havaya maruz bırakıldıktan sonra nem içeriğini %10'un altına düşürmek ve gelişimi durdurmak için 24-48 saat boyunca 80 °C sıcaklıktaki fırında konvektif yöntemle kurutulmuşlardır (Heisel ve diğerleri, 2017).



Şekil 46. MBK blokların birincil kolonizasyonu ve çevre koşullarının kontrolü (Frearson, 2017b; BRG, 2017)

- MBK Bağlantı Tekniği

4 adet bağlantı noktasına sahip bambu plakalar ile kaplanan MBK bloklar Şekil 47’de gösterildiği gibi, birbirlerine ahşap dübeller ile iki düğüm merkezi arası mesafe en az 40 cm, açı ise 30 dereceden büyük olacak şekilde kenetlenmiştir. Mekanik bağlantıları ve yapıştırıcıları azaltmak için diş ve yarık bağlantıları kalıplama sırasında oluşturulmuştur (Heisel ve diğerleri, 2017).



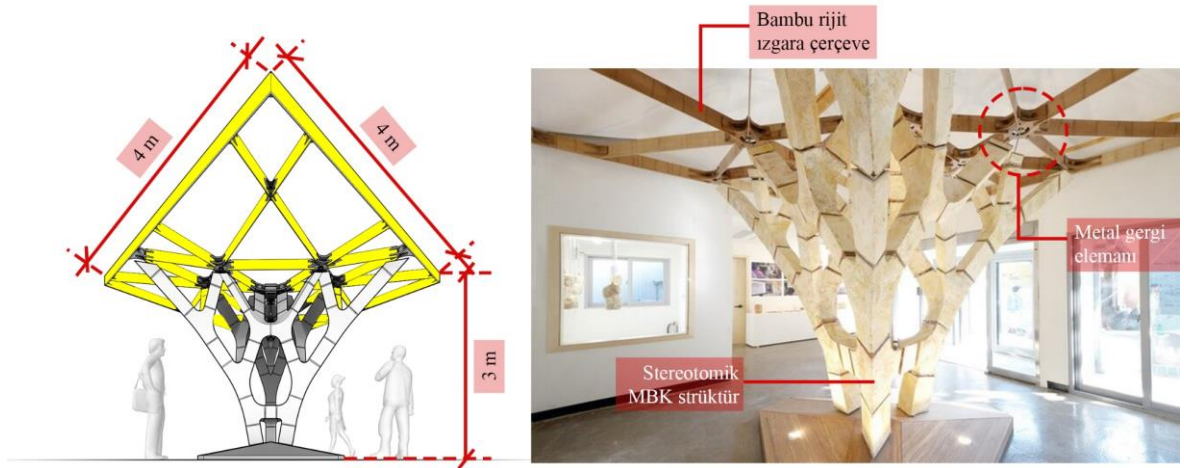
Şekil 47. MBK blokların bağlantı tekniği (Frearson, 2017b)

- Strüktürel Kurgu

Yapı, yük uygulayan döşeme benzeri bambu kiriş kafes sistemden oluşan kesit aktif strüktürden ve MBK yapı bloklarının kavisli kafes kiriş sistem ile yük aktarımının sağlandığı vektör aktif yapı strüktüründen oluşmaktadır (Heisel ve diğerleri, 2017; BRG, 2024).

Ortalama 0.61 MPa'lık basınç gerilimine sahip MBK bloklar, BRG tarafından geliştirilen basınç odaklı yapım sistemi olarak vektör aktif strüktür kurgusu ile yapının statik dengesi malzemenin mukavemeti üzerine değil strüktürün geometrisi üzerine sağlanmaktadır (Heisel ve diğerleri, 2017; BRG, 2024).

Şekil 48'de gösterildiği gibi, 8 mm kalınlığındaki bambu kompozit levhaların yerden üç metre yükseklikte kiriş kafes sistemi ile birleştirilmesiyle oluşan 4x4 m²'lik 134 kg ağırlığındaki yatay strüktür ise 36 doğrusal ve 15 düğüm olmak üzere toplam 51 adet MBK bloktan oluşan 182 kg ağırlığındaki vektör aktif strüktüre metal gergi elemanları ile bağlanarak gerilim altında hareket etmektedir. Yapı, tek bir düğüm noktasında yerden 1,27 m yükseklikte (kol yüksekliği) 0,7 kN'lik kazara oluşan yatay nokta yüküne dayanabilmektedir (Heisel ve diğerleri, 2017).

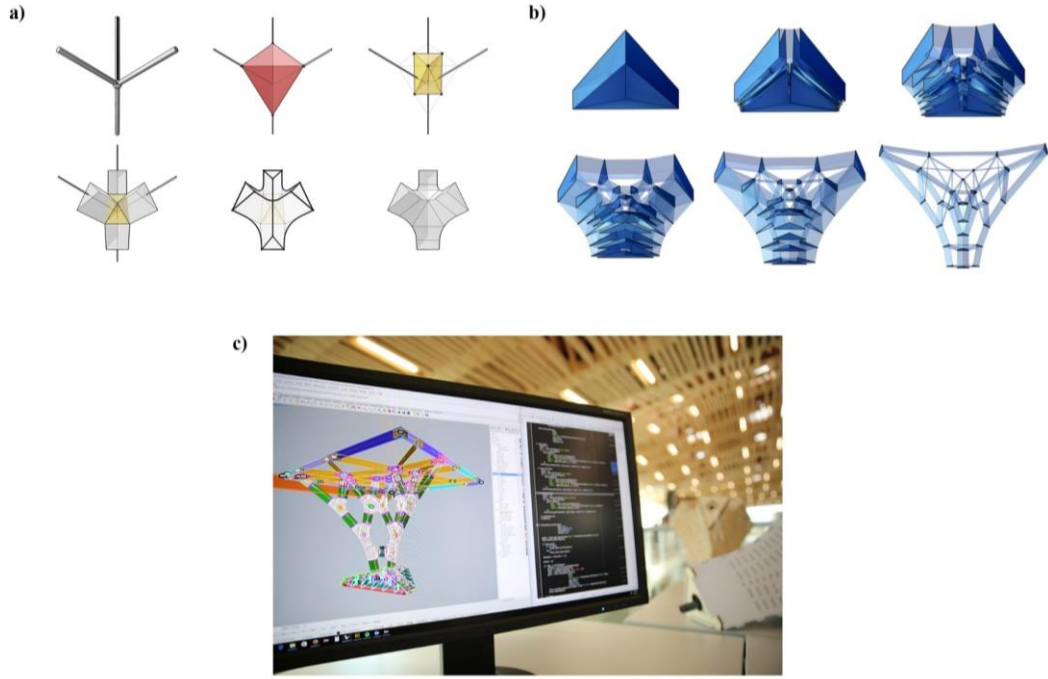


Şekil 48. MycoTree strüktür kurgusu (Frearson, 2017b; Parametrichouse, 2024)

- Araç ve Gereçler

Yapıyı oluşturan MBK blokların üretimi için kullanılan kalıpların tasarımı dijital ortamda üretilmiştir. Ayrıca yapının strüktürel kurgusu Şekil 49b'de gösterildiği gibi, BRG tarafından oluşturulan 3D grafik statığı kullanılarak çokyüzlü kuvvet diyagramlarının

karmaşık geometrilerini esas alan stereotomik mimari tasarımdan yola çıkılarak oluşturulmuştur. Yapım sisteminin bileşenlerinden birini oluşturan bambu kiriş kafes sisteminin birim elemanları ise CNC makine yardımıyla kesilmiştir (Heisel ve diğerleri, 2017).



Şekil 49. MycoTree tasarım ve üretim gereçleri; a) Kalıp tasarımı, b) Strüktür tasarımı, c) 3D grafik statifi (Heisel ve diğerleri, 2017; Frearson, 2017b)

Tablo 11. Mycoarch (Dessi-Olive, 2019; Yaşar University Faculty of Architecture, 2021; Jensen, 2017)

Proje Bilgileri	Proje Adı	Mycoarch
	Proje Sorumlusu	Bridget Ayers Looby, Rebecca Ramsey ve Jonathan Dessi-Olive
	Proje Yeri	St. Cloud, Minnesota
	Proje Yılı	2017
	Proje İşlevi	Yapı elemanı
	Proje Süresi	5 günden fazla
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Kemer
ÜT	Kalıplama Türü	Statik Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	PVC boru ve plastik membran
	Kalıp Formu	Parabolik eğri
	Kalıp Boyutları	-
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	Ecovative GIY kit/mısır kabuğu
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	5 gün
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/Birkaç gün
BT	Bağlantı Türü	Yok
	Bağlantı Malzemesi	Yok
SK	Strüktür Türü	Form aktif strüktür- Kemer sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	3D modelleme
	Üretim Gereci	Geleneksel
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

2017 yılında Minnesota eyaletinde yer alan St. Cloud şehrinde inşa edilen ve Taktik Miselyum olarak adlandırılan işbirlikçi deneysel çalışmanın bir parçasını oluşturan Mycoarch projesi, Bridget Ayers Looby, Rebecca Ramsey ve Jonathan Dessi-Olive tarafından MBK kemer yapısı olarak tasarlanmıştır (JDOVaults, 2018).

- MBK Üretim Tekniği

Tasarlanan MBK kemerin parabolik formunu oluşturmak için Şekil 50’de gösterildiği gibi, geçici olarak kurulan PVC boru destek elemanları kullanılmıştır. Kemer yapısının yüzeyini oluşturmak için miselyum-substrat karışımı plastik şeffaf bir membran ile sarılmıştır. Aslında esnek yapıya sahip olan membranın katı bir kalıp gibi davranılması istenildiğinden plastik membran, belirli aralıklardaki bantlarla çevrilerek sabit tutulmaya çalışılmıştır. Ek olarak kalıbın çökmesini engellemek amacıyla ip gergi elemanları kullanılmıştır (JDOVaults, 2018; Jensen, 2017).



Şekil 50. Mycoarch kalıplama yöntemi (Yaşar University Faculty of Architecture, 2021; Jensen, 2017)

- MBK Üretim Akışı

Ecovative firmasından tedarik edilen GIY (Grow it Yourself) kitinden yaklaşık 0,4 m³’lük miselyum hacmi ve mısır kabuğu substratından oluşan karışım Şekil 51a’da gösterildiği gibi el ile karıştırıldıktan sonra Şekil 51b’de gösterildiği gibi un eklenerek tekrar

el ile karıştırılarak karışım hazır hale getirilmiştir. Daha sonra oluşturulan miselyum-substrat karışımı, Şekil 51c’de gösterildiği gibi, iğne ile hava deliklerinin açıldığı kalıp içerisinde beş gün boyunca dışarıda kolonizasyona bırakılmıştır. Kolonizasyon sürecinin ardından yapı, birkaç gün açık havada kurutulmuştur (JDOVaults, 2018; Jensen, 2017).



Şekil 51. Mycoarch MBK üretim akışı (Jensen, 2017)

- MBK Bağlantı Tekniği

Oluşturulan kemer yapısını tamamen MBK malzemenin monolitik olarak dökümünden meydana gelmektedir ve yapı tek başına başka bir bağlantı aracı ya da elemanı olmadan ayakta durabilmektedir (JDOVaults, 2018).

- Strüktürel Kurgu

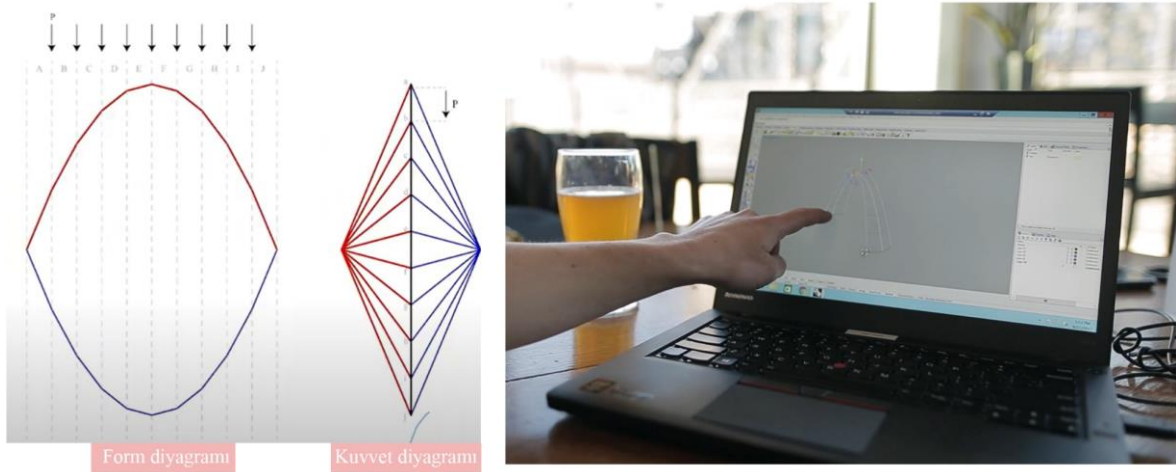
Form aktif strüktürün kendisini oluşturan ve basınç odaklı çalışan monolitik MBK kemer yapısı, geometrideki hatalar ve olumsuz hava koşulları (yağmur) nedeniyle Şekil 52’de gösterildiği gibi çökmüştür (JDOVaults, 2018).



Şekil 52. Strüktürün dağılması (Yaşar University Faculty of Architecture, 2021)

- Araç ve Gereçler

Parabolik kemer strüktürün formu Şekil 53'te gösterildiği gibi Rhino programı kullanılarak 3D modelleme ile gerçekleştirilmiştir. MBK kemerin üretimi ise PVC boru, plastik membran, bant ve ip gibi geleneksel araçlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Yaşar University Faculty of Architecture, 2021; Jensen, 2017).



Şekil 53. MBK kemerin form ve kuvvet diyagramları ve 3D modellemesi (Yaşar University Faculty of Architecture, 2021; Jensen, 2017)

Tablo 12. Modular Mycelia (Campbell, vd., 2017)

Proje Bilgileri	Proje Adı	Modular Mycelia
	Proje Sorumlusu	Sean Campbell, David Correa, Dylan Wood, Achim Menges ve Dr. Arnd G. Heyer
	Proje Yeri	Stuttgart Üniversitesi, Almanya
	Proje Yılı	2017
	Proje İşlevi	Yapı elemanı
	Proje Süresi	33 gün
	Proje Sürekliliği	-
	Projede MBK'nin İşlevi	Modüler yapı bileşeni
ÜT	Kalıplama Türü	Statik Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Şeffaf plastik
	Kalıp Formu	Küresel
	Kalıp Boyutları	40 mm çap
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>P. ostreatus</i> / tohum
	Sterilizasyon Yöntemi	Otoklavlama
	Kolonizasyon Süresi	4+4 gün
	Kurutma Yöntemi/Süresi	-
BT	Bağlantı Türü	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)
	Bağlantı Malzemesi	Miselyum
SK	Strüktür Türü	Yığma yapım sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	Prototipolojik geliştirme
	Üretim Gereci	Geleneksel
Proje Görseli		

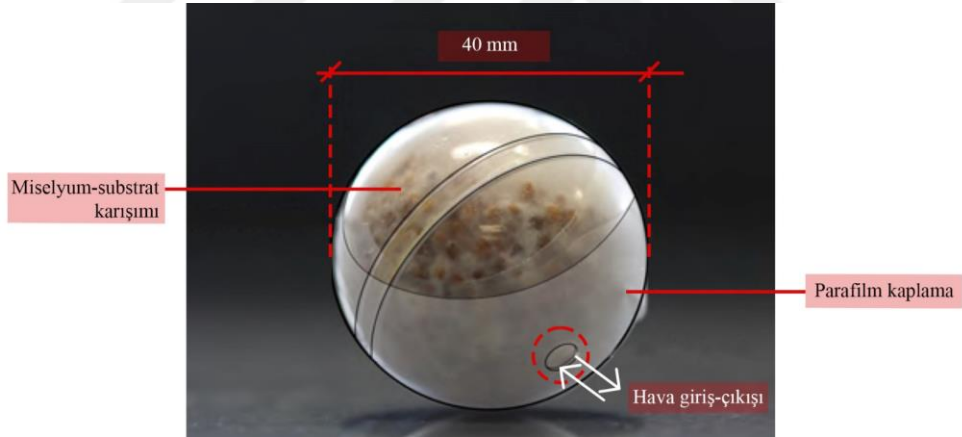
- Proje Bilgileri

Sean Campbell, David Correa, Dylan Wood, Achim Menges tarafından miselyum kolonizasyonunun mimari yapım sistemi çerçevesinde bağlantı aracı olarak kullanılma potansiyelinin incelendiği Modular Mycelia projesinin biyolojik araştırması, Stuttgart

Üniversitesi Bitki Biyoteknolojisi Bölümü'nde çalışan Dr. Arnd G. Heyer'in denetiminde gerçekleştirilmiştir. MBK yapım sisteminde çok ölçekli bir kurulum ve bağlantı sisteminin geliştirilmesinin araştırıldığı projede tasarlanan her bir modüler MBK birim 33 gün süren biyolojik süreç sonucunda oluşturulmuştur (Campbell, vd., 2017).

- MBK Üretim Tekniği

P. ostreatus miselyumunun radyal bir kolonizasyon davranışı sergilemesi nedeniyle küresel olarak tasarlanan 40mm, 90mm ve 220 mm çaplarına sahip üç farklı boyuttaki şeffaf plastik kalıplar arasından MBK birimleri şekillendirmek için MBK modüler birimlerin yetiştirileceği alana uygun olması amacıyla 40mm'lik kalıplar seçilmiştir. Şekil 54'te gösterildiği gibi, hava giriş-çıkışı sağlamak amacıyla her iki ucuna hava boşluğu açılan kalıplar, substratın kontaminasyona uğramasını engellemek amacıyla parafilm ile kaplanmıştır (Campbell, vd., 2017).

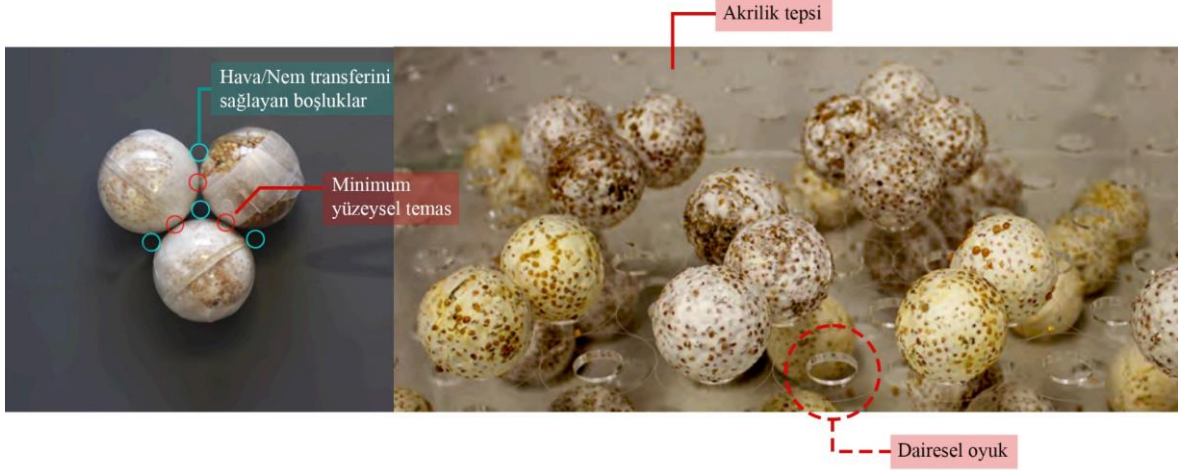


Şekil 54. Modüler Mycelia kalıplama (Campbell, vd., 2017)

- MBK Üretim Akışı

Nem ve oksijen transfer olanağı sunabilecek boşlukların üretilmesini sağlayabilen substrat olarak seçilen ve otoklavlama yöntemi ile sterilize edilen tohumlar, etanol ve pamuklu çubuk kullanılarak sterilize edilen küresel kaplara konduktan sonra merkezi bir noktadan; büyüme hızı, çevresel koşullara dayanıklılığı ve çeşitli substratlara uyum sağlaması nedeniyle seçilen *P. ostreatus* miselyumu kullanılarak sıvı kültürle aşılama yöntemi ile aşılanmıştır. Kontaminasyonu önlemek amacıyla parafilm ile kaplanan kaplar

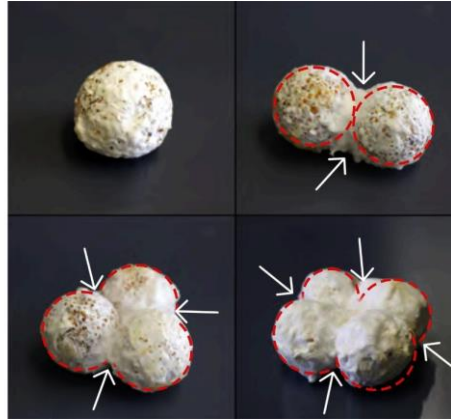
22°C sıcaklığındaki yetiştirme odasında kolonizasyona bırakılmıştır. 4 gün sonra kaplarından çıkarılan MBK birimler, Şekil 55'te gösterilen önceden dairesel oyuklar açılan sterilize edilmiş akrilik tepsilere yerleştirildikten sonra nem geçirmeyen plastik ile sarılarak 22°C sıcaklıkta 4 gün boyunca tekrar kolonizasyona bırakılmıştır (Campbell, vd., 2017).



Şekil 55. Modüler MBK birimlerin üretimi (Campbell, vd., 2017)

- MBK Bağlantı Tekniği

Kalıplardan çıkartılan MBK birimler herhangi bir kurutma işlemine maruz bırakılmadan ikili, üçlü veya dörtlü olarak akrilik tepsilere dizildikten sonra kolonizasyon sürecine devam ettirilip birbirleri ile kaynaşması sağlanarak Şekil 56'da gösterildiği gibi kaynaklı birleşim (myco-welding) yöntemi ile birleştirilmiştir (Campbell, vd., 2017).



Şekil 56. Modüler Mycelia kaynaklı birleşim (myco-welding) (Campbell, vd., 2017)

- Strüktürel Kurgu

Kaynakla bileştirilen MBK modüller daha sonra Şekil 57’de gösterildiği gibi, kademeli olarak üst üste istiflenmesi ile geleneksel yapım sistemlerinden yığma yapım sistemine benzer bir işleyişle duvar gibi bir yapı elemanı oluşturulabilir. Kademeli istifleme yöntemi diğer katman gelene kadarki geçen sürede kaynaşma için gerekli zamanı tanırken aynı zamanda sert kalıp ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır (Campbell, vd., 2017).



Şekil 57. MBK modüllerin kademeli olarak istiflenmesi (Campbell, vd., 2017)

- Araç ve Gereçler

Projenin konsepti fonksiyonel mimari bir yapı üretmek yerine miselyumun biyolojik gelişiminin mimaride bağlantı aracı olarak kullanılmasındaki kolaylıkları ve zorlukları araştırmak üzerine oluşturulduğundan prototipolojik geliştirme metodolojisinin (Heisel & Hebel, 2019) tasarım aracı olarak kullanıldığı söylenebilir. Projenin üretiminde geleneksel üretim gereçleri kullanılmıştır (Campbell, vd., 2017).

Tablo 13. Grown Structures (Mandin, 2024; Morby, 2017; Mok, 2018)

Proje Bilgileri	Proje Adı	Grown Structures
	Proje Sorumlusu	Aleksi Vesaluoma & Astudio
	Proje Yeri	Londra, İngiltere
	Proje Yılı	2017
	Proje İşlevi	Pavyon
	Proje Süresi	En az 4 hafta
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Kabuk strüktür
ÜT	Kalıplama Türü	Statik Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Pamuklu bandaj
	Kalıp Formu	Silindirik
	Kalıp Boyutları	-
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>P. ostreatus</i> / Saman ve karton
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	2-4 hafta
	Kurutma Yöntemi/Süresi	-
BT	Bağlantı Türü	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)
	Bağlantı Malzemesi	Miselyum
SK	Strüktür Türü	Yüzey aktif strüktür- Kabuk sistem
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	-
	Üretim Gereci	Geleneksel
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

Alexi Vesaluoma ve Astudio tarafından 2017 yılında Londra Mimarlık Festivali kapsamında pop-up restoran hizmeti sağlayabilecek geçici bir pavyon yapısı olarak tasarlanan Grown Structures projesi, dört hafta boyunca yetiştirilen MBK kabuk strüktürden oluşmaktadır (Mandin, 2024; Morby, 2017; Mok, 2018).

- MBK Üretim Tekniği

Vesaluoma'nın "mushroom sausages (mantar sosisleri)" adını verdiği formlara sahip MBK bileşenlerden oluşan kabuk yapısı, tüp benzeri uzun silindirik pamuk bandajlar kullanılarak statik kalıplama yöntemi ile şekillendirilmiştir. Şekillendirilen "mantar sosisleri" Şekil 58'de gösterildiği gibi, odunsu yapıya sahip bitkilerin iki yönlü modüllerin düğüm bağlantı elemanları ile birleştirildiği elastik parçalı ızgara düzenindeki çerçeveden oluşan tek eğrilikli kubbe benzeri geçici yük taşıyıcı bir strüktür üzerine dizilerek geçici strüktürün şeklini alması sağlanmıştır (Mandin, 2024; Morby, 2017; Mok, 2018).

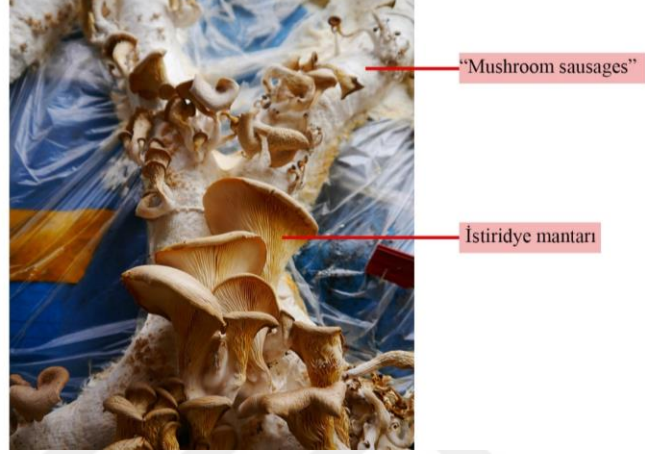


Şekil 58. Grown Structures MBK üretim tekniği (Mandin, 2024)

- MBK Üretim Akışı

Substrat olarak kullanılan saman ve karton atıklarının *P. ostreatus* miselyumu ile birleşiminden oluşan karışım pamuk bandajlar ile sarılıp geçici strüktür üzerine serildikten

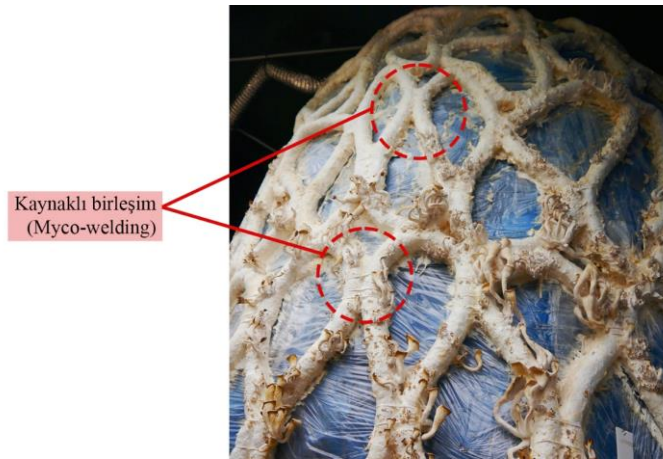
sonra gerekli çevresel koşulların sağlandığı bir sera ortamında dört haftalık kolonizasyon sürecine maruz bırakılmıştır. Bu süreç sonucunda miselyumun gelişimini durdurmak için herhangi bir kurutma işlemi uygulanmadığından bir süre sonra proje üzerinde Şekil 59’da gösterildiği gibi, yemek sektöründe kullanılabilecek istiridye mantarlarının gelişimi gözlenmiştir (Mandin, 2024; Morby, 2017; Mok, 2018).



Şekil 59. İstiridye mantarı oluşumu (Mandin, 2024)

- MBK Bağlantı Tekniği

Pamuklu bandajlarla sarılan miselyum-substrat karışımının kolonizasyon süreci içerisinde birbiri ile “tutkal” gibi bağlandığı ve ek olarak herhangi bir bağlantı elemanının kullanılmadığı proje, Şekil 60’da gösterildiği gibi kaynaklı birleşim (myco-welding) yöntemi ile bir bütün haline gelmektedir (Mandin, 2024; Morby, 2017; Mok, 2018).



Şekil 60. “Mantar sosisleri” nin kaynaklı birleşimi (Mandin, 2024)

- Strüktürel Kurgu

Projenin şekillendirilmesine yardımcı geçici strüktür çıkarıldıktan sonra Şekil 61’de gösterilen MBK silindirik bileşenlerin kabuk sisteminden oluşan yüzey aktif yapı strüktürünün bir parçası oluşturulmuştur (Mandin, 2024; Morby, 2017; Mok, 2018).



Şekil 61. MBK yüzey aktif strüktürel yapı bileşeni parçası (Mandin, 2024)

- Araç ve Gereçler

Yapı sektöründe yenilenemeyen malzemelerin kullanılması ya da toprak bazlı tuğla üretiminde pişirme sürecinden kaynaklı açığa çıkan toksik gazların oluşumu gibi çevre sorunlarına sebep olan geleneksel yapı malzemelerinin aksine tamamen organik malzemelerden oluşan ve bağlantı aracı olarak miselyumun kendisinin kullanıldığı bir tasarım konseptine sahip projenin üretiminde geleneksel üretim gereçleri kullanılmıştır (Cox, 2017).

Tablo 14. The Growing Pavilion (Company New Heroes, 2022; The Growing Pavilion, 2024; Pownall, 2019)

Proje Bilgileri	Proje Adı	The Growing Pavilion
	Proje Sorumlusu	Pascal Leboucq, Lucas De Man, Krown Design
	Proje Yeri	Hollanda
	Proje Yılı	2019
	Proje İşlevi	Pavyon
	Proje Süresi	1 hafta (kurulum)
	Proje Sürekliliği	-
	Projede MBK'nin İşlevi	Cephe paneli
ÜT	Kalıplama Türü	Statik Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Ahşap
	Kalıp Formu	Dikdörtgen
	Kalıp Boyutları	200 x 60 cm
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>Ganoderma lucidum</i> / kenevir
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	1 hafta
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Isı ile (konvektif) kurutma/ 48 saat
BT	Bağlantı Türü	-
	Bağlantı Malzemesi	Metal
SK	Strüktür Türü	Kesit aktif strüktür- Çerçeve sistem
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	Ahşap
A&G	Tasarım Aracı	-
	Üretim Gerci	Geleneksel
Proje Görseli		

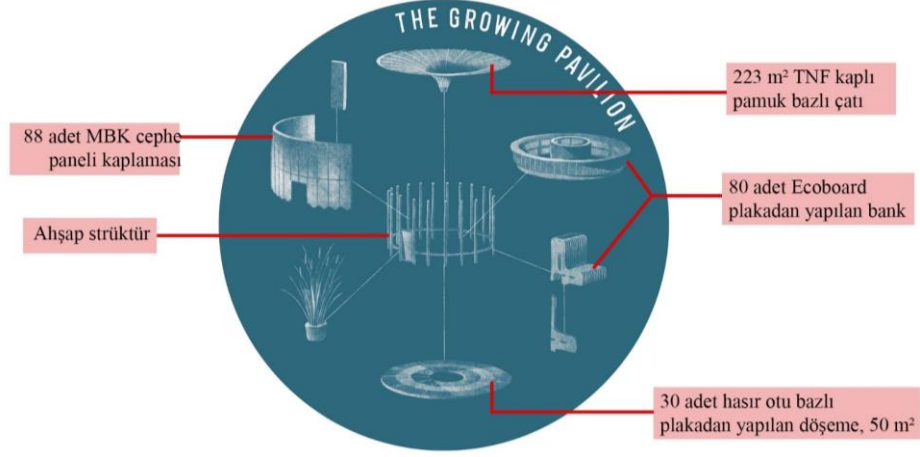
- Proje Bilgileri

Krown Design stüdyosundan Erik Klarenbeek ve Company New Heroes firmasından Pascal Leboucq ve Lucas De Man'ın iş birliği sonucunda pavyon olarak tasarlanan The Growing Pavilion, 2019 yılında Hollanda Tasarım Haftası (DDW)'nda bir hafta süren kurulum sürecinin ardından yapımı tamamlanmıştır. Şekil 63'te gösterildiği gibi; 88 adet izolasyon ve akustik performans sergileyen MBK cephe paneli, 223 m² pamuk bazlı çatı, ahşap strüktür ve 30 adet hasır otundan yapılan plakalardan oluşan 50 m² döşemenin yapım sistemi çerçevesinde Şekil 62'de gösterildiği gibi bir araya getirilerek üretilen projenin genişliği 8 metre, yüksekliği ise 5 metredir. Proje, 2240 x 1220 x 18 mm ölçülerindeki 80 adet tarımsal atıklardan üretilen Eco-board plakaların yan yana getirilmesiyle oluşturulan bank ile çevrelenmiştir (The Growing Pavilion, 2024; Company New Heroes, 2022).



Şekil 62. The Growing Pavilion proje ölçeği (Vinck, 2019)

Pamuk bazlı çatının yangına dayanıklı ve su geçirmez özellik kazanması için Braindrop şirketi tarafından kısmen biyobazlı TNF adı verilen bir emprenye malzemesi geliştirilmiştir. Bünyesinde kullanılan tüm malzemeler değerlendirildiğinde nakliye ve üretim dahil olmak üzere 10 ton CO₂ negatif özellik gösteren projenin söküm aşaması dört günde gerçekleşebilmektedir (The Growing Pavilion, 2024; Company New Heroes, 2022).



Şekil 63. The Growing Pavilion malzeme atlası (The Growing Pavilion, 2024)

The Growing Pavilion, Mycelium Parc'ın bir parçası olarak Hollanda'da düzenlenen Floriade Expo 2022'de tekrar inşa edilmiştir. Yapı inşa edildikten sonra ARC20 – Yenilikçilik Ödülü, Dezeen Awards – Small Building of The Year 2020 yüksek övgü, STARTS Prize 2021 – onur mansiyonu, Architizer –Architecture+ New Materials kategorisinde A+Award finalist ödülleri almıştır (The Growing Pavilion, 2024).

- MBK Üretim Tekniği

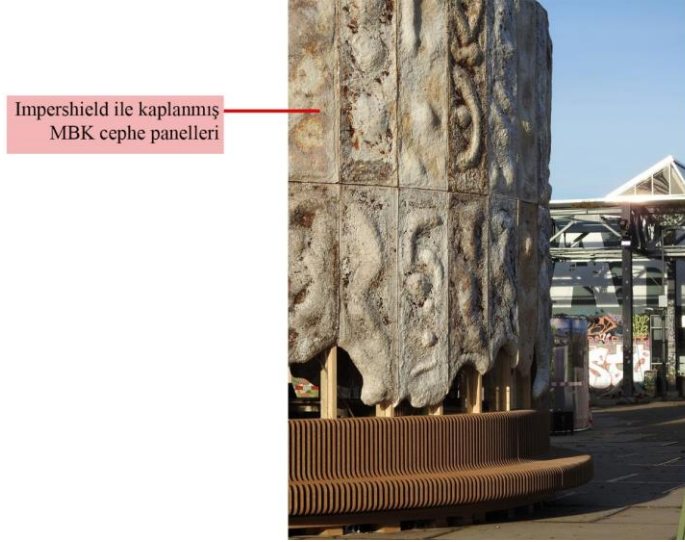
MBK cephe panelleri Şekil 64'te gösterildiği gibi, miselyum-substrat karışımının önceden sterilize edilmiş 200 x 60 cm boyutlarında dikdörtgen ahşap kalıplarda yetiştirme sürecine bırakılması sonucunda statik kalıplama yöntemi kullanılarak şekillendirilmiştir (The Growing Pavilion, 2024).



Şekil 64. MBK cephe panellerinin kalıplanması (Company New Heroes, 2019a)

- MBK Üretim Akışı

Ganoderma lucidum miselyumu ile kenevir substratından oluşan karışım kalıplara aktarıldıktan sonra kalıplar yeterli düzeyde oksijen alacak şekilde karanlık bir odada bir hafta boyunca miselyumun kolonizasyon sürecine bırakılmıştır. Bir hafta sonra kalıplardan çıkarılan MBK paneller mantarlar yetismeye başlamadan kolonizasyonu durdurmak için 80°C sıcaklıkta konvektif kurutma yöntemiyle iki gün boyunca kurutulmuşlardır. Şekil 65'te gösterilen MBK cephe panelleri, Meksika'daki ağaç kabuklarının kendiliğinden düşmesi sonucu çıkarılan reçinenin otlarla birlikte maximum 60°C sıcaklıkta fermantasyon yoluyla elde edilen Impershield kaplamayla kaplanarak neme, kire ve UV ışınlarına karşı koruma sağlanmıştır (The Growing Pavilion, 2024; Impershield, 2024).



Şekil 65. The Growing Pavilion MBK cephe panelleri (Melander, 2019)

- MBK Bağlantı Tekniği

MBK cephe panelleri ahşap çerçeveden oluşan yapı strüktürüne metal bağlantı elemanlarıyla tutturulmuştur. Gerekli görüldüğü koşullarda paneller çıkartılıp yerine yenileri yerleştirilebilmektedir (Pownall, 2019; The Growing Pavilion, 2024).

- Strüktürel Kurgu

Şekil 66’da gösterilen 3mm kalınlığındaki soyma ahşap kaplamaların paralel olacak şekilde üst üste fenol formaldehit yapıştırıcı ile yapıştırılmasıyla oluşturulan 44 adet 5000 x 45 x 200 mm boyutlarındaki “Kerto® LVL” ahşap elemanlarının metal bağlantı elemanları ile birleştirilmesi sonucunda parçalı ızgara düzenine sahip iki yönlü rijit ızgara çerçeve sistemi, kesit aktif yapı strüktürü olarak kurulmuştur. Ahşap strüktür tamamen doğal malzemelerden üretilen Xyhlo ile kaplanmıştır. Kaplama içeriğinde bulunan *Aureobasidium pullans* mantarı sayesinde kaplamanın kendi kendini onarma özelliği bulunmaktadır. Yük taşıyıcı olarak çalışan strüktürün, bir yatay yük olan rüzgâra karşı dayanımını sağlamak amacıyla 10mm çapına sahip diyagonal çelik kablolar kullanılmıştır (The Growing Pavilion, 2024).



Şekil 66. The Growing Pavilion strüktür sistemi (Melander, 2019)

- Araç ve Gereçler

CO₂ emisyonunu azaltmak, arazinin çökmesini önlemek, sağlıklı yapılı çevre oluşturmak, tarımsal atıkları değerlendirmek ve yükselen deniz seviyesi ile mücadele etmek olmak üzere beş ana amaç genelinde Pascal Leboucq tarafından tasarlanan pavyon yapısının yapım ve kurulum süreci içerisinde geleneksel araçlar kullanılmıştır (Company New Heroes, 2019b; Company New Heroes, 2019c).

Tablo 15. The Circular Garden (Carlo Ratti Associati, 2019; Hitti, 2019; AGI, 2019; Descalzi ve diğerleri, 2019)

Proje Bilgileri	Proje Adı	The Circular Garden
	Proje Sorumlusu	Carlo Ratti Associati & Eni
	Proje Yeri	İtalya
	Proje Yılı	2019
	Proje İşlevi	Enstalasyon
	Proje Süresi	2 ay
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Ters katener kemerler
ÜT	Kalıplama Türü	Statik Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Plastik
	Kalıp Formu	Yarı Silindirik
	Kalıp Boyutları	-
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	-
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	3 hafta
	Kurutma Yöntemi/Süresi	-/ 3 hafta
BT	Bağlantı Türü	Bağlama, profil plaka
	Bağlantı Malzemesi	Kenevir ip, metal profil
SK	Strüktür Türü	Form aktif strüktür- Kemer sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	Geleneksel
	Üretim Gerci	Geleneksel
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

Carlo Ratti Associati ile küresel enerji şirketi Eni'nin iş birliği sonucunda 2019 yılı Milano Tasarım Haftası için yapımı gerçekleştirilen The Circular Garden projesi, ters katener MBK kemerlerin kurgusal dizilimi ile geçici bir enstalasyon yapısı olarak kurulmuştur ve iki ay sonunda kompostlaştırılmak üzere inşa edilmiştir (Carlo Ratti Associati, 2019).

- MBK Üretim Tekniği

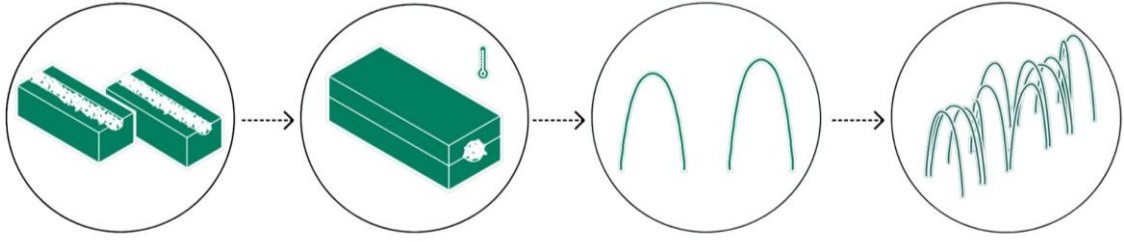
Ters katener kemer şeklindeki MBK'lerin formunu oluşturmak için Şekil 67'de gösterildiği gibi, x eksenini boyunca yarıdan kesilmiş silindirik plastik kalıplara 1m^3 miselyum-substrat karışımı doldurulmuştur. Daha sonra yarı silindirik kalıplar, bantlar yardımıyla birleştirilerek tam silindir formuna sahip olmuşlardır. Elde edilen rijit silindirler ahşap bir çerçevede belirli oranlarda sıkıştırılarak eğilmeleri sağlanmıştır. Böylece ters katener kemer formu statik kalıplama yöntemi ile oluşturulmuştur (AGI, 2019; Descalzi, vd., 2019).



Şekil 67. Ters katener MBK kemerlerin kalıplama süreci (AGI, 2019; Descalzi ve diğerleri, 2019)

- MBK Üretim Akışı

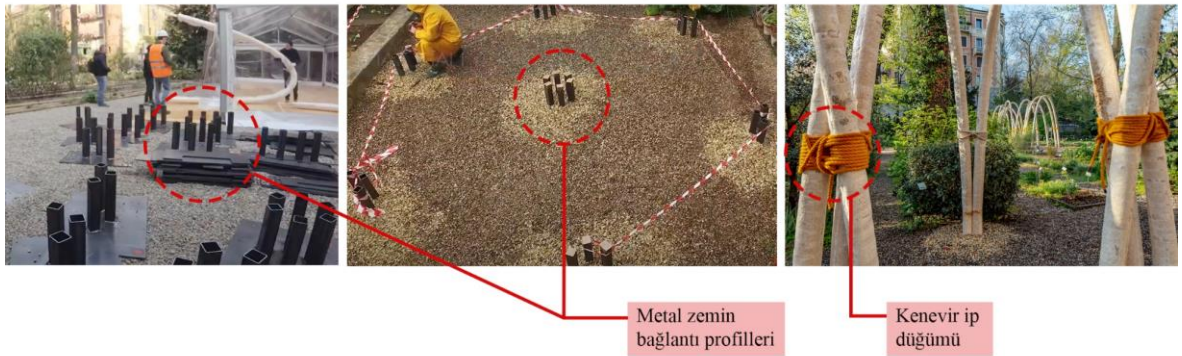
Şekil 68’de gösterildiği gibi kalıplara yerleştirilen istenilen formlara getirilen MBK’ler, Krown.Bio laboratuvarının yardımıyla organik substrata enjekte edilen miselyum sporlarının üç hafta kolonizasyon sürecinin ardından dehidrasyon amacıyla üç haftalık kurutma aşaması sonucunda toplam altı haftada üretilmektedirler (Carlo Ratti Associati, 2019; AGI, 2019)



Şekil 68. The Circular Garden üretim akışı diyagramı (Descalzi, vd., 2019)

- MBK Bağlantı Tekniği

MBK ters katener kemerler zemine metal plaka üzerindeki bağlantı profilleri ile bağlanarak sabitlenmiştir. MBK’lerin birbiri ile bağlantıları ise kenevirden yapılan iplerin belirli yükseklikte düğüm yöntemi kullanılarak birleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir (WASTERUSH, 2022). MBK kemerlerin bağlantı araçları Şekil 69’da gösterilmiştir.



Şekil 69. The Circular Garden bağlantı araçları (WASTERUSH, 2022; Peccoz, 2019)

- Strüktürel Kurgu

Toplam 1 km uzunluğuna ve 4 metre yüksekliğine sahip yük taşıyıcı 60 adet MBK ters katener kemer sistemlerinden oluşan form aktif yapı strüktürü, Şekil 70’te gösterildiği gibi, “açık oda” düzenini oluşturacak şekilde kurgulanmıştır (Carlo Ratti Associati, 2019).



Şekil 70. The Circular Garden strüktür (Peccoz, 2019)

- Araç ve Gereçler

Katalan mimar Antoni Gaudí’nin Sagrada Familia’da ters katener yöntemini canlandırmasından ilham alınarak tasarlanan The Circular Garden projesinin yapım ve inşaa aşamalarında geleneksel araçlar kullanılmıştır (Carlo Ratti Associati, 2019).

Tablo 16. Refugio Fungico (Dejtari, 2021; Mora, 2021; Superpraxis, 2021; Soriano, 2022; MDPYA, 2024; Casa, 2024)

Proje Bilgileri	Proje Adı	Refugio Fungico
	Proje Sorumlusu	SUPERPRAXIS
	Proje Yeri	San Carlos de Bariloche, Arjantin
	Proje Yılı	2021
	Proje İşlevi	Enstalasyon
	Proje Süresi	30 gün (üretim)
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Yapı bloğu
ÜT	Kalıplama Türü	Statik Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Ahşap ve plastik
	Kalıp Formu	Dikdörtgen
	Kalıp Boyutları	10 x 20 x 10 cm
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>Ganoderma lucidum</i> / küspe (arpa taneleri) ve talaş
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	-
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/-
BT	Bağlantı Türü	Bulon
	Bağlantı Malzemesi	Metal
SK	Strüktür Türü	Kesit aktif strüktür- Çerçeve sistem ve Yığma yapım sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	Ahşap ve MBK
A&G	Tasarım Aracı	Rhino, Grasshopper, VR gözlük
	Üretim Gerci	Geleneksel
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

SUPERPRAXIS tarafından 2021 yılında Arjantin'in San Carlos de Bariloche şehrinde geçici bir "mantar barınağı" olarak adlandırılan Refugio Fungico, enstalasyon projesi olarak

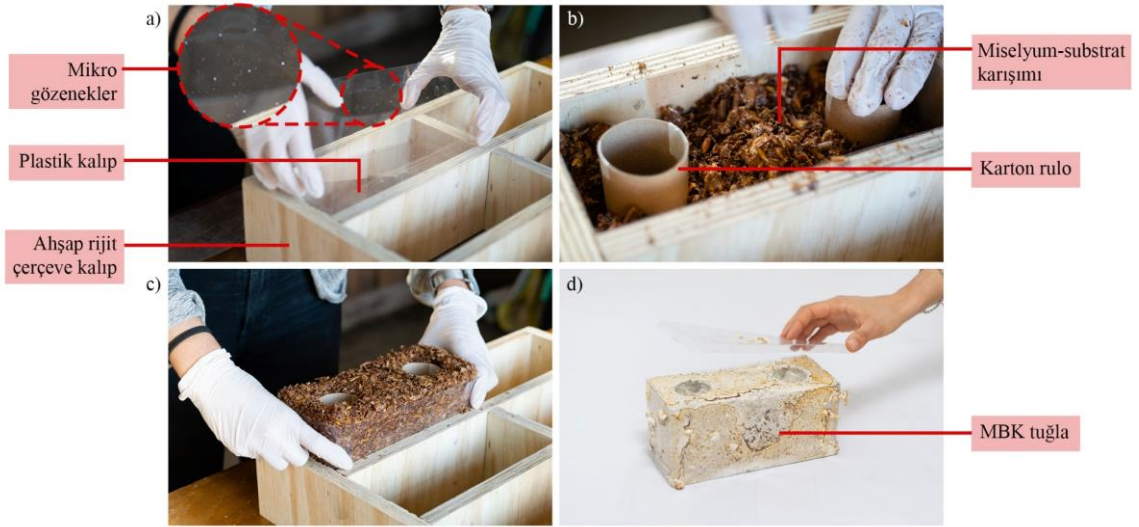
inşa edilmiştir. 3 ay boyunca kar, yağmur ve güneş gibi fiziksel çevre şartlarına maruz kalan yapı, 2022 yılında düzenlenen Genç Sanat Bienali kapsamında sökülerek Buenos Aires'teki Recoleta Kültür Merkezi'ne taşınmıştır. İki yıl sonra Buenos Aires Eyaleti 9. Bölge Mimarlar Koleji (CAPBA 9) tarafından düzenlenen 8M Kadın Mimarlar Toplantısı için Mar del Plata'da tekrar bir araya getirildi. Şekil 71'de gösterildiği gibi, 3,2 m yüksekliğindeki konik forma sahip Refugio Fungico projesi, 300 adet MBK yapı bloğunun 30 günlük üretim akışının ardından yığma yapı düzeni içerisinde ahşap temel ve 1,2 m çapındaki kubbe strüktür ile çalışan bir yapım sisteminden oluşmaktadır (Dejtia, 2021; Soriano, 2022; MDPYA, 2024; Casa, 2024).



Şekil 71. Refugio Fungico proje ölçeği (Mora, 2021)

- MBK Üretim Tekniği

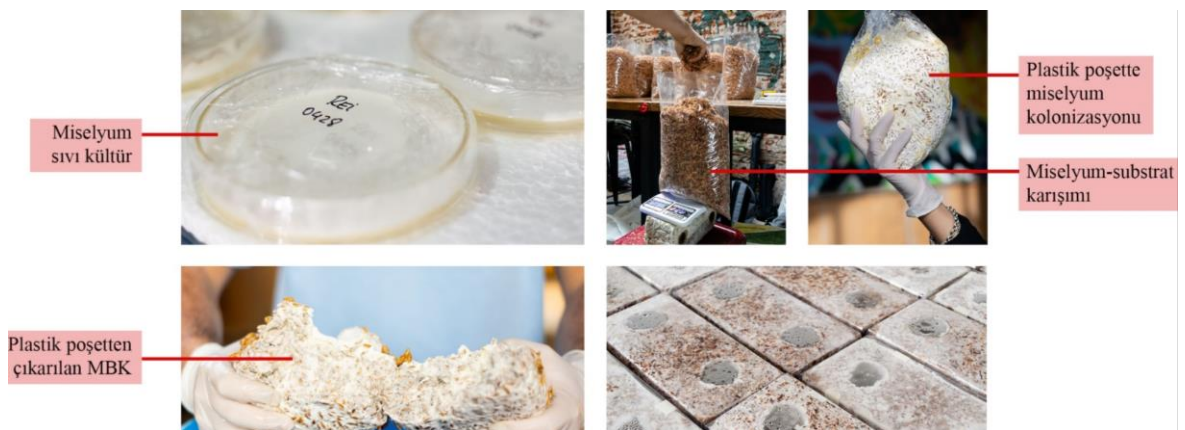
Dikdörtgen forma sahip delikli MBK yapı blokları oluşturmak için ahşap rijit kalıp sistemine 10 x 20 x 10 cm boyutlarındaki plastik kalıpların sığabileceği ikili statik kalıplama yöntemi geliştirilmiştir. Yeterli hava transferini sağlayabilmek için önceden açılan mikro gözeneklere sahip plastik kalıpları Şekil 72a'da gösterildiği gibi, ahşap çerçeve içindeki yerlerine konulduktan sonra önceden belirlenen noktalara karton rulolar yerleştirilmiştir. Miselyum-substrat karışımı bu rulolara denk gelmeyecek şekilde Şekil 72b'deki gibi doldurulduktan sonra basınç uygulanarak sıkıştırılan kalıplar daha sonra Şekil 72c'de gösterildiği gibi ahşap çerçeve içinden çıkarılarak Şekil 72d'de gösterilen MBK yapı bloklarının delikli rijit blok yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 72. Refugio Fungico ikili statik kalıplama yöntemi (Mancino, 2021)

- MBK Üretim Akışı

Ganoderma Lucidum miselyumu, butik bira üretim fabrikaları tarafından atılan arpa küspesi atıklarından ve yerel kereste fabrikalarından atılan talaşlardan oluşan substrat karışımına sıvı kültürle aşılama yöntemi ile aşılanmıştır. Daha sonra plastik poşetlere aktarılan karışım belirli bir süre kolonizasyon aşamasından sonra poşetlerden çıkartılıp el ile karıştırıldıktan sonra kalıplara aktararak kolonizasyon sürecininin tamamlanmasına izin verilmiştir (Superpraxis, 2021). MBK yapı bloklarının üretim akışı Şekil 73’te gösterilmiştir.



Şekil 73. Refugio Fungico üretim akışı (Mancino, 2021)

30 günlük süren üretim akışının ardından açık havada kurutulmaya bırakılan MBK yapı bloklarına Rodrigo Tamay tarafından Şekil 74’te gösterildiği gibi uygulanan biyo-

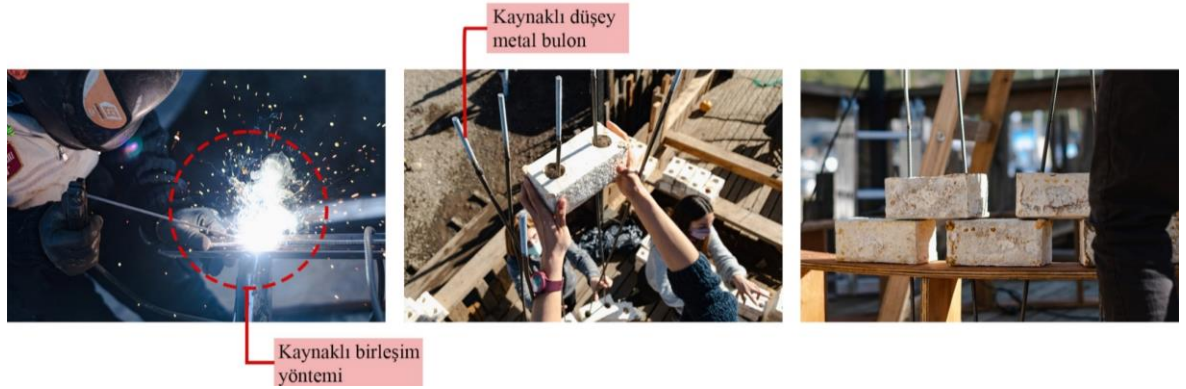
sonifikasyon yöntemiyle tuğlalardan elde edilen biyoveri önce matematiksel verilere daha sonra sese çevrilmiştir. Bu duruma göre herhangi bir ısıtma işlemine maruz bırakılmadan havayla kurutulan MBK tuğlalarda miselyumun tamamen öldürülmediği, hala canlı olduğu tespit edilmiştir (Dejtiar, 2021; Soriano, 2022).



Şekil 74. Biyo-sonifikasyon işlemi (Mora, 2021)

- MBK Bağlantı Tekniği

MBK yapı blokları, Şekil 75'te gösterilen kaynaklı birleşim yöntemiyle birbirine eklenen dikey metal bulonların blokların deliklerinden geçirilerek dizilmesiyle birbirine bağlanmışlardır.

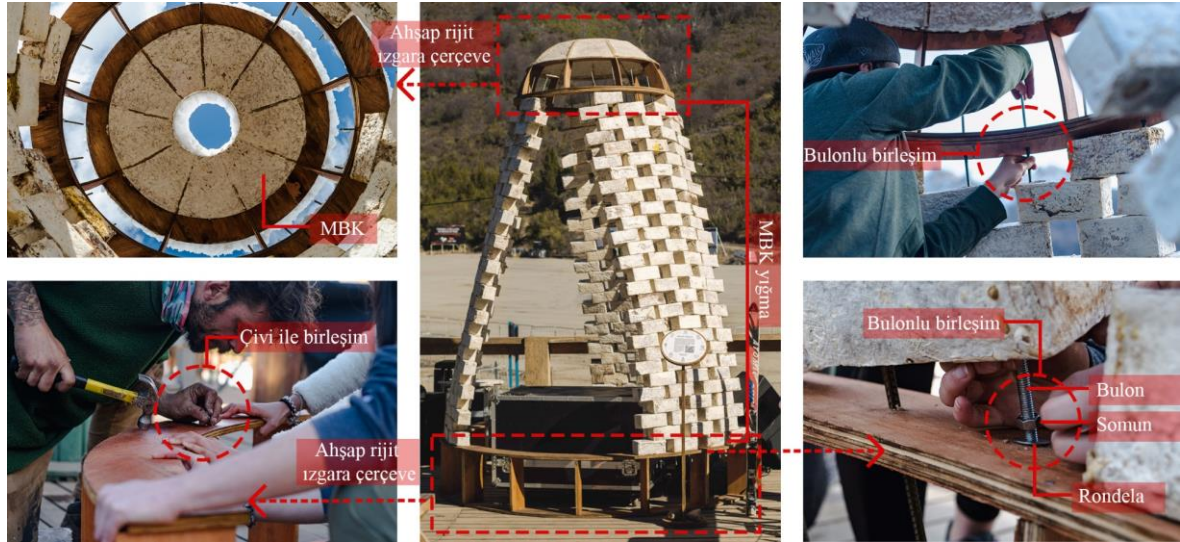


Şekil 75. Refugio Fungico MBK bağlantı tekniği (Mora, 2021)

- Strüktürel Kurgu

2 yönlü ahşap modüllerden oluşan parçalı ızgara düzenine sahip rijit çerçeve sistemden oluşan kesit aktif strüktüre sahip temel ve kubbe formundaki çatı ile MBK yapı bloklarının

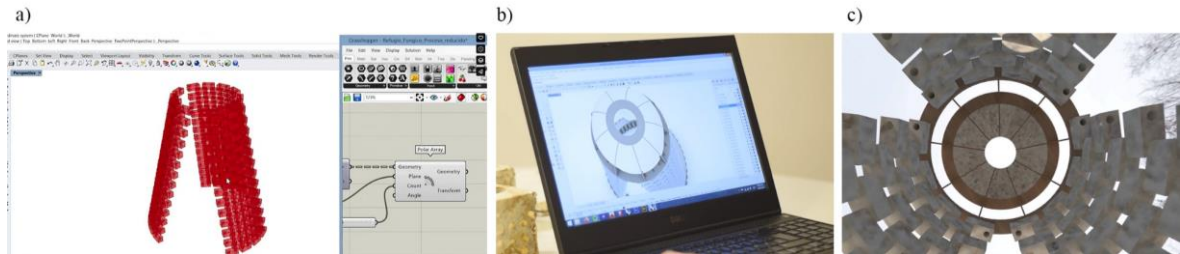
üst üste gelmesiyle oluşturulan yığma sistemin Şekil 76'da gösterildiği gibi, çivi veya bulon, somun ve rondelanın birleşmesi ile oluşan bulonlu birleşim yöntemi ile birleştirilmesiyle yapının strüktürü oluşturulmuştur. Gözenekli yapısı nedeniyle termal ve akustik yalıtım sağlayan 250 gr ağırlığındaki MBK yapı bloklarından her biri 400 gr ağırlığındaki yükü tek başına taşıyabilmektedirler (Soriano, 2022).



Şekil 76. Refugio Fungico strüktür (Mora, 2021)

- Araç ve Gereçler

Refugio Fungico projesinin tasarım aşamasında Şekil 77a'da gösterilen Grasshopper ve Şekil 77b'de gösterilen Rhino programları kullanılmıştır. Şekil 77c'de gösterildiği gibi VR gözlük aracılığıyla projenin üç boyutlu hali önceden deneyimlenmiştir. Üretim ve kurulum aşamalarında ise geleneksel araçlar kullanılmıştır (Superpraxis, 2021).



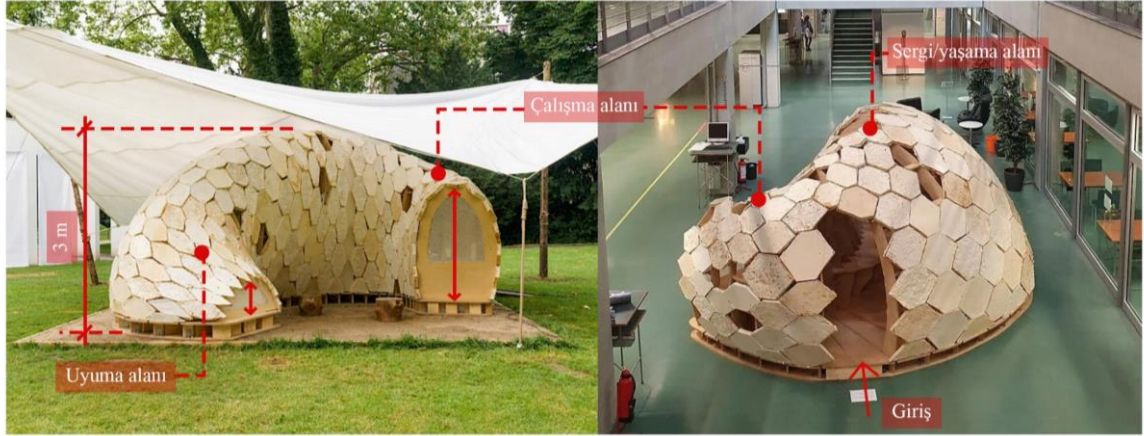
Şekil 77. Refugio Fungico tasarım araçları (Superpraxis, 2021)

Tablo 17. MY-CO SPACE (Meyer, vd., 2022; Technische Universität Berlin, 2024; Pohl, vd., 2022; Vera Meyer | V. meer, 2021a; Vera Meyer | V. meer, 2021b; Günzel, 2021)

Proje Bilgileri	Proje Adı	MY-CO SPACE
	Proje Sorumlusu	MY-CO-X
	Proje Yeri	Metzlerpark Uygulamalı Sanatlar Müzesi, Almanya
	Proje Yılı	2021
	Proje İşlevi	Konut prototipi
	Proje Süresi	5 ay
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Cephe paneli
ÜT	Kalıplama Türü	Statik Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Ahşap
	Kalıp Formu	Altıgen
	Kalıp Boyutları	60mm derinlik x 4mm kalınlık
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>Fomes fomentarius</i> /kenevir
	Sterilizasyon Yöntemi	Otoklavlama
	Kolonizasyon Süresi	2+2+2 hafta
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Isı ile (konvektif) kurutma/48 saat
BT	Bağlantı Türü	Çivi
	Bağlantı Malzemesi	Metal
SK	Strüktür Türü	Form aktif strüktür- Tonoz sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	Ahşap
A&G	Tasarım Aracı	Rhino, Grasshopper
	Üretim Gerci	Geleneksel ve Lazer kesici
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

Mimar Prof. Dr. Sven Pfeiffer ve biyoteknoloji uzmanı Prof. Dr. Vera Meyer tarafından kurulan SciArt kolektifi MY-CO-X üyelerinin; Berlin Teknik Üniversitesi, Berlin Sanat Üniversitesi, Berlin Üniversitesi Birliği, Eberswalde Sürdürülebilir Kalkınma Üniversitesi ve TinyBE ile işbirliği sonucunda, 6 x 5 x 3 m ölçülerinde iki kişi için geçici bir konut prototipi olarak 5 ayda üretilen proje, Almanya’da bulunan Metzlerpark Uygulamalı Sanatlar Müzesi’nde Haziran - Eylül 2021 arası geçici olarak sergilenmiştir. Prefabrike yapım sistemine uygun, sahada kurulabilen ve yeniden kullanılabilen bir prototip olarak tasarlanan proje Şekil 78’de gösterildiği gibi, ahşap strüktür, döşeme ve 330 adet MBK cephe panelinin birleşiminden oluşmaktadır. Yapının en fazla kot yüksekliği 2,6 m olmak üzere tasarlanan işleve göre yapı genelinde kot yüksekliği değişkenlik göstermektedir (Meyer, vd., 2022).

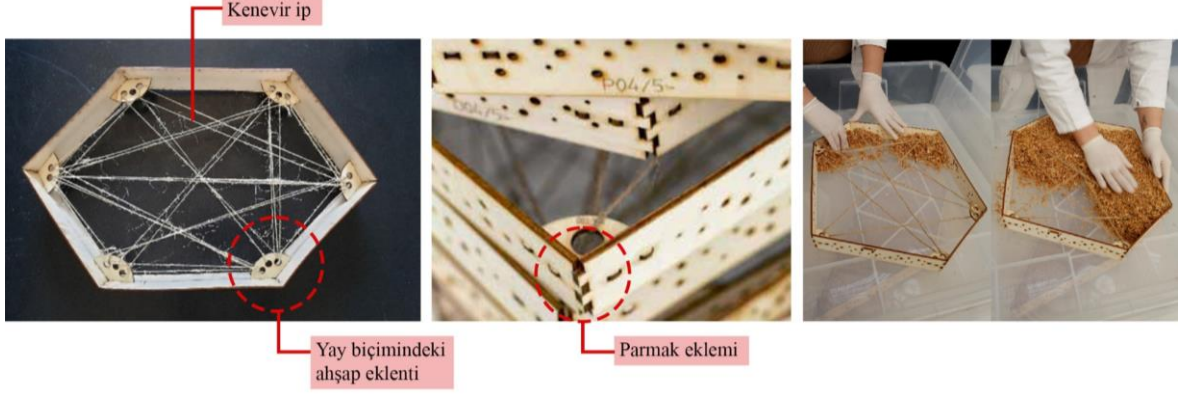


Şekil 78. MY-CO SPACE proje ölçeği ve mekan organizasyonu (Technische Universität Berlin, 2024; Günzel, 2021)

- MBK Üretim Tekniği

MBK cephe panellerinin şekillendirilmesi için 60 mm genişliğinde ve 4 mm kalınlığındaki kontrplaklar, Şekil 79’da gösterildiği gibi, parmak eklemi bağlantı yöntemiyle malzeme tüketiminin en aza indirgenmesi için seçilen altıgen formu oluşturacak şekilde birbirleriyle kenetlenmiştir (Meyer, vd., 2022; Donkoh & Opoku, 2016). Panellerin yapısını güçlendirmek amacıyla altıgen kalıbın her köşesine üç veya iki delikli yay şeklinde ahşap parçalar eklenmiştir. Bu eklentiler, deliklerden geçirilen kenevir ipler ile birbirlerine

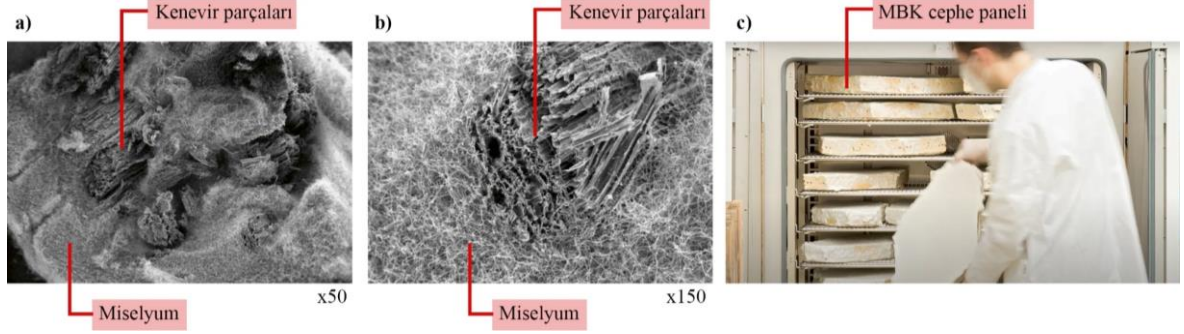
bağlanarak hem kalıp için hem de MBK için rijitlik sağlamaktadır. Altıgen ahşap kalıplar üzerinde MBK yetiştirildikten sonra kenevir ipler sayesinde kalıp ile bütünleşen MBK panel, doğrudan yapıya monte edildiğinden kullanılan kalıplar kalıcı hale gelmiştir (Meyer, vd., 2022).



Şekil 79. MY-CO SPACE kalıplama (Meyer, vd., 2022; Technische Universität Berlin, 2024)

- MBK Üretim Akışı

Fomes fomentarius suşu, otoklavlanmış kahverengi darı kültürü ile aşılansarak 14 gün boyunca 25 °C'de karanlıkta kolonize edilmiştir. Daha sonra substrat malzemesi olarak otoklavlanan kenevir parçalarına yetiştirilmiş darı taneleri eklenerek granül aktarımıyla aşılama işlemi gerçekleştirilmiştir. Aşılansan substratlar torbalara aktarıldıktan sonra 7 günlük periyotlarda karıştırılarak toplam 14 gün boyunca karanlıkta ve 25 °C'de kolonizasyona bırakılmıştır. Toplam dört haftalık süreç sonunda kalıplara aktarılan miselyum-substrat karışımı iki hafta daha kalıplarda kolonize edilerek MBK cephe panelleri oluşturulmuştur. Kolonizasyonu durdurmak için 60 °C'de iki gün boyunca Şekil 80'de gösterilen fırında konvektif kurutma yöntemiyle kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir (Meyer, vd., 2022; Pohl, vd., 2022)



Şekil 80. Miselyum kolonizasyonu; a) 50 kat büyütme, b) 150 kat büyütme; c) Konvektif kurutma yöntemi (Technische Universität Berlin, 2024; Vera Meyer | V. meer, 2021c)

- MBK Bağlantı Tekniği

MBK cephe panelleri Şekil 81’de gösterildiği gibi, ahşap strüktüre belirli noktalardan metal çiviler ile sabitlenerek birleştirilmiştir (Vera Meyer | V. meer, 2021a).



Şekil 81. Çivi ile bağlantı tekniği (Vera Meyer | V. meer, 2021a)

- Strüktürel Kurgu

Şekil 82’de gösterilen 25 mm kalınlığındaki sıralı kontrplak kemerlerin düşeyde yatay ahşap elemanlarıyla, yatayda ise ahşap alt plakaya bağlanmasıyla elde edilen tonoz sisteminden oluşan form aktif strüktür yapının iskeletini meydana getirmektedir. Temel, iki yatay plaka arasına dikey elemanların yerleştirilerek metal somun, cıvatalar ve köşebentlerle bağlanması ile oluşturulmuştur. Dikey kemerlere metal L köşe profilleri ile bağlanan yatay

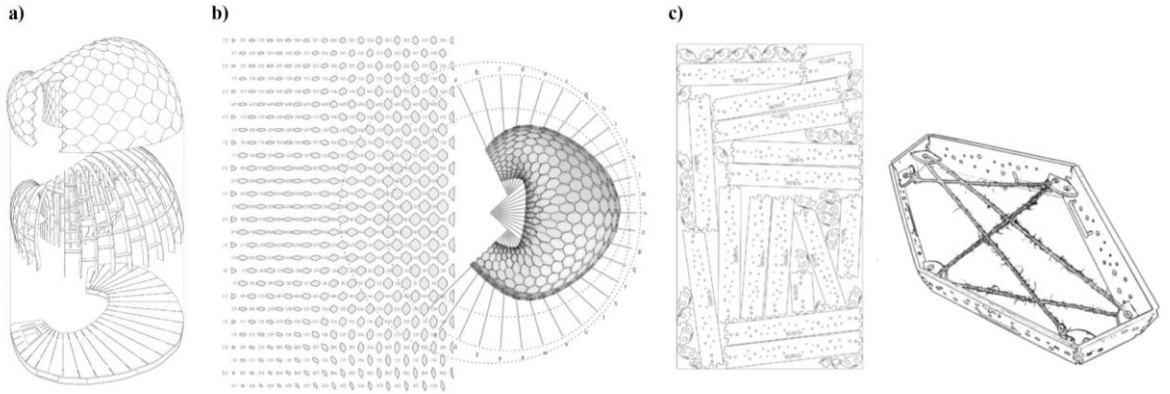
ahşap elemanlar hem yanal yükleri karşılamakta hem de raflı depolama sistemi olarak çalışmaktadır (Meyer, vd., 2022).



Şekil 82. MY-CO SPACE strüktür kurgusu (Meyer, vd., 2022; Technische Universität Berlin, 2024; Günzel, 2021)

- Araç ve Gereçler

Atık malzemeleri azaltmak için Rhino ve Grasshopper programlarından yararlanılarak oluşturulan 3D modelden elde edilen parça verileri Şekil 83'te gösterildiği gibi dijital ortamda iki boyuta aktarılarak lazer kesim yöntemiyle boyutlandırılmıştır. Projede MBK üretiminde ve strüktür kurulumunda geleneksel gereçler de kullanılmıştır (Meyer, vd., 2022).



Şekil 83. MY-CO SPACE tasarım araçları; a) Üç boyutlu şematik katmanlı diyagram, b) MBK panellerin diyagramı, c) Altıgen kalıbın lazer kesim için parça dizilimi (Technische Universität Berlin, 2024)

Tablo 18. La Parete Fungina (Dessi-Olive, 2022; MycoMatters Lab, 2024)

Proje Bilgileri	Proje Adı	La Parete Fungina
	Proje Sorumlusu	Jonathan Dessi-Olive
	Proje Yeri	Virginia Üniversitesi, ABD
	Proje Yılı	2022
	Proje İşlevi	Yapı elemanı
	Proje Süresi	~ 1 Ay
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Yapı bloğu
ÜT	Kalıplama Türü	Statik Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Ahşap
	Kalıp Formu	Dikdörtgen ve V şekli
	Kalıp Boyutları	1200 x 150 x 70 mm
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>Basidiomycota</i> filumundan bir mantar/ kenevir
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	2 hafta
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/~ 1 hafta
BT	Bağlantı Türü	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)
	Bağlantı Malzemesi	Miselyum
SK	Strüktür Türü	Yığma yapım sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	Rhino, Grasshopper
	Üretim Gereci	Geleneksel
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

MycoMatters Lab yöneticisi Jonathan Dessi-Olive tarafından Virginia Üniversitesi (UVA) öğrencileriyle iş birliği içinde akademik bir çalışma olarak yaklaşık bir ayda yapımı tamamlanan MBK bloklardan oluşturulan kıvrımlı duvar prototipi projesi, 2022 yılında Biyomateriyal Yapı Fuarı'nda (BBE) iki ay boyunca açık havada sergilendikten sonra kaldırılmıştır (Dessi-Olive, 2022).

- MBK Üretim Tekniği

17 mm kalınlığındaki kaplamasız beyaz ahşap levhalardan elde edilen biri dikdörtgen sekizi V şeklinde tasarlanan dokuz ahşap kayar kalıplardan her birinin x eksenine izdüşümsel uzunluğu 1200 mm, y eksenini boyunca kesilen kesitin ölçüleri ise 150 x 70 mm'dir. V şeklindeki kalıpların açısız dönüşlerinde destek elemanı olarak Şekil 84'te gösterilen ahşap payandalar kullanılmıştır. MBK blokların şekillendirilmesinde kullanılan bu kalıpların üretimi ve kalıplara doldurulan MBK'nin yetiştirilmesini sağlayacak hareketli aracın oluşturulması üç gün içinde gerçekleştirilmiştir (Dessi-Olive, 2022).



Şekil 84. La Parete Fungina kalıplama (Dessi-Olive, 2022)

- MBK Üretim Akışı

Basidiomycota filumundan bir mantarla aşılınmış kenevir substratından oluşan ve Ecovative'den temin edilen yaklaşık 325 kg miselyum-substrat karışımı el ile karıştırıldıktan

sonra miselyumun daha hızlı büyümesini sağlayacak nitrojen açısından zengin 16,25 kg un ve gereken miktarda su eklenerek hazırlanan karışım kalıplara aktarılmıştır. Kalıplarla yetiştirme aracına taşınan şekillendirilmiş MBK bloklardan kalıplar kaydırılarak yeniden kullanılmak üzere çıkarılmıştır. Kolonizasyon ortamı için gerekli nemli ve steril ortamı yaratmak için MBK bloklar plastik şeffaf filmle sarıldıktan sonra karanlık ortamı da sağlayabilmek için yetiştirme aracı siyah bir plastik malzeme ile kaplanmıştır. MBK bloklar yaklaşık iki haftalık kolonizasyon sürecinin ardından açık havada en az 1 hafta boyunca kurutulmuşlardır (Dessi-Olive, 2022). MBK blokların üretim akışı Şekil 85'te gösterilmektedir.



Şekil 85. La Parete Fungina MBK üretim akışı (Dessi-Olive, 2022)

- MBK Bağlantı Tekniği

MBK blokların bir kısmı kolonizasyon aşamasındayken yeterince kolonize olmuş MBK bloklar Şekil 86'da gösterildiği gibi, beşli veya altılı üniteler halinde üst üste getirilip aralarına miselyum-substrat karışımı eklendikten sonra kolonizasyon sürecine devam ettirilerek MBK blokların kaynaklı birleşim yöntemiyle birbirlerine bağlanması sağlanmıştır (Dessi-Olive, 2022).



Şekil 86. MBK blokların kaynaklı birleşimi (Dessi-Olive, 2022)

- Strüktürel Kurgu

MBK bloklardan oluşturulan toplam altı üniteden üçü Şekil 87’de gösterildiği gibi, 40mm çapındaki dört adet ahşap kazıkların sürtünmeli bağlantı sistemiyle birbirine ve zemine bağlanmasıyla elde edilen yaklaşık 1200 mm yüksekliğe sahip iki duvar elemanından oluşan kıvrımlı duvar prototipinin strüktürü yığma yapım sistemine göre oluşturulmuştur (Dessi-Olive, 2022).



Şekil 87. La Parete Fungina strüktür (Dessi-Olive, 2022)

- Araç ve Gereçler

Kıvrımlı V şeklindeki kalıpların oluşturulması için Rhino ve Grasshopper yazılım araçlarından yararlanılmıştır. MBK üretimi ve duvar prototipinin sahada kurulumu için ise geleneksel gereçler kullanılmıştır (Dessi-Olive, 2022).

Tablo 19. MycoCreate 2.0 (Ghazvinian, 2023; PennState College of Arts and Architecture, 2024)

Proje Bilgileri	Proje Adı	MycoCreate 2.0
	Proje Sorumlusu	Benay Gürsoy, Ali Ghazvinian, Alale Mohseni
	Proje Yeri	Virginia Üniversitesi, ABD
	Proje Yılı	2022
	Proje İşlevi	Pavyon
	Proje Süresi	6 saat (kurulum)
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Yapı bloğu
ÜT	Kalıplama Türü	Statik Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Bristol kâğıt ve akrilik levha
	Kalıp Formu	Çokgen
	Kalıp Boyutları	Max. 30cm çap ve 40cm uzunluk
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>Pleurotus ostreatus</i> / kenevir ve psilyum kabuğu
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	-
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Isı ile (konvektif) kurutma/-
BT	Bağlantı Türü	Bağlama
	Bağlantı Malzemesi	Plastik kablo bağı
SK	Strüktür Türü	Vektör aktif strüktür- Kavisli kafes kiriş sistem
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	Dijital tasarım araçları
	Üretim Gerci	Geleneksel, lazer kesici ve su jeti
Proje Görseli		

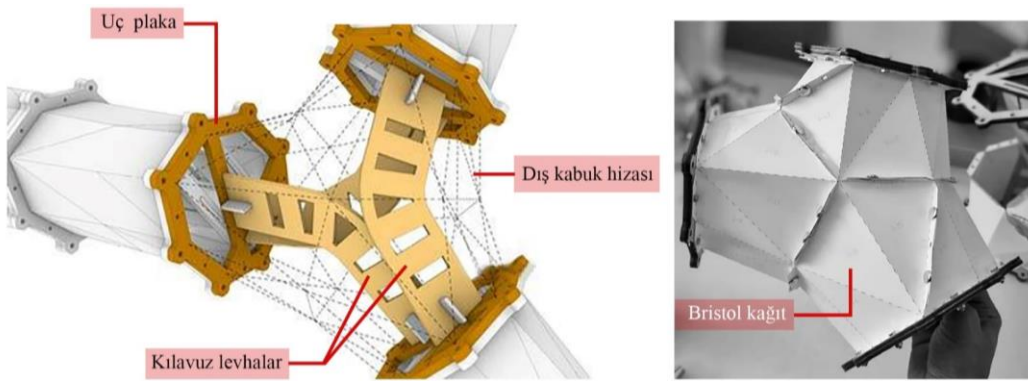
- Proje Bilgileri

Benay Gürsoy ve ForMat Lab araştırmacılarından projeyi yürüten Ali Ghazvinian ile Alale Mohseni'nin işbirliği sonucunda 64 adet MBK bloklardan oluşturulan sıkıştırma bazlı bir pavyon olarak tasarlanan MycoCreate 2.0, 2022 yılında Virginia Üniversitesi'nde

düzenlenen Biyomateryal Yapı Fuarı'nın (BBE) bir parçası olarak inşa edilmiştir. Yaklaşık 10 fit uzunluğuna, 8 fit genişliğe ve 6 fit yüksekliğe sahip olan projenin sahadaki kurulumu üç kişi ile toplam altı saatte gerçekleştirilmiştir. 45 gün boyunca dışarıda sergilenerek değişken çevre şartlarına maruz kalan ve yapıyı oluşturan bileşenlerin malzeme testlerine tabi tutulduktan sonra kompostlaştırılmasına karar verilmiştir (Ghazvinian, 2023; PennState College of Arts and Architecture, 2024).

- MBK Üretim Tekniği

MBK blokların şekillendirilmesi için Şekil 88'de gösterildiği gibi, üç ana parçadan oluşan kalıp sistemi geliştirilmiştir. İç iskeleti oluşturan kılavuz levhalar ve MBK bloklar arasındaki bağlantıyı sağlayan uç plakalar geri dönüştürülmüş akrilik levhalardan kesilmiştir. Kalıbın geçici olarak dış kabuğunu oluşturan bristol kağıdı, istenilen forma uygun olarak lazerle kesildikten sonra origami teknikleri kullanılarak üçgenel yüzeylerin kenar çizgilerinden katlanmaktadır (Ghazvinian, 2023). Uç plakalardan kalıplara doldurulan miselyum-substrat karışımı, bristol kağıdının parlak yüzeyinden dolayı kalıba yapışmadığından yeterince kolonize olduğunda kalıplar kolayca sökülmetedir (Ghazvinian ve diğerleri, 2021). MBK blokların oluşturduğu sıkıştırılabilir yapısal sistem içinde oluşabilecek yerel burkulmayı önlemek için kalıp boyutları maksimum 40 cm uzunluğunda ve 30 cm çapında olacak şekilde üretilmişlerdir (Ghazvinian, 2023).



Şekil 88. MycoCreate 2.0 kalıplama (Ghazvinian, 2023)

- MBK Üretim Akışı

Ecovative şirketinden temin edilen *Pleurotus ostreatus* miselyumu ile kenevir substratından oluşan karışım MBK blokların üretimi için seçilmiştir. Ancak kenevir atıklarının boyutları kalıplar içinde sıkıştırılamayacak kadar büyük olduğundan kalıp içinde oluşturacağı boşlukları doldurmak ve miselyumun kolonizasyonunu hızlandırmak amacıyla psilyum kabuğu miselyum için ek besin olarak eklenmiştir. Kalıplara aktarılan miselyum-substrat karışımının kolonizasyon sürecinde gerekli olan hava transferi, uç plakalardaki boşluklardan ve dış kabuğu oluşturan bristol kağıdın gözenekli yapısından karşılanmıştır. Kolonizasyon süreci tamamlandıktan sonra kalıplardan çıkarılan MBK bloklar, konveksiyon yöntemiyle kurutulmuşlardır (Ghazvinian, 2023).

- MBK Bağlantı Tekniği

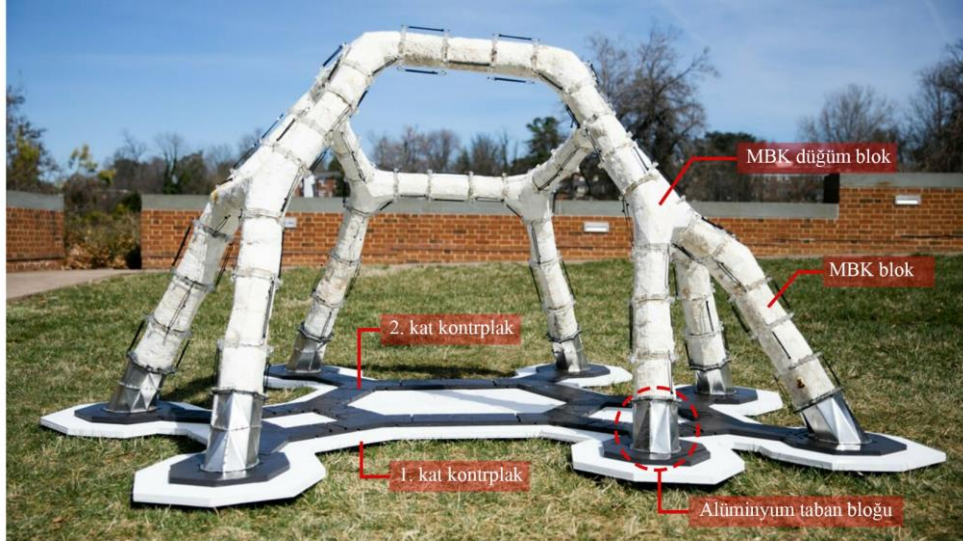
MBK bloklar içinde yer alan iç iskelet, MBK blokların birbirine bağlanmasına yardımcı olmasına rağmen bileşenlerin sabitlenmesi için Şekil 89’da gösterildiği gibi, uç plakalardan birbirine bağlanan plastik siyah kablo bağları dönüşümlü olarak kullanılmıştır (Ghazvinian, 2023).



Şekil 89. MBK blokların bağlantı tekniği (Luo, 2022)

- Strüktürel Kurgu

Şekil 90’da gösterildiği gibi MBK blokların yük taşıyıcı unsur olarak kullanıldığı kavisli kafes kiriş sisteminden oluşan vektör aktif yapı strüktürüne sahip MycoCreate 2.0 projesinin temelinde, nemin olumsuz etkilerini engelleyebilmek için iki kat kontrplaktan oluşturulan boyanmış taban platformu ve bu platform ile temas eden yedi adet su jeti ile kesilmiş alüminyum levhalardan üretilen taban blokları kullanılmıştır (Ghazvinian, 2023).



Şekil 90. MycoCreate strüktür kurgusu (Luo, 2022)

- Araç ve Gereçler

Form bulma ve analiz için kuvvet yoğunluğu (dinamik gevşeme) ve sertlik matrisi algoritmaları kullanılmıştır. Sahada kurulmadan önce bir montaj stratejisi belirleyebilmek için yapım sistemini en az etkileyecek olan bileşenin en son eklenmesini hesaplayan ters üretim akışı hesaplamalı tasarım yöntemleriyle oluşturulmuştur. Kalıpların üretiminde lazer leşim ve alüminyum taban bloklarının üretiminde su jeti kullanılırken MBK blokların üretilmesi ve birbirine bağlanmasında geleneksel gereçlerden yararlanılmıştır (Ghazvinian, 2023).

Tablo 20. BioKnit (Kaiser, 2023; Agraviador ve diğerleri, 2022; HBBE, 2024)

Proje Bilgileri	Proje Adı	BioKnit
	Proje Sorumlusu	HBBE- Living Textiles Research Group
	Proje Yeri	OME-Newcastle Üniversitesi, İngiltere
	Proje Yılı	2022
	Proje İşlevi	Pavyon
	Proje Süresi	-
	Proje Sürekliliği	-
	Projede MBK'nin İşlevi	Kabuk strüktür
ÜT	Kalıplama Türü	Esnek Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Merinos yünü ve keten
	Kalıp Formu	Silindirik
	Kalıp Boyutları	~2m uzunluk x 45-76mm değişken çap
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>Ganoderma lucidum</i> / kayın talaşı
	Sterilizasyon Yöntemi	Otoklavlama
	Kolonizasyon Süresi	10+13 gün
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/ 22 gün
BT	Bağlantı Türü	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)
	Bağlantı Malzemesi	Miselyum
SK	Strüktür Türü	Form aktif strüktür- Kubbe sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	Grasshopper, Kangaroo2, Shima Seiki Apex3
	Üretim Gereci	Geleneksel, 12 gg Shima Seiki SSR122 dikiş makinesi
Proje Görseli		

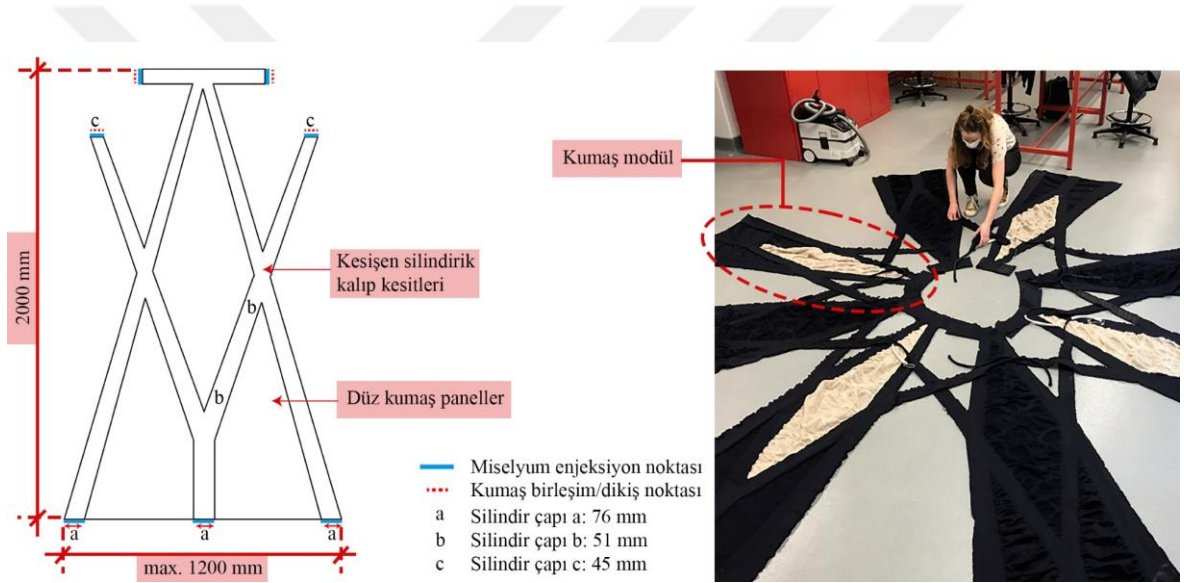
- Proje Bilgileri

HBBE'ye bağlı Jane Scott liderliğindeki Living Textiles Research Group tarafından 2022 yılında Newcastle Üniversitesi'nde yer alan OME binasında inşa edilen yaklaşık 1,5 m yüksekliğinde ve 2 m çapında bir pavyon yapısı olarak tasarlanan BioKnit, katener MBK

kemerlerin kubbe formunu alacak şekilde bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur (Agraviador ve diğerleri, 2022; Kaiser, 2023).

- MBK Üretim Tekniği

MBK bileşenlerin şekillendirilmesi için Shima Seiki SSR122 dikiş makinesi ile 2/30 nm merinos yünü ve 1/30 nm ketenden örülen silindirik kumaş kalıplar kullanılmıştır. Bu kumaş kalıpların miselyum-substrat karışımının doldurulacağı noktalar hariç polyester iplik ile dikilmesi sonucunda Şekil 91’de gösterildiği gibi, en geniş 1,2 m genişliğinde ve 2 m uzunluğundaki 7 adet kumaş modül oluşturulmuştur (Agraviador ve diğerleri, 2022).

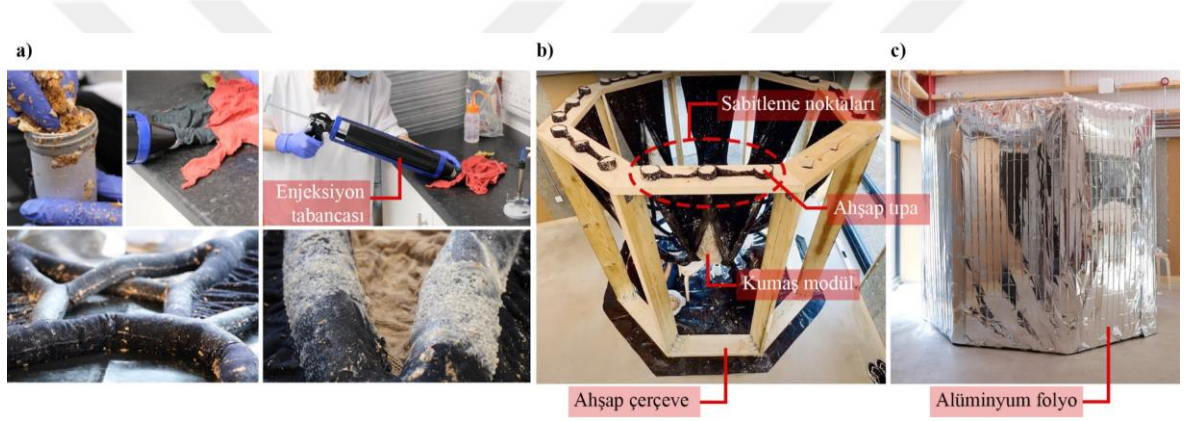


Şekil 91. BioKnit kalıplama (Agraviador ve diğerleri, 2022; Kaiser, 2023)

- MBK Üretim Akışı

Substrat olarak kullanılan nemli kayın talaşı 121°C’de 30 dakika boyunca otoklavlama yöntemi ile sterilize edildikten sonra *G. lucidum* miselyumu ile steril bir ortam aşılannmıştır (Kaiser, 2023). Miselyumun kolonizasyon süreci iki adımda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle steril bir ortamda aşılann kayın talaşı substratı 10 gün boyunca 28°C’de kolonizasyon sürecine bırakıldıktan sonra steril olmayan saha ortamında miselyum-substrat karışımına gerektiği kadar su, kağıt tozu, kağıt lifleri, gliserin ve ksantan sakızı eklenerek “mycocrete paste” olarak adlandırılan özel bir viskoz macun hazırlanmıştır (Kaiser, 2023; Agraviador ve diğerleri, 2022). Hazırlanan bu macun Şekil 92a’da gösterildiği gibi, 17 mm nozüle sahip

bir enjeksiyon tabancası kullanılarak kumaş kalıplarda önceden belirlenen noktalardan tutarlı bir hızda ve oranda doldurulduktan sonra bu noktalar el ile dikilmiştir (Kaiser, 2023). Doldurulan kumaş modüller Şekil 92b’de gösterilen geçici olarak kurulan sekizgen bir ahşap çerçevenin yedi kenarının her birinde, oluşturulan bir kumaş modülün tabanındaki üç MBK bileşenin bağlanması için açılan üç delikten ahşap dairesel tıplar ile sabitlenerek asılmıştır (Agraviador ve diğerleri, 2022). Asılı halde 21°C sıcaklık, %50 nem ve karanlık bir ortamın sağlandığı Şekil 92c’de gösterildiği gibi, alüminyum folyo ile kaplanan büyüme ortamında 13 günlük ikinci kolonizasyon sürecine bırakılan BioKnit, daha sonra alüminyum folyodan çıkarılarak 22 gün boyunca açık havada kurutulmuştur. Asılı olarak kurutulduktan sonra BioKnit, 180° döndürülerek asıl haline getirilmiştir (Agraviador ve diğerleri, 2022).



Şekil 92. BioKnit MBK üretim akışı (Kaiser, 2023; HBBE Hub for Biotechnology in the Built Environment, 2023)

- MBK Bağlantı Tekniği

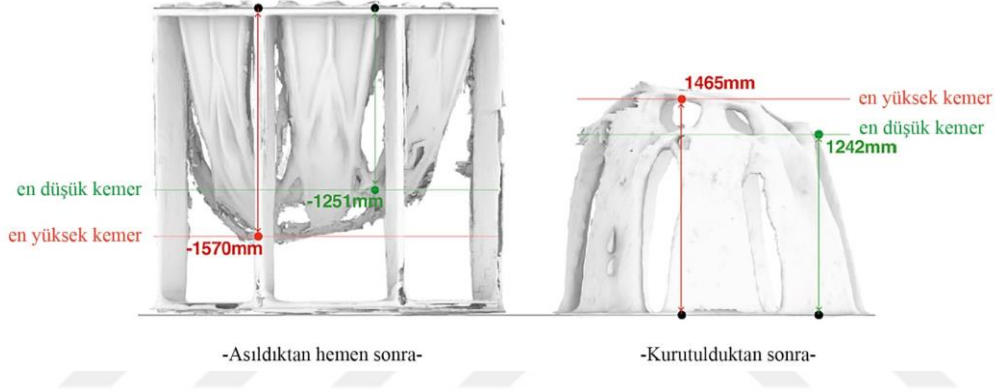
Miselyum kolonizasyon süresi boyunca MBK bileşenler zamanla Şekil 93’te gösterildiği gibi, kumaş kalıpla entegre olarak kaynaklı birleşim (myco-welding) yöntemi ile birbirlerine bağlanmışlardır (Kaiser, 2023).



Şekil 93. BioKnit MBK bileşenlerin kaynaklı birleşimi (HBBE, 2024)

- Strüktürel Kurgu

MBK bileşenlerden oluşan 7 adet kumaş modülün katener eğri formuna getirilip yük taşıyıcı kubbe sisteminden oluşan forma aktif yapı strüktürüne sahip BioKnit projesi, kurutma aşamasında yaklaşık 150 kg su kaybetmiştir. Şekil 94'e göre, yapıdaki en yüksek kemer noktasının 95mm düşmesine rağmen en düşük kemer noktasının sadece 9mm düştüğü gözlemlenmiştir (Agraviador, vd., 2022). Bu durum Agraviador vd. (2022) göre; asma sırasında yük dağılımının eşit olmaması, kumaş kalıplardaki tolerans, dikiş uzunluğundaki olası değişkenlikler ve kurulum sırasındaki farklı paketlemeden kaynaklanabilir.



Şekil 94. BioKnit 3 boyutlu tarama görüntüleri ve ölçümleri (Agraviador ve diğerleri, 2022)

- Araç ve Gereçler

BioKnit projesinin tasarımı için form bulma ve değişkenlere bağlı analiz yapma amacıyla Grasshopper yazılımı ve Kangaroo2 eklentisi kullanılmıştır. MBK bileşenlerin üretiminde geleneksel gereçler kullanılırken Shima Seiki Apex3 yazılımı ile tasarlanan kumaşların örülmesinde 12 gg Shima Seiki SSR122 dikiş makinesi kullanılmıştır (Agraviador ve diğerleri, 2022).

Tablo 21. Monolito Micelio (Dessi-Olive, 2022; Dessi-Olive, 2019; Miller, 2018)

Proje Bilgileri	Proje Adı	Monolito Micelio
	Proje Sorumlusu	Jonathan Dessi-Olive & Georgia Tech Mimarlık Okulu öğrencileri
	Proje Yeri	Georgia Teknoloji Enstitüsü
	Proje Yılı	2018
	Proje İşlevi	Pavyon
	Proje Süresi	-
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Tonoz
ÜT	Kalıplama Türü	Hibrit Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Naylon jeotekstil ve kontrplak
	Kalıp Formu	Özel
	Kalıp Boyutları	Değişken
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	-/ kenevir
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	4+2 gün
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/-
BT	Bağlantı Türü	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)
	Bağlantı Malzemesi	Miselyum
SK	Strüktür Türü	Form aktif strüktür- Tonoz sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	Hesaplamalı tasarım
	Üretim Gereci	Geleneksel, CNC
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

Jonathan Dessi-Olive liderliğindeki Georgia Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Okulu öğrencileri tarafından 2018 yılında MBK'den oluşan dört ayaklı tonoz kabuğu olarak tasarlanan ve inşa edilen, Şekil 95'te gösterildiği gibi 2,5 x 2,5 x 2,5 m genel boyutlarındaki kare planlı pavyon yapısı Monolito Micelio, çevresel (sıcaklık dalgalanmaları ve yağış), fiziksel (iç takviye sisteminin sertliği) ve kimyasal (küf) etkenlerden dolayı yıkılmıştır (Dessi-Olive, 2019; Dessi-Olive, 2022).



Şekil 95. Monolito Micelio proje ölçeği (Miller, 2018)

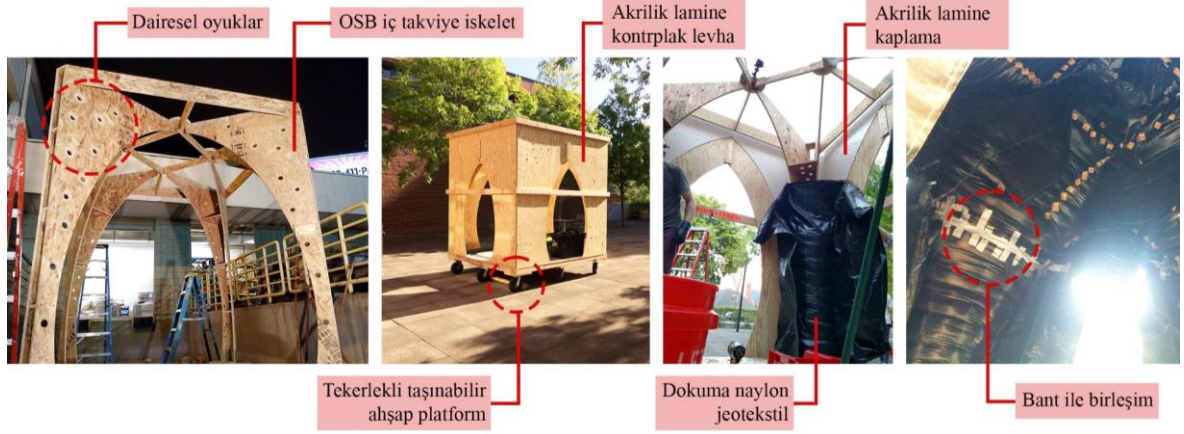
- MBK Üretim Tekniği

MBK tonoz kabuğunun şekillendirilmesinde ahşap ve tekstil malzemelerinin birlikte kullanıldığı hibrit kalıplama yönteminden yararlanılmıştır. Projenin kalıcı iç takviye iskeletinde miselyum tarafından tüketilebilen ahşap şeritlerden yapılmış OSB levhalar kullanılmıştır. Projenin dış cephedeki düz ve dik kesişen yüzeyleri için akrilik lamine kontrplak levhalar kullanılırken iç cephedeki kavisli yüzeylerde gözenekli yapıya sahip dokuma naylon jeotekstil kalıp malzemesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca kavisli yüzeylerde miselyum-substrat karışımının temas edeceği yüzeylerde daha sonra kalıbın MBK'den rahatça ayrılabilmesi için akrilik beyaz lamine kaplama kullanılmıştır.

Miselyum-substrat karışımı, iç kısımda beyaz lamine kaplama sınır oluşturacak şekilde akrilik levhalara vidalar kullanılarak sabitlenen kumaş kalıbın ve dış cephedeki akrilik lamine kontrplak kalıpların arasına doldurularak kalıplama işlemi

gerçekleştirilmiştir. Kumaş kalıbın akrilik levhalara sabitlenirken uzun vidalar kullanılarak sezgisel olarak kalınlığın değiştirilmesiyle iç cephedeki dalgalı yüzey elde edilmiştir (Dessi-Olive, 2019).

Tüm ahşap kalıplarda miselyum kolonizasyonunun verimli bit şekilde gerçekleştirilebilmesi için hava transferini sağlayacak dairesel oyuklar açılmıştır. Kumaş kalıbın eklenti kısımları bantlar kullanılarak yapıştırılmıştır. Kalıp sistemi, kolonizasyon işleminin gerçekleştirilmesi ve sergi alanına taşınmasının kolaylaştırılması için tekerlekler üzerinde bulunan ahşap bir platform üzerine sabitlenmiştir (Dessi-Olive, 2019). Monolito Micelio projesinin kalıplama sistemi Şekil 96’da gösterilmiştir.



Şekil 96. Monolito Micelio kalıplama (Miller, 2018)

- MBK Üretim Akışı

Ecovative'den temin edilen 10 kg'lık torbalarda gelen önceden aşılınmış kenevir substratı karışımından toplam 80 torba projenin 2,75 m³ lük bütün hacmini oluşturmak için kullanılmıştır. Aşılınmış karışım sahaya geldiğinde sertleşmeye başladığından sahada el ile parçalanmaya başladıktan sonra içine gerekli miktarda un ve su eklenmiştir. Kurulan kalıplar içine Şekil 97’de gösterildiği gibi doldurulan miselyum-substrat karışımı 4 günlük birincil kolonizasyon sürecine bırakıldı. Bu süre sonunda pavyonun alt kısımlarındaki tekstil kalıp sökülerek üst tabakanın ağırlığını taşıyabilmesi amacıyla sertleşebilmesi için önceden açık havada kurutulmuştur. 2 gün sonra ise tüm kalıplar sökülerek yapı tamamen kurumaya bırakılmıştır (Dessi-Olive, 2019; Miller, 2018).



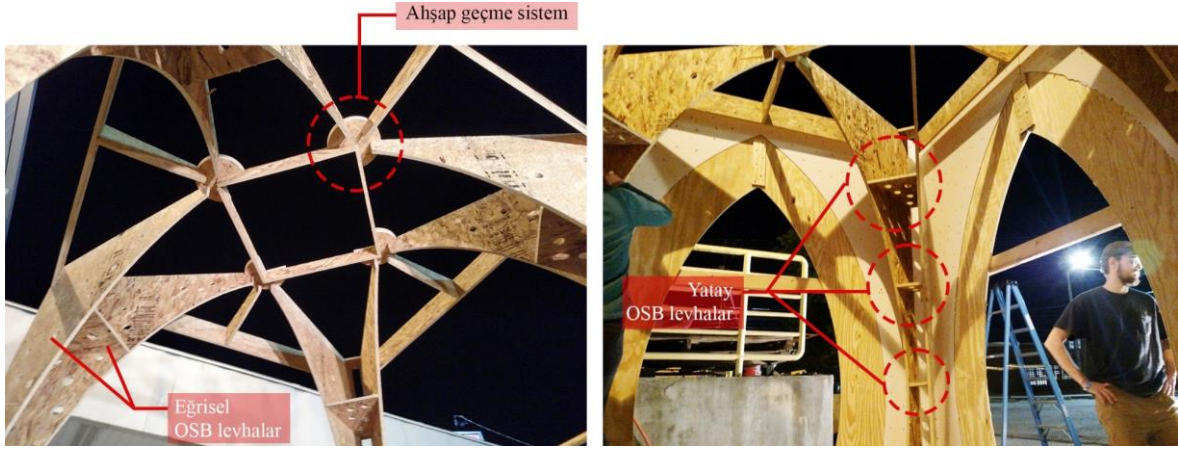
Şekil 97. Miselyum-substrat karışımının kalıplara aktarılması (Miller, 2018)

- MBK Bağlantı Tekniği

MBK'den oluşan Monolito Micelio pavyonu monolitik döküm olarak gerçekleştirildiğinden miselyumun kendisinin bağlantı aracı olarak kullanıldığı kaynaklı birleşim (myco-welding) yöntemi ile yapım sistemi bütünleştirilmiştir (Dessi-Olive, 2019).

- Strüktürel Kurgu

Monolito Micelio Şekil 98'de gösterildiği gibi, OSB levhalardan oluşan iç iskeleti saran ve onunla bütünleşen MBK'den oluşan strüktürel kurgudan meydana gelmiştir. İç iskeletin çapraz tonoz yapım sisteminden oluşan form aktif yapı strüktürü ise eğrisel levhalardan oluşan OSB levhaların üç çeyrek kesilmiş dairesel bağlantı elemanlarına geçme sistemi ile bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Eğrisel levhaların açısız konumları ise farklı boyutlarda kesilen yatay OSB levhalar ile ayarlanmıştır (Dessi-Olive, 2019; Miller, 2018).



Şekil 98. Monolito Micelio iç iskelet kurulumu (Miller, 2018)

- Araç ve Gereçler

Monolito Micelio yapısının Şekil 99’da gösterilen form bulma süreci, hesaplamalı tasarıma araçları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Projenin kurulum aşamasında iç iskeleti oluşturan OSB levhalar CNC makine kullanılarak kesilmiştir. MBK üretiminde ise plastik karıştırma kutuları, eldivenler ve çimento karıştırıcısı gibi geleneksel gereçler kullanılmıştır.



Şekil 99. Monolito Micelio geometrisinin oluşum diyagramı (Dessi-Olive, 2019)

Tablo 22. L'Orso Fungino (Dessi-Olive, 2022)

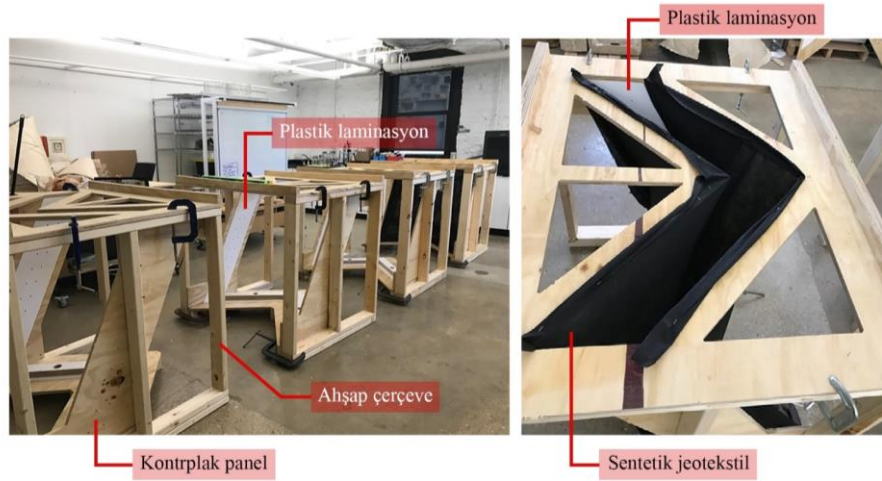
Proje Bilgileri	Proje Adı	L'Orso Fungino
	Proje Sorumlusu	Jonathan Dessi-Olive & K-State öğrencileri
	Proje Yeri	Kansas Eyalet Üniversitesi (K-State), ABD
	Proje Yılı	2022
	Proje İşlevi	Yapı elemanı
	Proje Süresi	6 hafta
	Proje Sürekliliği	Geçici
	Projede MBK'nin İşlevi	Duvar ünitesi
ÜT	Kalıplama Türü	Hibrit Kalıplama
	Kalıp Malzemesi	Sentetik jeotekstil, ahşap ve plastik
	Kalıp Formu	Özel
	Kalıp Boyutları	750mm en x 750mm boy
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>Basidiomycota</i> filumundan bir mantar/ kenevir
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	4 gün
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/~ 2 hafta
BT	Bağlantı Türü	Bağlama
	Bağlantı Malzemesi	Çelik kablo
SK	Strüktür Türü	Yığma yapım sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	Rhino, Grasshopper
	Üretim Gereci	Geleneksel, CNC
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

Jonathan Dessi-Olive liderliği altında K-State öğrencileriyle iş birliği içinde 2022 yılındaki Virginia Üniversitesi'nde düzenlenen BBE için MBK duvar ünitelerinden oluşan bir duvar prototipi olarak tasarlanan L'Orso Fungino projesinin tasarım ve üretim aşaması 6 haftada tamamlanmıştır. K-State'de üretilen projenin kurulumu Virginia Üniversitesi'nde 2 saatte gerçekleştirilmiştir (Dessi-Olive, 2022).

- MBK Üretim Tekniği

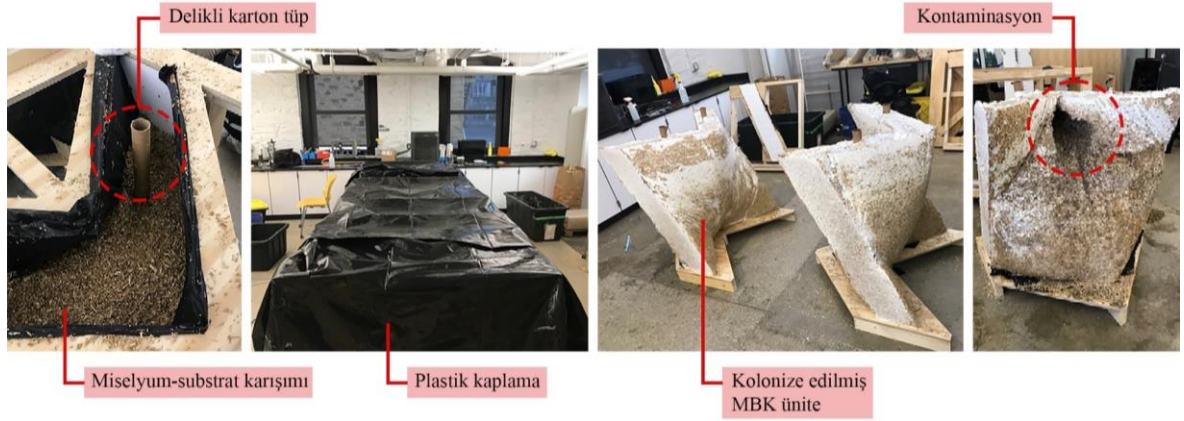
MBK duvar ünitelerinin şekillendirilmesi için Şekil 100'de gösterilen ahşap çerçevelerden, kontrplak panellerden, 3mm'lik plastik laminasyonlardan ve siyah sentetik jeotekstilden oluşan hibrit kalıp sistemi kullanılmıştır. Geçici ahşap çerçeve sistem içerisine elle gerilerek oluşturulan kumaş kalıp ve çerçevede bulunan kontrplak panellerin iç kısmına monte edilen beyaz plastik laminasyon levhalardan oluşan kalıp sistemine miselyum-substrat karışımı aktarılarak kalıplama aşaması tamamlanmıştır. Kalıpların boyutları nakliye koşullarına uygun olması göz önüne alınarak 750mm genişliğe ve 750 mm yüksekliğe sahip olacak şekilde oluşturulmuştur (Dessi-Olive, 2022).



Şekil 100. L'Orso Fungino kalıplama (Dessi-Olive, 2022)

- MBK Üretim Akışı

Basidiomycota filumundan bir mantarla aşılانmış kenevir substratından oluşan ve Ecovative'den temin edilen yaklaşık 325 kg miselyum-substrat karışımına sınırlı malzeme temini sebebiyle verim hacmini artırmak için aşılانmış kütlenin 1/4'ü kadar aşılانmamış ve sterilize edilmemiş kenevir lifi ilave edilmiştir. Daha sonra miselyumun daha hızlı büyümesini sağlayacak nitrojen açısından zengin un, her 5 kg'lık miselyum-substrat karışımına 250 g olacak şekilde eklenmiştir. Kalıp sistemine eklenen delikli karton tüplere denk gelmeyecek şekilde Şekil 101'de gösterildiği gibi, hazırlanan karışım aktarıldıktan sonra nemli ve karanlık büyüme ortamını sağlayacak siyah plastik kaplamayla örtülmüştür. 4 günlük kolonizasyon süresi sonunda kalıptan çıkarılan MBK duvar üniteleri, iki hafta boyunca laboratuvarı açık havada kurutulmuşlardır. Üretilen 5 adet MBK üniteden 2'sinde sonradan eklenen sterilize edilmeyen kenevirden ve hava eksikliğinden kaynaklandığı düşünülen kontaminasyonlar görülmüştür (Dessi-Olive, 2022).



Şekil 101. L'Orso Fungino MBK üretim akışı (Dessi-Olive, 2022)

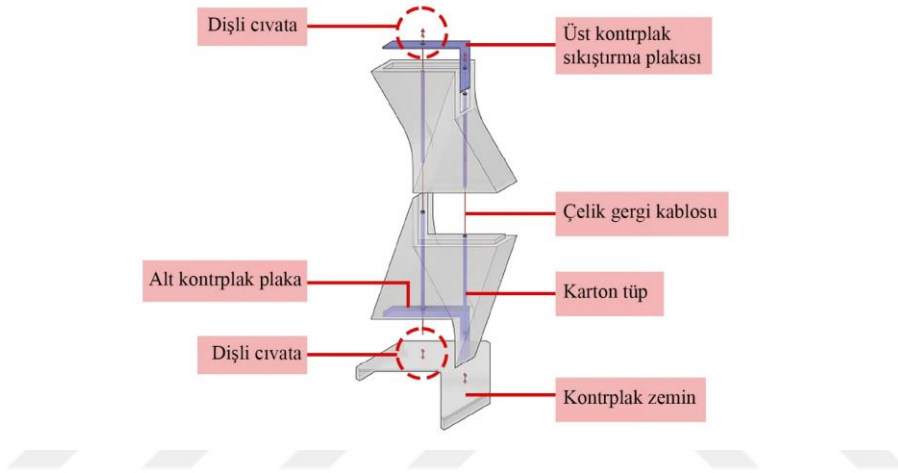
- MBK Bağlantı Tekniği

MBK duvar üniteleri içinde yer alan ve kanal görevi gören karton tüplerden çelik gergi kablolarının geçirildikten sonra üst ve alt tabakada yer alan kontrplak sıkıştırma plakalarına dişli cıvataların rondela ile sıkıştırılması sonucunda birbirine bağlanmıştır (Dessi-Olive, 2022).

- Strüktürel Kurgu

MBK duvar üniteleri, yığma yapım sistemine göre üst üste eklenerek bağlandıktan sonra dişli cıvataların ardgerilmeden 1cm'ye kadar sıkıştırılmasıyla basınç odaklı çalışan strüktürün 2 saatlik sahadaki kurulumu tamamlanmıştır (Dessi-Olive, 2022).

MBK duvar ünitelerinin birbirine bağlanması ve duvar prototipini oluşturmasını açıklayan diyagram Şekil 102'de gösterilmiştir.



Şekil 102. L'Orso Fungino ardgerme sistemi (Dessi-Olive, 2022)

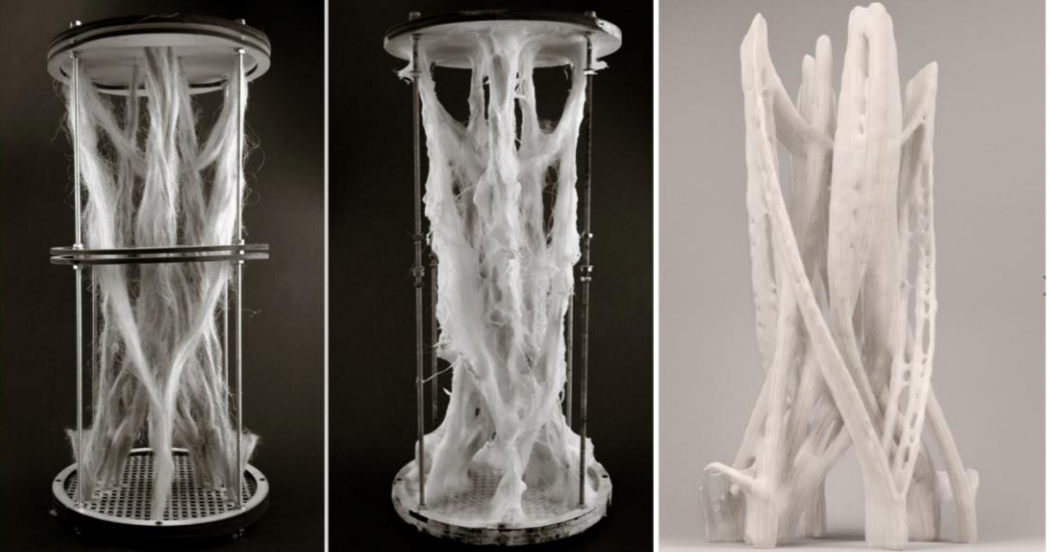
- Araç ve Gereçler

L'Orso Fungino projesinin form bulma sürecinde Rhino ve Grasshopper yazılım araçlarından yararlanılmıştır. MBK üretiminde geleneksel araçlar kullanılırken kalıp sisteminin bir parçası olan kontrplak panellerin kesiminde CNC makinesi kullanılmıştır (Dessi-Olive, 2022).

2.2.5. Kalıpsız Üretilen MBK Proje Örnek Analizleri

Tez çalışmasının bu bölümü, örneklem grubunda yer alan ve kalıpsız üretilen 2 MBK projenin analiz çalışmasından oluşmaktadır.

Tablo 23. Mycelium Tectonics (Tabellini, 2015; Materiability Research Group, 2024; Tabellini, 2014/2015)

Proje Bilgileri	Proje Adı	Mycelium Tectonics (Örnek_#3.3.3)
	Proje Sorumlusu	Gianluca Tabellini
	Proje Yeri	Bologna Üniversitesi, İtalya
	Proje Yılı	2015
	Proje İşlevi	Yapı elemanı prototipi
	Proje Süresi	-
	Proje Sürekliliği	-
	Projede MBK'nin İşlevi	Kolon
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>Pleurotus ostreatus</i> / kenevir + biyoplastik
	Sterilizasyon Yöntemi	Otoklavlama
	Kolonizasyon Süresi	30 gün
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/-
BT	Bağlantı Türü	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)
	Bağlantı Malzemesi	Miselyum
SK	Strüktür Türü	Serbest formlu strüktür
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	Dijital simülasyon
	Üretim Gerci	Geleneksel, lazer
Proje Görseli		

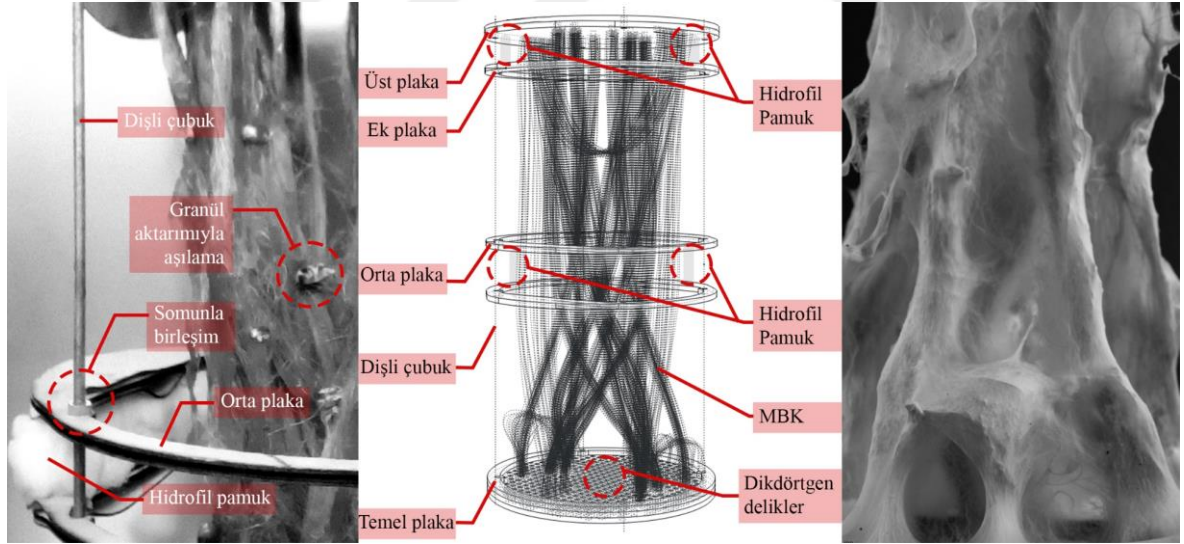
- Proje Bilgileri

Prof. Alessio Erioli denetimi altında, Prof. Alessandra Zambonelli, Maurizio Montalti ve Philip Ross eş danışmanlığında Gianluca Tabellini tarafından lisans tezi çalışması olarak gerçekleştirilen Mycelium Tectonics projesinde misel morfogenezi, hibrit kolon prototipi

üzerinden incelenmektedir (Tabellini, 2015; Materiability Research Group, 2024; Tabellini, 2014/2015).

- MBK Üretim Akışı

180 mm çapındaki kavaktan yapılmış ahşap plakaların 4 adet dişli çubuğa somun ile bağlanması sonucunda 350 mm yüksekliğinde silindirik sınır belirleyen geçici çerçeve sistemi kurulmuştur. 121°C'de 20 dakika boyunca otoklavlanan kenevir lifleri ve biyoplastik substratları çerçeve sistemde, önceden *Pleurotus Ostreatus* miselyumunun 40 adetten fazla buğday tanesi üzerinde büyütüldüğü plakadan alınan parçalarla Şekil 103'te gösterildiği gibi granül aktarımıyla aşılama yöntemi ile aşılanmıştır. 30 günlük kolonizasyon sürecinde gerekli nemi sağlamak için çerçeve sistemde orta ve üst plakalar arasına ıslatılmış pamuklar yerleştirilmiştir. Aynı amaç doğrultusunda tabandaki plakalarda dikdörtgen formunda delikler bulunmaktadır. Kenevir lifleri boyunca büyüyen miselyum, projenin şekillendirilmesini sağlamaktadır. Prototip kolonizasyon sürecinden sonra havayla kurutulmuştur (Tabellini, 2015; Materiability Research Group, 2024; Tabellini, 2014/2015).



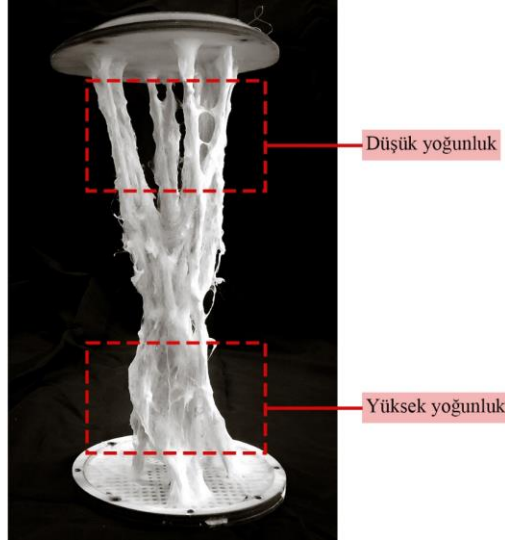
Şekil 103. Mycelium Tectonics MBK üretim akışı; (sol) aşılama, (orta) çerçeve sistem, (sağ) miselyum kolonizasyonu (Tabellini, 2014/2015)

- MBK Bağlantı Tekniği

MBK halat ve yüzey bileşenleri miselyumun kolonizasyonu aracılığıyla kaynaklı birleşim (myco-welding) yöntemi ile birbirine entegre edilmiştir (Tabellini, 2014/2015).

- Strüktürel Kurgu

Basınç odaklı çalışan MBK kolon prototipi, ökliden olarak tasarlanırsa da miselyumun yetiştirme sürecindeki davranış düzeni sebebiyle MBK halat, yüzey ve bunların karışımının bir arada bulunduğu üçlü kaotik bir yapı strüktürü ile sonuçlanır. Şekil 104'te gösterildiği gibi, prototipin üst kısmında miselyumun yeni bağlantılar kurmaya çalışmasından kaynaklı düşük yoğunluklu strüktür, prototipin alt kısmında ise yer çekiminin etkisinin artmasından dolayı miselyum bağlantısının daha kompakt olduğu yüksek yoğunluklu strüktür yer almaktadır (Tabellini, 2014/2015).



Şekil 104. Mycelium Tectonics strüktür (Tabellini, 2015)

- Araç ve Gereçler

Mycelium Tectonics projesinin tasarım aşamasında kenevir liflerindeki miselyum kolonizasyonunun davranış modelini referans alan dijital simülasyon araçlarından yararlanılırken üretim aşamasında ahşap plakaların kesiminde lazer, MBK üretiminde geleneksel gereçler kullanılmıştır (Tabellini, 2014/2015).

Tablo 24. Thick and Thin (Dessi-Olive, 2019; JDOVaults, 2018)

Proje Bilgileri	Proje Adı	Thick and Thin
	Proje Sorumlusu	Jonathan Dessi-Olive & Georgia Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Okulu lisans ve lisansüstü öğrencileri
	Proje Yeri	Georgia Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Okulu, Atlanta, ABD
	Proje Yılı	2018
	Proje İşlevi	Yapı elemanı
	Proje Süresi	-
	Proje Sürekliliği	-
	Projede MBK'nin İşlevi	Kemer
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	-/kenevir
	Sterilizasyon Yöntemi	-
	Kolonizasyon Süresi	4 gün
	Kurutma Yöntemi/Süresi	Havayla kurutma/ Birkaç hafta
BT	Bağlantı Türü	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)
	Bağlantı Malzemesi	Miselyum
SK	Strüktür Türü	Form aktif strüktür- Kemer sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	RhinoVault
	Üretim Gerci	Geleneksel, Lazer
Proje Görseli		

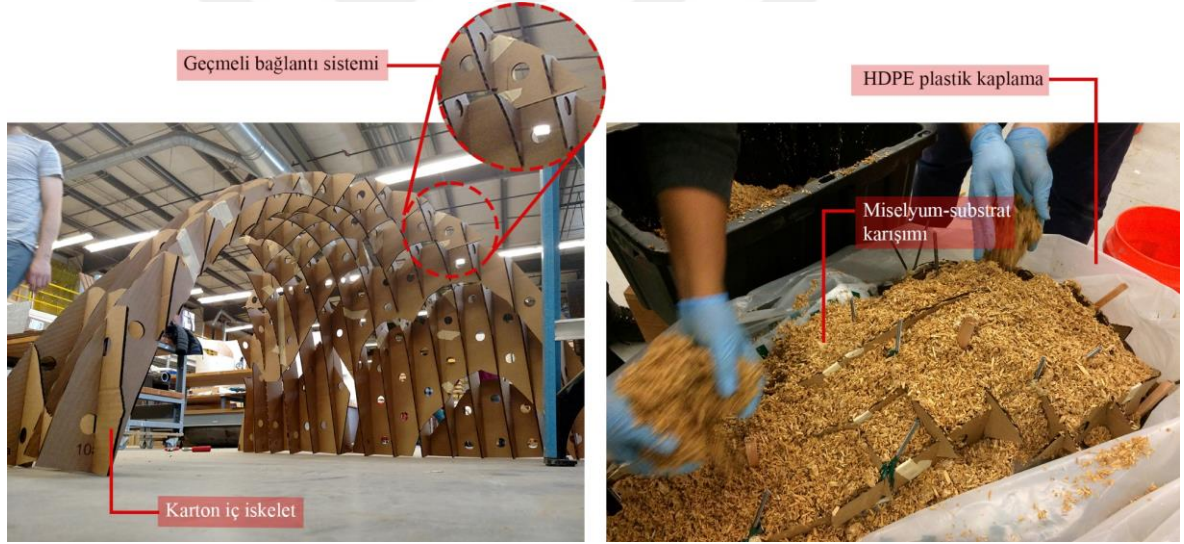
- Proje Bilgileri

Jonathan Dessi-Olive yönetimi altında Georgia Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Okulu lisans ve lisansüstü öğrencilerinin iş birliği sonucunda MBK kemer sistemi olarak tasarlanan Thick and Thin projesi, 2018 yılında Jonathan Dessi-Olive tarafından gerçekleştirilen

Monolitik Miselyum Deneyleri kapsamında Tactical Mycelium-2 deneysel projesi olarak gerçekleştirilmiştir (Dessi-Olive, 2019; JDOVaults, 2018).

- MBK Üretim Akışı

Thick and Thin projesinin oluşturulması için öncelikle üç boyutlu ve çift eğrilikli kartonların geçmeli sistem ile birbirine bağlanarak oluşturduğu Şekil 105'te gösterilen iç iskelet, Ecovative' den temin edilen yaklaşık 0,2 m³'lük hacme sahip miselyumla aşılınmış kenevir substrat karışımı ile doldurulduktan sonra HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) plastik kaplama ile kaplanarak iç mekanda 4 günlük kolonizasyon sürecine bırakılmıştır. Kolonizasyon süreci tamamlandığında prototip üzerinden plastik kaplama çıkarılarak birkaç hafta açık havada kurutulmuştur (Dessi-Olive, 2019; JDOVaults, 2018).



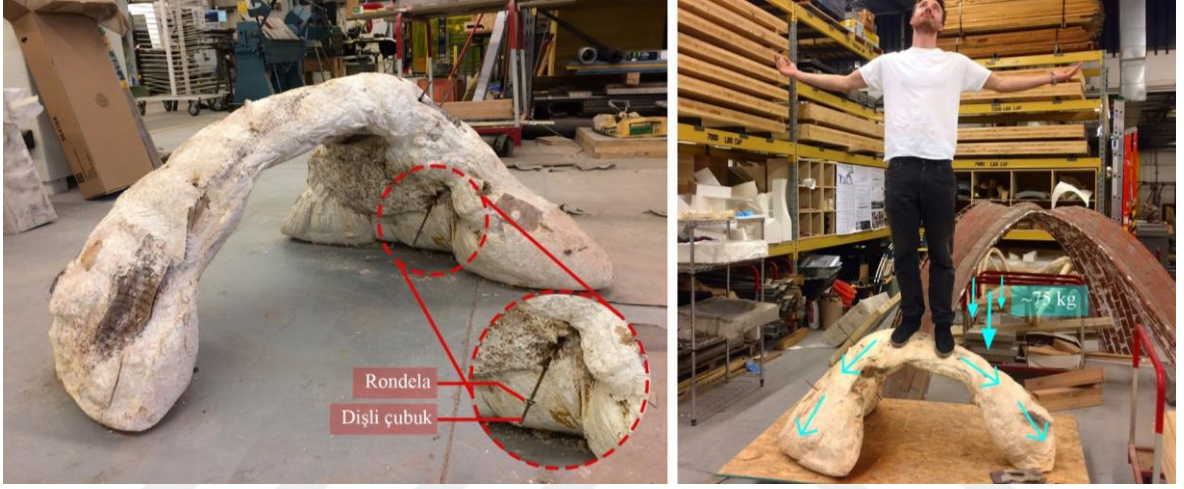
Şekil 105. Thick and Thin üretim akışı (JDOVaults, 2018)

- MBK Bağlantı Tekniği

MBK kemer sistemi, miselyumun substratı ve karton iç iskeleti besin olarak kullanıp kolonizasyon işlemini gerçekleştirmesiyle kaynaklı birleşim (myco-welding) yöntemi ile monolitik olarak oluşturulmuştur. Kurutulan yapıda kalan boşluklar daha sonra miselyum eklenerek yama yöntemi ile onarılmıştır (Dessi-Olive, 2019).

- Strüktürel Kurgu

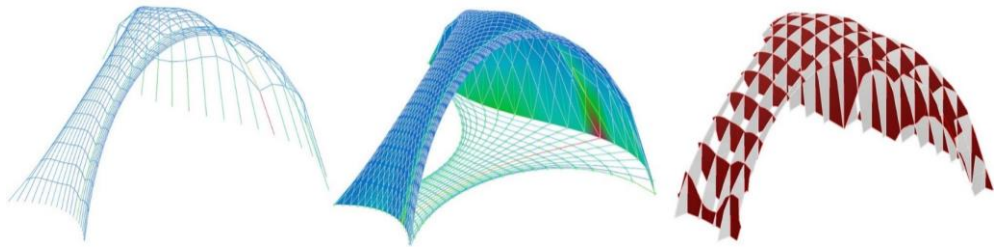
MBK malzemenen yekpare olarak üretilen Thick and Thin, taşıyıcı kemer sisteminden oluşan form aktif yapı strüktüründen oluşmaktadır. Yapı kurutulduktan birkaç ay sonra yaklaşık olarak 75 kg ağırlığı rahatlıkla taşımıştır. Yapıdaki yüzey dalgalanmalarını oluşturmak için ise Şekil 106’da gösterildiği gibi bazı noktalarda strüktür içinden geçen dişli çubuk ve rondelalar kullanılmıştır (Dessi-Olive, 2019; JDOVaults, 2018).



Şekil 106. Thick and Thin strüktür (JDOVaults, 2018)

- Araç ve Gereçler

Thick and Thin kemer sisteminin Şekil 107’de gösterilen form bulma süreci ETH-Zurich Blok Araştırma Grubu tarafından Rhino’nun eklentisi RhinoVault yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Yapının üretim akışında karton iç iskeletin kesiminde lazerden yararlanılırken MBK üretiminde geleneksel gereçler kullanılmıştır (JDOVaults, 2018).



Şekil 107. Thick and Thin form bulma süreci (JDOVaults, 2018)

2.2.6. 3D Baskı Yöntemi ile Üretilen MBK Proje Örnek Analizleri

Tez çalışmasının bu bölümü, örneklem grubunda yer alan ve 3D baskı yöntemi ile üretilen 2 MBK projenin analiz çalışmasından oluşmaktadır.

Tablo 25. Pulp Faction (Goidea, vd., 2020)

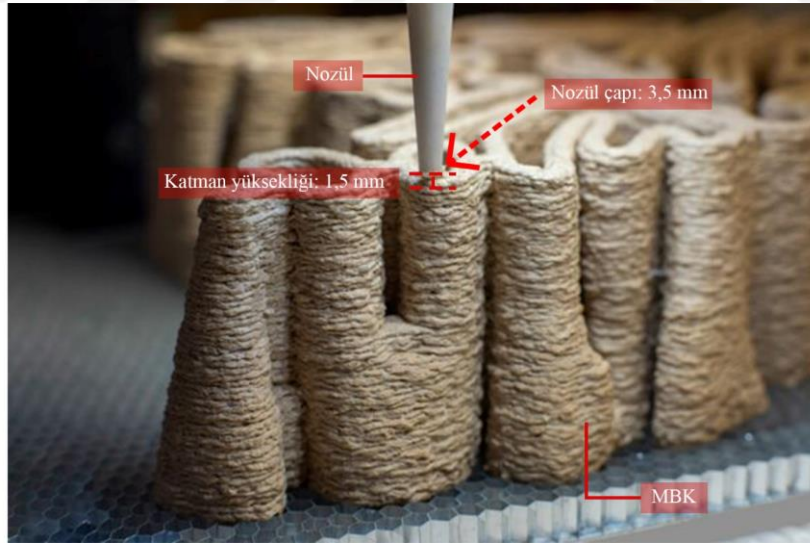
Proje Bilgileri	Proje Adı	Pulp Faction- Protomycokion
	Proje Sorumlusu	Ana Goidea, David Andréen, Dimitrios Floudas
	Proje Yeri	Lund Üniversitesi, İsveç
	Proje Yılı	2020
	Proje İşlevi	Yapı elemanı
	Proje Süresi	-
	Proje Sürekliliği	-
	Projede MBK'nin İşlevi	Kolon modülü
ÜT	Kalıplama Türü	Eklemeli Üretim
	Kalıp Malzemesi	3,5 mm
	Kalıp Formu	1,5 mm
	Kalıp Boyutları	Koyulaştırıcı madde
ÜA	Miselyum/Substrat Türü	<i>B.corium</i> , <i>Gloeophyllum sp.</i> /ince talaş, kağıt hamuru ve kaolin kili
	Sterilizasyon Yöntemi	Otoklavlama
	Kolonizasyon Süresi	-
	Kurutma Yöntemi/Süresi	-/-
BT	Bağlantı Türü	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)
	Bağlantı Malzemesi	Miselyum
SK	Strüktür Türü	Yığma yapım sistemi
	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	Gray-Scott modeline dayalı dijital simülasyon
	Üretim Gerci	Vormvrij Lutum v4
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

Ana Goidea ve David Andr  en tarafından tasarlanan ve Dimitrios Floudas ile mikoloji alanındaki i  birliği sonucunda eklemeli üretim yöntemi ile MBK malzemeden kolon olarak üretilen Pulp Faction çalışmasına ait Protomycokion projesi, 2020 yılında gerçekleştirilmiştir. Protomycokion 3D Pioneers Challenge 2021 Sürdürülebilir Malzeme kategorisinde kazanan  d l  ve Autodesk  zel Mansiyon  d l n  kazanmıştır (Goidea, vd., 2020; The Index Project, 2021; bioDigital matter lab, 2021).

- MBK  retim Tekniği

Şekil 108’de gösterilen 3,5 mm nozül çapına sahip 3D yazıcısı ile 1.5 mm katman yüksekliğinde MBK’nin ekstrüzyonu, önceden belirlenen güzergahın programa aktarılmasıyla çift eğrilikli baskı katmanları halinde oluşturulmuştur. Yüksek   z n rl k, yüzey/hacim verimliliği ve optimum miselyum kolonizasyon yoğunluğu sağlamak için daha büyük bir nozül kullanılmamıştır (Goidea, vd., 2020).

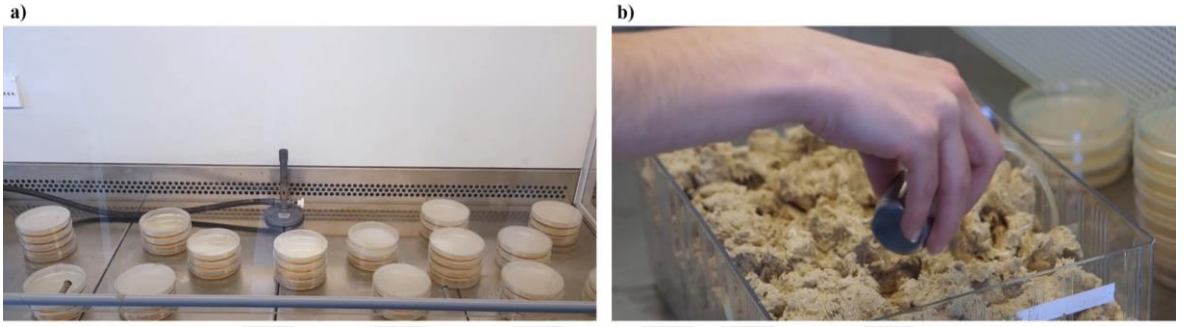


Şekil 108. Pulp Faction eklemeli üretimi (bioDigital matter, 2024)

- MBK  retim Akışı

Beyaz   r k  l mantarı *Byssomerulius corium* ve kahverengi çürükçül mantarı *Gloeophyllum sp.* miselyum suçlarından oluşan deney grubu, otoklavlanmış ince talaş, kağıt

hamuru ve kaolin kili substratları içerisine yerleştirilerek Şekil 109’da gösterildiği gibi sıvı kültürle aşılama yöntemi ile aşılanmıştır. Aşılanan substratlar 1 haftalık birincil kolonizasyon sürecinin ardından karışım 3D olarak eklemeli üretim yöntemine göre katmanlar halinde basıldıktan sonra ikincil kolonizasyon sürecine bırakılmıştır. Yeterli büyüme elde edildiğinde modüller kolonizasyon sürecini durdurmak amacıyla kurutulmuşlardır. *Gloeophyllum sp.* miselyumu ile üretilen modüllerin daha yüksek mukavemet sergiledikleri ve hidrofobik özellik gösterdiği tespit edilmiştir (Goidea, vd., 2020).



Şekil 109. Pulp Faction MBK üretim akışı; a) sıvı kültürlerin oluşturulması, b) Aşılama işlemi (Ana, 2020)

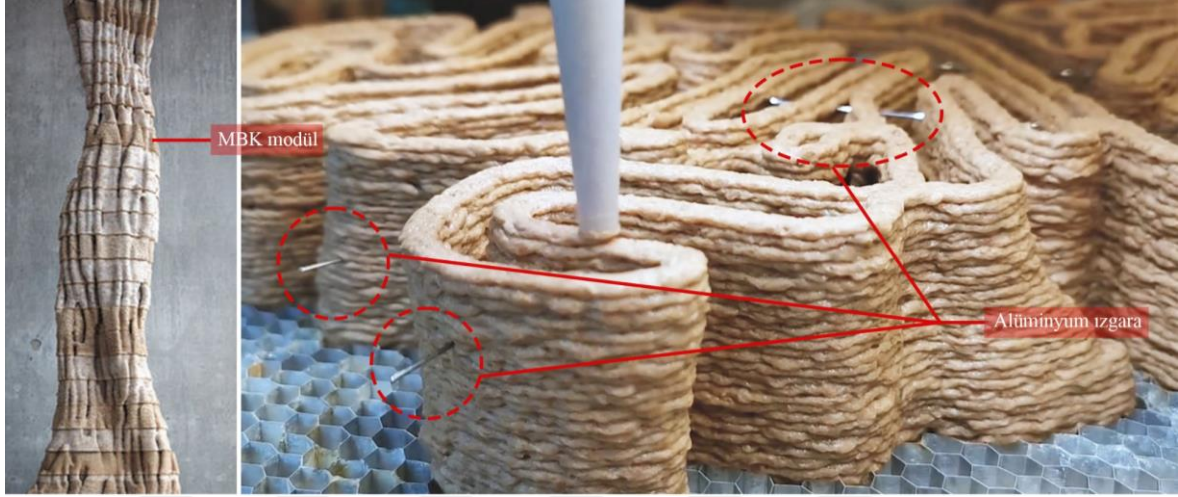
- MBK Bağlantı Tekniği

Protomycokion’u oluşturan MBK katmanlar miselyumun bağlantı aracı olarak kullanıldığı kaynaklı birleşim (myco-welding) yöntemi ile bütün haline gelmiştir (Goidea, vd., 2020).

- Strüktürel Kurgu

MBK baskı katmanları modüller halinde yığma yapım sistemi düzenine göre üst üste getirilerek ve dikey sürekliliği sağlayan ara bağlantı elemanları ile birleştirilerek kolon strüktürü oluşturulmuştur. MBK’nin kurutma işlemi sonrasında yaklaşık %30 oranında büzüleceği ve yığma sistemin yanıl yüklerle karşı zayıflığından kaynaklanan çökme ve distorsiyon ihtimaline engel olmak amacıyla baskı katman modüllerinde dikey kanallara sahip Şekil 110’da gösterilen alüminyum ızgara sistemi kullanılmıştır. Bu sistem ile x ve y

ekseni boyunca stabilitesini koruyan MBK kolon, sadece z ekseni boyunca küçülmektedir (Goidea, vd., 2020).



Şekil 110. Pulp Faction-Protomycokion strüktür (Ana, 2020; bioDigital matter, 2024)

- Araç ve Gereçler

Protomycokion projesinde form bulma sürecinde Gray-Scott modeline dayalı bir reaksiyon-difüzyon simülasyonundan yararlanılmıştır. Üretim aşamasında ise basınçlı hava ve dönen bir burgu kombinasyonuna dayanan Vormvrij Lutum v4 3D baskı makinesi kullanılmıştır (Goidea, vd., 2020).

Tablo 26. Tilted Arch (Modanloo ve diğeri, 2021)

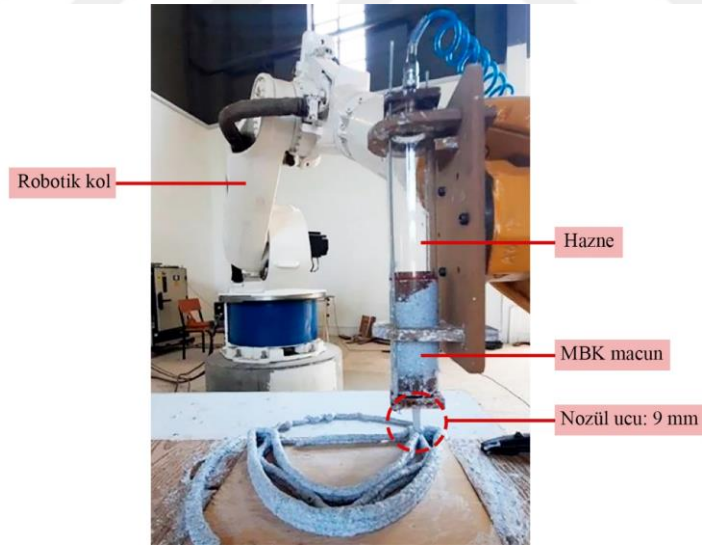
Proje Bilgileri	Proje Adı	Tilted Arch
	Proje Sorumlusu	Behzad Modanloo, Ali Ghazvinian, Muhammed Rıza Matini, Elham Andaroodi
	Proje Yeri	-
	Proje Yılı	2021
	Proje İşlevi	Yapı elemanı
	Proje Süresi	-
	Proje Sürekliliği	-
	Projede MBK'nin İşlevi	Katener kemer
ÜT	Kalıplama Türü	Eklemeli Üretim
	Kalıp Malzemesi	9 mm
	Kalıp Formu	18 mm
	Kalıp Boyutları	Guar sakızı
	Miselyum/Substrat Türü	<i>Pleurotus ostreatus</i> / kağıt ve buğday kepeği
ÜA	Sterilizasyon Yöntemi	Otoklavlama
	Kolonizasyon Süresi	2+5+1 hafta
	Kurutma Yöntemi/Süresi	-/-
	Bağlantı Türü	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)
BT	Bağlantı Malzemesi	Miselyum
	Strüktür Türü	Form aktif strüktür- Tonoz sistemi
SK	Çalışma Prensibi	Basınca çalışan strüktür
	Strüktür Malzemesi	MBK
A&G	Tasarım Aracı	Hesaplamalı tasarım
	Üretim Gerci	Özelleştirilmiş ekstrüder, PRC eklentisi
Proje Görseli		

- Proje Bilgileri

Behzad Modanloo, Ali Ghazvinian, Muhammed Rıza Matini ve Elham Andaroodi tarafından 2021 yılında gerçekleştirilen Tilted Arch projesi, 3D baskılı MBK katener kemerlerden oluşan bir MBK tonoz strüktür yapısıdır (Modanloo, vd., 2021).

- MBK Üretim Tekniği

Eklemeli üretim yöntemiyle 3D olarak basılan Tilted Arch projesinde, ekstrüzyon sırasında miselyum kolonizasyonunun gerçekleşmesinden kaynaklı karışım macununun büyüklüğünden dolayı Şekil 111’de gösterildiği gibi 9 mm’lik nozül kullanılmıştır. Nozül basıncı 1.7 bar, hızı ise 100 mm/sn’ dir. 18 mm canlı kalınlığa sahip ekstrüde edilen malzeme, kurutulduktan sonra 2 mm kısalarak 16 mm kalınlığa sahip olmaktadır. Karışım macununun optimum viskozitesini oluşturmak için jelleştirici katkı malzemesi olarak plastik davranış gösteren guar sakızı kullanılmıştır (Modanloo, vd., 2021).



Şekil 111. Tilted Arch eklemeli üretimi (Modanloo, vd., 2021)

- MBK Üretim Akışı

Buğday taneleri üzerinde yetiştirilen *Pleurotus ostreatus* suşu, 121 °C' de 45 dakika boyunca otoklavlanmış kıyılmış kağıt ve buğday kepeğinden oluşan substratlar üzerine eklenerek granül aktarımıyla aşılama yöntemi ile aşılanmıştır. Aşılanan substrat karışımı 2

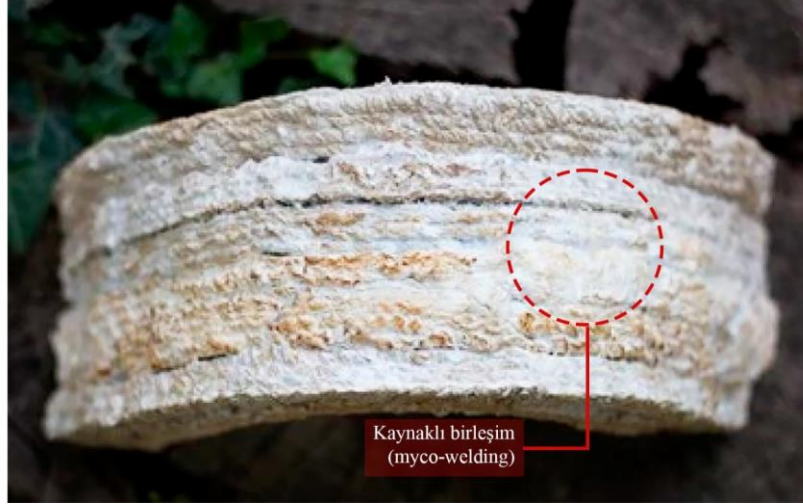
hafta boyunca otoklav torbalarında birincil kolonizasyon sürecini gerçekleştirdikten sonra ektsrüder kullanılarak 3D olarak altı adet benzer katener kemer basılmıştır. Basılan katener kemerler Şekil 112’de gösterildiği gibi 5 haftalık ikincil kolonizasyon sürecini tamamladıktan sonra üst üste konularak 1 hafta daha kolonize edilmiştir. Üç adımda gerçekleştirilen kolonizasyon sürecini tamamlayan MBK katener kemerlerden oluşan Tilted Arch, 90° döndürülerek tonoz yapısı haline getirilmiştir (Modanloo, vd., 2021).



Şekil 112. Tilted Arch MBK katener kemerlerin ikincil kolonizasyonu (Modanloo, vd., 2021)

- MBK Bağlantı Tekniği

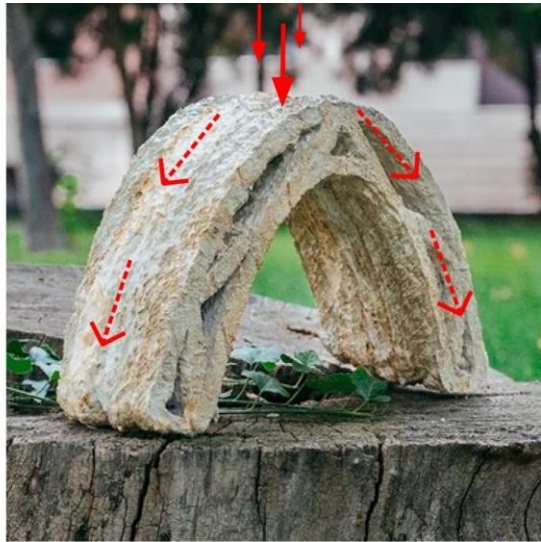
7 haftalık ayrı olarak kolonizasyon sürecini tamamlayan MBK katener kemerler üst üste eklendikten sonraki 1 haftalık üçüncül kolonizasyon sürecini birlikte tamamlayarak Şekil 113’te gösterildiği gibi kaynaklı birleşim (myco-welding) yöntemi birleşmektedirler (Modanloo, vd., 2021).



Şekil 113. Tilted Arch MBK katener kemerlerin kaynaklı birleşimi (Modanloo, vd., 2021)

- Strüktürel Kurgu

Şekil 114’te gösterilen Tilted Arch projesi, katener kemerlerin sıralı olarak üst üste gelmesiyle basınç odaklı çalışan ve yük dağılımını yekpare yapısıyla zemine aktaran form aktif yapı strüktür türüne sahip bir tonoz sisteminden oluşmaktadır (Modanloo, vd., 2021).



Şekil 114. Tilted Arch strüktür yük dağılımı (Modanloo, vd., 2021)

- Araç ve Gereçler

Tilted Arch projesinde MBK malzemenin en uygun kullanımını bulabilmek için Malzeme Odaklı Tasarım (MDD) yönteminden yararlanılmıştır. Şekil 115’te gösterildiği gibi hesaplamalı tasarım yöntemiyle form bulma süreci gerçekleştirilen Tilted Arch projesinin 3D baskılı üretimi, bir PRC eklentisi aracılığıyla katener formun tanımlandığı yol, G koduna dönüştürüldükten sonra özel olarak üretilen ekstrüder kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Modanloo, vd., 2021).



Şekil 115. Tilted Arch form bulma süreci (Modanloo, vd., 2021)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde literatürden elde edilen bilgiler sonucunda üretim tekniğine göre çerçeveleme, kalıplama, kalıpsız ve 3D baskı olmak üzere 4 farklı grupta incelenen toplam 21 MBK projelerden elde edilen bulgular ve tartışmalar;

- Projelerin genel bilgileri,
- Çerçeveleme tekniği, kalıplama tekniği, kalıpsız üretim ve 3D baskı yönteminin irdelendiği MBK üretim teknikleri,
- MBK üretim akışları,
- MBK bağlantı teknikleri,
- Strüktürel kurguları ile
- Araç ve gereçler olmak üzere 6 alt başlık altında oluşturulan karşılaştırılmalı tablolar üzerinden açıklanmaktadır.

3.1. İncelenen MBK Proje Bilgileri ile İlgili Genel Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında seçilen örneklem grubu içerisinde incelenen 21 MBK projenin tasarım ve üretiminden sorumlu kuruluşlar ya da bireyler Tablo 27’de gösterilmektedir. Oluşturulan bu tablodan elde edilen bulgulara göre projelerin gerçekleştirilmesinden sorumlu olan kuruluşlar arasında; mimarlık stüdyoları (Beetles 3.3, Yassin Arredia Design, The Living, Astudio, SUPERPRAXIS), mühendislik firmaları (Søren Jensen A/S, Arup), mimarlar, mantar teknolojisi üzerine çalışan malzeme şirketleri (Ecovative, Mycotech Lab), biyoteknoloji şirketi (Krown Design), küresel enerji şirketi (Eni), kolektif kuruluş (MY-CO-X), üniversiteler (KIT, Georgia Teknoloji Enstitüsü, K-State, Stuttgart Üniversitesi), laboratuvarlar ve araştırma merkezleri (SEC-FCL, ETH-BRG, HBBE- Living Textiles Research Group, ForMat Lab) gösterilebilmektedir.

Bu duruma göre projelerin gerçekleştirilmesinde mimarlar, tasarımcılar, mühendisler, mikologlar ve biyoteknoloji uzmanları gibi farklı meslek grubundaki temsilcilerin rol aldığı tespit edilmiştir. Buna göre MBK’nin farklı alanlarda çalışan bireylerin ortak ilgi alanına dahil olduğu, MBK’nin dahil olduğu yapım sistemlerinde disiplinler arası bir çalışmanın gerekli olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 27. İncelenen MBK projelerin tasarım ve üretim sorumluları

Proje Adı	Proje Sorumlusu	ÜT
1 Shell Mycelium	Beetles 3.3 & Yassin Arredia Design	Çerçeveleme
2 From Waste to Biomaterial	Søren Jensen A/S	
3 Inhabiting Ecologies	Nikolaj Emil Svenningsen, Søs Christine Hejselbæk, Jonas Rask, Kalmar Hansen, Sean Lyon	
4 Hy-Fi Tower	The Living & Ecovative & Arup	
5 MycoTree	KIT & SEC-FCL & ETH-BRG & Mycotech Lab	
6 Mycoarch	Bridget Ayers Looby, Rebecca Ramsey ve Jonathan Dessi-Olive	
7 Modular Mycelia	Sean Campbell, David Correa, Dylan Wood, Achim Menges ve Dr. Arnd G. Heyer	
8 Grown Structures	Aleksi Vesaluoma & Astudio	Kalıplama
9 The Growing Pavilion	Pascal Leboucq, Lucas De Man, Krown Design	
10 The Circular Garden	Carlo Ratti Associati & Eni	
11 Refugio Fungico	SUPERPRAXIS	
12 MY-CO SPACE	MY-CO-X	
13 La Parete Fungina	Jonathan Dessi-Olive	
14 MycoCreate 2.0	Benay Gürsoy, Ali Ghazvinian, Alale Mohseni	
15 BioKnit	HBBE- Living Textiles Research Group	
16 Monolito Micelio	Jonathan Dessi-Olive & Georgia Tech Mimarlık Okulu öğrencileri	Kalıpsız 3D Baskı
17 L'Orso Fungino	Jonathan Dessi-Olive & K-State öğrencileri	
18 Mycelium Tectonics (Örnek #3.3.3)	Gianluca Tabellini	
19 Thick and Thin	Jonathan Dessi-Olive & Georgia Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Okulu lisans ve lisansüstü öğrencileri	
20 Pulp Faction-Protomycokion	Ana Goidea, David Andréen, Dimitrios Floudas	
21 Tilted Arch	Behzad Modanloo, Ali Ghazvinian, Muhammed Rıza Matini, Elham Andaroodi	

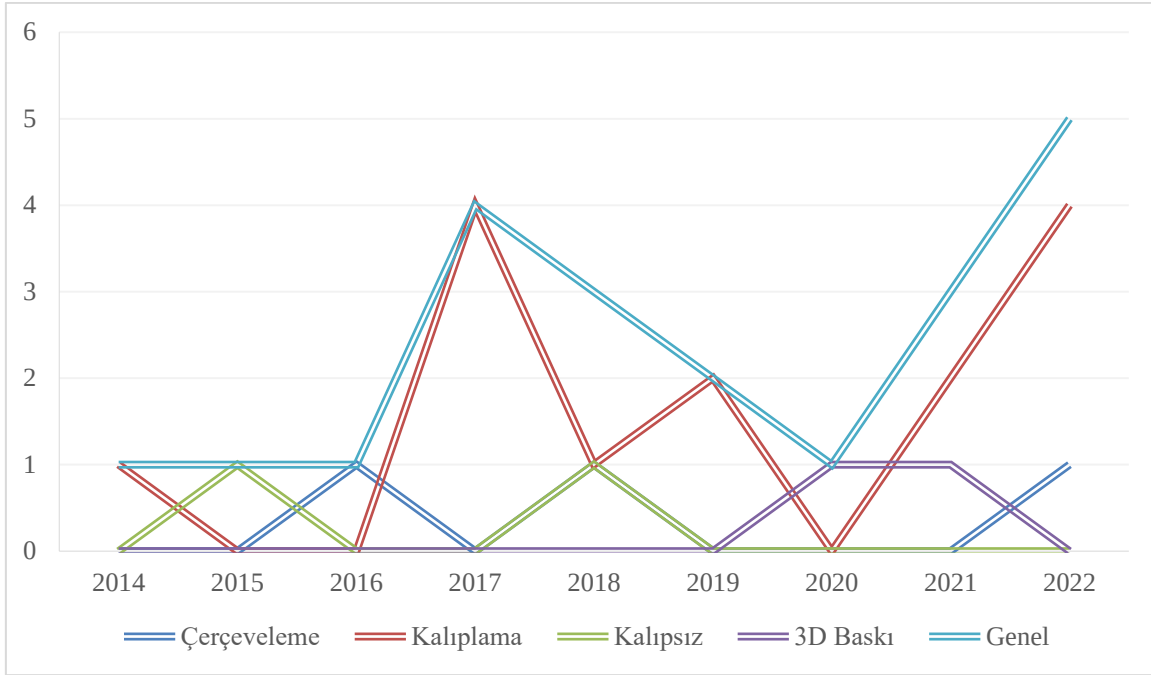
Çalışma kapsamında seçilen örneklem grubu içerisinde incelenen 21 MBK projenin yapım yeri ve yılı Tablo 28’de gösterilmektedir. İncelenen projelerin 7’si ABD, 2’si Almanya, 2’si İngiltere, 2’si Danimarka, 2’si İtalya, 1’i Hindistan, 1’i Güney Kore, 1’i Hollanda, 1’i Arjantin, 1’i İsveç’te yapımı tamamlanmıştır. 1 projenin yapım yerine dair bilgi bulunamamıştır.

Proje yeri dağılımına bakıldığında ülke çapında en fazla yoğunluğun ABD’de, kıta bazlı en fazla yoğunluğun ise Avrupa’da olduğu görülmektedir. Bu yoğunluğun belirtilen bölgelerde oluşmasında Ecovative gibi malzeme temini sağlayan şirketlerin erişilebilirliğinin ve sürdürülebilir yapı üretimi ile ilgilenen şirketlerin ve üniversitelerin etkisinin olduğu düşünülmektedir.

Tablo 28. İncelenen MBK projelerin yapım yeri ve yılı

	Proje Adı	Proje Yeri	Proje Yılı	ÜT
1	Shell Mycelium	Hindistan	2016	Çerçeveleme
2	From Waste to Biomaterial	Danimarka	2018	
3	Inhabiting Ecologies	Danimarka	2022	
4	Hy-Fi Tower	ABD	2014	Kalıplama
5	MycoTree	Seul, Güney Kore	2017	
6	Mycoarch	St. Cloud, Minnesota, ABD	2017	
7	Modular Mycelia	Stuttgart Üniversitesi, Almanya	2017	
8	Grown Structures	Londra, İngiltere	2017	
9	The Growing Pavilion	Hollanda	2019	
10	The Circular Garden	İtalya	2019	
11	Refugio Fungico	San Carlos de Bariloche, Arjantin	2021	
12	MY-CO SPACE	Metzlerpark Uygulamalı Sanatlar Müzesi, Almanya	2021	
13	La Parete Fungina	Virginia Üniversitesi, ABD	2022	
14	MycoCreate 2.0	Virginia Üniversitesi, ABD	2022	Kalıpsız
15	BioKnit	OME-Newcastle Üniversitesi, İngiltere	2022	
16	Monolito Micelio	Georgia Teknoloji Enstitüsü, ABD	2018	
17	L'Orso Fungino	K-State, ABD	2022	3D Baskı
18	Mycelium Tectonics (Örnek_#3.3.3)	Bologna Üniversitesi, İtalya	2015	
19	Thick and Thin	Georgia Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Okulu, Atlanta, ABD	2018	
20	Pulp Faction-Protomycokion	Lund Üniversitesi, İsveç	2020	3D Baskı
21	Tilted Arch	-	2021	

İncelenen MBK projelerinin üretim yöntemlerine ve yıllara göre dağılımı Şekil 116'da gösterilmektedir. Buna göre, genel olarak incelenen 21 MBK projenin yapımında 2017 ve 2022 yıllarında artış yaşandığı görülmektedir. Üretim yöntemleri arasında en çok kalıplama tekniğinin kullanıldığı, 3D baskı ile üretimin ise son yıllarda geliştiği görülmektedir. Kalıplama tekniğinin daha çok kullanılmasının nedeni olarak geleneksel yapım tekniği ile benzerlik göstermesi sebebiyle üretim yöntemine daha çok hakim olunması gerekçesiyle yaygın olarak tercih edildiği düşünülmektedir. 3D baskı yöntemi ise eklemeli üretimin yapı sektörü alanında yeni bir alan olmasının yanında özellikle miselyum gibi canlı malzemelerin kullanıldığı 3D baskı üretim tekniğinde, farklı parametrelerin dahil olması sebebiyle diğer yöntemlere göre gelişmekte olan bir alan olduğu görülmektedir.



Şekil 116. İncelenen MBK projelerin üretim yöntemlerine ve yıllara göre dağılımı

İncelenen MBK projelerinin proje işlevi, süresi, sürekliliği ve projede MBK'nin işlevine ait genel bilgiler Tablo 29'da gösterilmektedir. Projelerin 9'u pavyon, 9'u yapı elemanı/yapı elemanı prototipi, 2'si enstalasyon ve 1'i konut prototipi işlevindedir. Bu duruma göre büyük ölçekli MBK projelerin daha fazla olduğu söylenebilir.

İncelenen 21 MBK projeden 9'unun yapım süresine ait kesin bir bilgi bulunamadığından kalan 12 MBK proje üzerinden yapım süreleri değerlendirildiğinde; büyük ölçekli projelerde en az 1 ay ile 5 ay arasında, küçük ölçekli projelerde ise en az 6 gün ile 6 hafta arasında değişmektedir. Kurulum süreleri değerlendirildiğinde; büyük ölçekli yapılarda 6 saat ile 1 hafta arasında değişebilirken, küçük ölçekli yapılarda bu süre. L'Orso Fungino'da olduğu gibi 2 saate inebilmektedir. Yapım, kurulum ve üretim sürelerindeki değişkenliğin sebebi olarak proje ölçeğinin yanı sıra üretimde; kullanılan miselyum türünün gelişim süresi ve fiziksel çevre koşulları, kurulumda; bağlantı tekniği, çalışan kişi sayısı ve çevresel faktörlerin etkisinin olduğu söylenebilir.

İncelenen 21 MBK projeden 8'inin proje sürekliliğine ait kesin bir bilgi bulunamadığından kalan 13 MBK proje üzerinden proje sürekliliği değerlendirildiğinde, hepsinin geçici olarak yapıldığı tespit edilmiştir. MBK projelerin genelinin geçici olarak üretilmesinin sebebi, geçici olarak süren etkinlikler için alternatif olarak tasarlanan projelerde kullanımını tamamladığında doğaya dönmesini sağlamak amacıyla ya da deneysel projelerde bilinçli bir şekilde yapıldığı gibi, olumsuz çevre koşulları nedeniyle

yapının çökmesi ya da strüktürün dağılması sonucunda bilinçsiz olarak da gerçekleştirildiği görülmektedir.

Tablo 29. İncelenen MBK projelerinin genel bilgileri

	Proje Adı	Proje İşlevi	Proje Süresi	Proje Kullanım Amacı	Projede MBK'nin İşlevi	ÜT
1	Shell Mycelium	Pavyon	3 Ay	Geçici	Kabuk dolgu elemanı	Çerçeveleme
2	From Waste to Biomaterial	Pavyon	> 6 hafta	Geçici	Kabuk dolgu elemanı	
3	Inhabiting Ecologies	Pavyon	-	Geçici	Kabuk dolgu elemanı	
4	Hy-Fi Tower	Pavyon	-	Geçici	Yapı bloğu	
5	MycoTree	Yapı elemanı	-	-	Yapı bloğu	Kalıplama
6	Mycoarch	Yapı elemanı	> 5 gün	Geçici	Kemer	
7	Modular Mycelia	Yapı elemanı	33 gün	-	Modüler yapı bileşeni	
8	Grown Structures	Pavyon	En az 4 hafta	Geçici	Kabuk strüktür	
9	The Growing Pavilion	Pavyon	1 hafta (kurulum)	-	Cephe paneli	
10	The Circular Garden	Enstalasyon	2 ay	Geçici	Ters katener kemerler	
11	Refugio Fungico	Enstalasyon	30 gün (üretim)	Geçici	Yapı bloğu	
12	MY-CO SPACE	Konut prototipi	5 ay	Geçici	Cephe paneli	
13	La Parete Fungina	Yapı elemanı	~ 1 Ay	Geçici	Yapı bloğu	
14	MycoCreate 2.0	Pavyon	6 saat (kurulum)	Geçici	Yapı bloğu	
15	BioKnit	Pavyon	-	-	Kabuk strüktür	Kalıpsız
16	Monolito Micelio	Pavyon	-	Geçici	Tonoz	
17	L'Orso Fungino	Yapı elemanı	6 hafta	Geçici	Duvar ünitesi	
18	Mycelium Tectonics (Örnek_#3.3.3)	Yapı elemanı prototipi	-	-	Kolon	
19	Thick and Thin	Yapı elemanı	-	-	Kemer	3D Baskı
20	Pulp Faction-Protomycokion	Yapı elemanı	-	-	Kolon modülü	
21	Tilted Arch	Yapı elemanı	-	-	Katener kemer	

İncelenen 21 projede MBK'nin işlevi; yapı bloğu, cephe paneli, duvar ünitesi gibi yapı bileşeni, kabuk dolgu elemanı ve modüler yapı bileşeni gibi strüktürel olmayan yapı elemanı, kolon, tonoz ve kemer gibi strüktürel yapı elemanı ya da yapı bloğu olarak değişkenlik göstermektedir. Tablo 29'a bakıldığında, MBK'nin yapı bileşeni ve yapı elemanı olarak

üretimin daha yaygın olmasının sebebinin MBK malzemenin küçük alanlarda ve kontrollü ortamlarda daha sağlıklı sonuç vermesi olduğu düşünülmektedir.

3.2. İncelenen MBK Projelerin Üretim Teknikleri ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında bu bölümde; çerçeveleme tekniği, kalıplama tekniği, kalıpsız üretim ve 3D baskı yöntemi ile ilgili bulgular ve tartışmalar açıklanmaktadır.

3.2.1. Çerçeveleme Tekniği ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında seçilen örneklem grubu içerisinde çerçeveleme tekniği kullanılarak üretilen 3 MBK projenin çerçeve bilgileri Tablo 30’da gösterilmektedir. Buna göre incelenen 3 MBK proje, ahşap rijit ızgara çerçeve sistem yöntemiyle üretilmiştir. Projelerden 2’sinin çerçeve formu üçgen, diğerinin ise çokgen biçimindedir. Çerçeve boyutları değerlendirildiğinde; Shell Mycelium projesinin 5x5 cm en kesitine sahip ahşap kirişlerden oluşturulduğu, Inhabiting Ecologies projesinde ise değişken çerçeve boyutlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Diğer projenin çerçeve boyutlarına ait kesin bir bilgi bulunamamıştır. Ancak çerçeve boyutları, çerçeve olarak kullanılan malzemenin boyutları ile ilgili olduğundan MBK üretim ölçeğine etkisi tasarım kararları bağlamında gerçekleşmektedir. Panel ya da modüler sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşturulacak yüzey sistemlerinde daha küçük boyutlar, monolitik kabuk ya da örtü birimlerinin oluşturulması için ise daha büyük boyutlar tercih edilmektedir.

Tablo 30. Çerçeveleme tekniği kullanılarak üretilen MBK projelerin çerçeve bilgileri

	Proje Adı	Çerçeve Sistemi	Çerçeve Malzemesi	Çerçeve Formu	Çerçeve Boyutları
1	Shell Mycelium	Rijit Izgara	Ahşap	Üçgen	5x5 cm kiriş
2	From Waste to Biomaterial	Rijit Izgara	Ahşap	Üçgen	-
3	Inhabiting Ecologies	Rijit Izgara	Ahşap	Çokgen	Değişken

3.2.2. Kalıplama Tekniği ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında seçilen örneklem grubu içerisinde kalıplama tekniği kullanılarak üretilen 14 MBK projenin kalıp bilgileri

Tablo 31’de gösterilmektedir. Buna göre projelerden 11’inde rijit kalıp malzemesinin kullanımı sebebiyle kalıp sınırlarının değişmediği statik kalıplama, 1’inde esnek kalıp malzemesinin kullanımı sebebiyle kalıp sınırlarının zaman içerisinde iç veya dış etkenlerden etkilenerek değiştiği esnek kalıplama, 2’sinde ise rijit ve esnek malzemelerinin birlikte kullanıldığı hibrit kalıplama türü tercih edilmiştir.

Projelerin 7’sinde ahşap, 6’sında plastik esaslı, 2’sinde yapay tekstil, 1’inde doğal tekstil, 1’inde pamuklu bandaj ve 1’inde bristol kağıt kalıp malzemesi olarak kullanılmıştır. Kalıp malzemelerinde ahşap ve plastik malzemenin daha çok tercih edildiği görülmüştür. Ancak ahşap malzeme kullanımında eğer vernik gibi hammaddeyi koruyan bir katman yoksa sterilizasyon yetersizliğinden dolayı kontaminasyon riskleri ortaya çıktığından plastik esaslı malzemelerin kullanımı ikincil seçenek haline gelmektedir. Diğer yandan plastik ve koruyucu katmana sahip ahşap malzemelerin doğal olmayan madde içermesi sebebiyle pamuklu bandaj ve yüksek oranda doğal hammaddeden oluşan bristol kağıt gibi geri dönüştürülebilir malzemelerin kalıp olarak kullanıldığı görülmüştür. Esnek kalıp malzemesi kullanımı değerlendirildiğinde, yapay tekstil malzemelerinin geçici kalıp olarak kullanıldığı durumlarda, organik tekstil malzemelerinin ise kalıcı kalıp olarak kullanıldığı durumlarda tercih edildiği gözlemlenmiştir.

İncelenen projelerin kalıp formlarının 4’ünde özel şekil, 3’ünde dikdörtgen, 2’sinde silindirik, 1’inde yarı silindirik, 1’inde küresel, 1’inde V şekli, 1’inde altıgen, 1’inde çokgen ve 1’inde parabolik eğri tercih edilmiştir. Statik kalıplarda düzenli sıfır eğrilikli açılabilir formlar ve düzenli pozitif eğrilikli küresel formlar oluşturulurken esnek kalıplarda bu formlardan farklı olarak negatif ve pozitif arasında değişen eğriliğe sahip serbest formlar da oluşturulabilmektedir.

Projelerin kalıp boyutları; kalıp formu, kalıp malzemesi ve MBK’nin projedeki işlevine göre değişkenlik göstermektedir. İşlev bazında değerlendirildiğinde, geleneksel tuğla ve cephe panelleri ile karşılaştırılabilir seviyede olmasına karşın duvar gibi strüktürel taşıyıcı özelliği bulunan ve yatay yüklere karşı hassas olan yapı elemanlarının üretilmesinde modüler sistem tercih edildiğinden daha küçük boyutların kullanıldığı belirlenmiştir.

Tablo 31. Kalıplama tekniği kullanılarak üretilen MBK projelerin kalıp bilgileri

	Proje Adı	Kalıplama Türü	Kalıp Malzemesi	Kalıp Formu	Kalıp Boyutları
1	Hy-Fi Tower	Statik kalıplama	Termoform plastik kalıp	Özel şekil	Değişken
2	MycoTree	Statik kalıplama	-	Özel şekil	Değişken
3	Mycoarch	Statik kalıplama	PVC boru ve plastik membran	Parabolik eğri	-
4	Modular Mycelia	Statik kalıplama	Şeffaf plastik	Küresel	40 mm
5	Grown Structures	Statik kalıplama	Pamuklu bandaj	Silindirik	-
6	The Growing Pavilion	Statik kalıplama	Ahşap	Dikdörtgen	200 x 60 cm
7	The Circular Garden	Statik kalıplama	Plastik	Yarı Silindirik	-
8	Refugio Fungico	Statik kalıplama	Ahşap ve plastik	Dikdörtgen	10 x 20 x 10 cm
9	MY-CO SPACE	Statik kalıplama	Ahşap	Altıgen	60mm derinlik x 4mm kalınlık
10	La Parete Fungina	Statik kalıplama	Ahşap	Dikdörtgen ve V şekli	1200 x 150 x 70 mm
11	MycoCreate 2.0	Statik kalıplama	Bristol kâğıt ve akrilik levha	Çokgen	Max. 30cm çap ve 40cm uzunluk
12	BioKnit	Esnek kalıplama	Merinos yünü ve keten	Silindirik	~2m uzunluk x 45-76mm değişken çap
13	Monolito Micelio	Hibrit kalıplama	Naylon jeotekstil ve kontrplak	Özel	Değişken
14	L'Orso Fungino	Hibrit kalıplama	Sentetik jeotekstil, ahşap ve plastik	Özel	750mm en x 750mm boy

3.2.3. Kalıpsız Üretim ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında seçilen örneklem grubu içerisinde kalıpsız üretilen 2 MBK projede miselyumun, belirlenen substrat biçimi üzerinde yetiştirilmesiyle MBK strüktür oluşturulmuştur. Esnek malzemenin substrat olarak kullanılması durumunda substratın şekillendirilmesini sağlamak için bazı rijit plaka benzeri bağlantı araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Rijit malzemenin substrat olarak kullanımında ise miselyumun üzerinde yetiyeceği ve biçimini kazanabileceği substrattan oluşturulan bir iç yapı iskeleti oluşturulmaktadır.

Kalıpsız üretim yönteminde esnek substrat kullanımı MBK'nin istenilen formda üretilmesi bağlamında rijit substrat kullanımına göre daha olumlu sonuçlar vermektedir. Bu durumun miselyumun rijit substrat kullanımında iç iskeleti dolduran ve saran bir konumda olması sebebiyle dış yüzeyde miselyumun kolonizasyon davranışına bağlı olarak kontrol dışında gelişimin göstermesine karşın esnek substrat kullanımında belirlenen rota üzerinde

yetiştirilmesine izin verilmesi sebebiyle miselyum kolonizasyon davranışının tahmin edilebilir düzeyde olmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

3.2.4. 3D Baskı Yöntemi ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında seçilen örneklem grubu içerisinde 3D baskı yöntemi kullanılarak üretilen 2 MBK projenin teknik bilgileri Tablo 32’de gösterilmektedir. Buna göre üretilen projelerin her ikisi de eklemeli üretim metodu ile üretilmiştir. Projelerde ekstrüdere takılan nozül kalınlığı 3,5 mm ve 9 mm; ekstrüder kullanılarak oluşturulan her bir MBK katmanının yüksekliği ise 1,5 mm ve 18 mm’dir. Yüksek çözünürlüğün istenildiği durumlarda daha düşük viskoziteye sahip MBK macunu kullanıldığında daha küçük çapa sahip nozül başlığı, yüksek viskoziteye sahip MBK macununun kullanıldığı durumlarda daha büyük çapa sahip nozül başlığı kullanılmaktadır. MBK katman yüksekliğinde ortaya çıkan farklılığın sebebinin nozül kalınlığı ve MBK yoğunluğu olduğu düşünülmektedir. İncelenen projelerde miselyum-substrat karışımından istenilen viskozitenin elde edilmediği durumlarda optimum viskoziteye sağlamak için koyulaştırıcı madde veya guar sakızı gibi katkı malzemelerinin kullanıldığı görülmüştür.

Tablo 32. 3D baskı yöntemi kullanılarak üretilen projelerin teknik bilgileri

	Proje Adı	Dijital Üretim Türü	Nozül Kalınlığı	Katman Yüksekliği	Katkı Malzemeleri
1	Pulp Faction-Protomycokion	Eklemeli Üretim	3,5 mm	1,5 mm	Koyulaştırıcı madde
2	Tilted Arch	Eklemeli Üretim	9 mm	18 mm	Guar sakızı

3.3. İncelenen MBK Projelerinin Üretim Akışları ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında seçilen örneklem grubu içerisinde incelenen 21 MBK projenin üretim akışları Tablo 33’te gösterilmektedir. Buna göre, projelerin 6’sında *P. ostreatus*, 4’ünde *Ganoderma lucidum*, 1’inde *Fomes fomentarius* ve 1’inde *B.corium* ve *Gloeophyllum sp.* miselyumları kullanıldığı tespit edilirken diğer 9 projede hangi miselyum türünün kullanıldığına dair kesin bir ifade bulunamamıştır. Ancak genel olarak Basidiomycota filumuna ait beyaz çürükçül mantarların MBK üretiminde yaygın olarak kullanıldığını söylemek mümkündür.

Projelerde kullanılan substrat türleri değerlendirildiğinde, projelerin 9'unda kenevir, 4'ünde talaş, 2'sinde mısır bazlı atıklar, 2'sinde kahve telvesi, 2'sinde kağıt, 1'inde şeker kamışı ve manyok, 1'inde tohum, 1'inde saman ve karton, 1'inde küspe, 1'inde hindistan cevizi kabuğu, 1'inde tekstil, 1'inde biyoplastik, 1'inde kaolin kili, 1'inde buğday kepeği, 1'inde psilyum kabuğunun kullanıldığı görülmektedir. Projelerin çoğunluğunda substrat olarak kenevirin kullanılmasında etkili olan sebeplerden birinin kenevirin; kozmetik, ilaç, makine ve boya, tekstil, kağıt, otomotiv ve inşaat gibi pek çok sanayi alanında yaygın olarak kullanılması (Göre & Kurt, 2021) sebebiyle ortaya çıkan kenevir atıklarının malzeme temini açısından kolaylık sağlaması ve malzemenin yeniden değerlendirilmesinin sistem içerisinde geri dönüşüme katkıda bulunması olduğu düşünülmektedir. Genellikle substrat seçimlerinde, yerel atık kullanımının ve malzeme teminindeki elverişliliğin etkili olduğu söylenebilir. Ancak 3D baskı ile üretilen MBK projelerde kullanılan substrat seçim kriterlerinin bu genellemeden ayrıldığı görülmektedir. Çünkü 3D baskı için elde edilmesi gereken optimum viskoziteyi sağlamak amacıyla, daha çok öğütülebilen ve toz halindeki substratlar MBK üretiminde öncelikli olarak tercih edilmektedir.

13 projenin sterilizasyon yöntemine ait bilgi bulunamazken diğer 8 projenin 7'sinde otoklavlama, 1'inde ise pastörizasyon yöntemi kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu duruma göre, MBK üretiminde substrat boyutlarının küçük parçalardan oluştuğu projelerde otoklavlama, yüzeysel olarak daha büyük alan kaplayan büyük parçalardan oluşan projelerde ise pastörizasyon yönteminin kullanıldığı düşünülmektedir.

Tek, iki ya da üç aşamada büyütülen projelerin toplam kolonizasyon süresi 4 gün ile 7 hafta arasında değişmektedir. Kolonizasyon süresinin bu kadar geniş makas aralığına sahip olmasında; kullanılan miselyum türünün seçilen substrat üzerindeki gelişme yoğunluğu ve hızı, çevresel faktörler, miselyumun önceden aşılınıp aşılınmadığı ve aşılama yönteminin etkili olduğu düşünülmektedir.

Kurutma yöntemine dair kesin bilgi edinilen 15 projenin 11'i havayla kurutma, 4'ü ise konvektif yöntemi kullanılarak kurutulmuştur. Kurulum aşaması sahada gerçekleştirilen ve büyük ölçekli projelerin kurutma işlemi fırın gibi boyut sınırlaması olan araçlarda gerçekleştirilemediğinden havayla kurutma yönteminin tercih edildiği görülmüştür. Havayla kurutma yöntemi kullanılan projeler birkaç gün ile 22 gün arasında, konvektif yöntemi kullanılan projeler 24-48 saat arasında kurutulmuşlardır. Havayla kurutma yönteminde dışarıdan ısı işlem uygulanmadığı için havayla kurutulan MBK projeler, konvektif yöntemle kurutulan projelere göre daha fazla sürede kurutulmaktadır.

Tablo 33. İncelenen projelerin MBK üretim akışları

	Proje Adı	Miselyum/ Substrat Türü	Sterilizasyon Yöntemi	Kolonizasyon Süresi	Kurutma Yöntemi/Süresi	ÜT
1	Shell Mycelium	-/Hindistan cevizi kabuğu	-	Birkaç gün	Havayla kurutma/-	Çerçeveleme
2	From Waste to Biomaterial	<i>P. ostreatus</i> / kahve telvesi ve kenevir keçesi	Pastörizasyon	3+3 hafta	Havayla kurutma/-	
3	Inhabiting Ecologies	- / kahve telvesi, talaş ve tekstil	-	-	Havayla kurutma/-	
4	Hy-Fi Tower	-/Mısır sapları	-	5 gün	-/-	
5	MycoTree	<i>Ganoderma Lucidum</i> /Şeker kamışı ve manyok	Otoklavlama	8-12+6-9 gün	Isı ile (konvektif) kurutma/24-48 saat	
6	Mycoarch	Ecovative GIY kit/mısır kabuğu	-	5 gün	Havayla kurutma/Birkaç gün	Kalıplama
7	Modular Mycelia	<i>P. ostreatus</i> / tohum	Otoklavlama	4+4 gün	-	
8	Grown Structures	<i>P. ostreatus</i> / Saman ve karton	-	2-4 hafta	-	
9	The Growing Pavilion	<i>Ganoderma lucidum</i> / kenevir	-	1 hafta	Isı ile (konvektif) kurutma/ 48 saat	
10	The Circular Garden	-	-	3 hafta	-/ 3 hafta	
11	Refugio Fungico	<i>Ganoderma Lucidum</i> / küspe (arpa taneleri) ve talaş	-	-	Havayla kurutma/-	
12	MY-CO SPACE	<i>Fomes fomentarius</i> / kenevir	Otoklavlama	2+2+2 hafta	Isı ile (konvektif) kurutma/48 saat	
13	La Parete Fungina	<i>Basidiomycota filumundan bir mantar</i> / kenevir	-	2 hafta	Havayla kurutma/~ 1 hafta	
14	MycoCreate 2.0	<i>Pleurotus ostreatus</i> / kenevir ve psilyum kabuğu	-	-	Isı ile (konvektif) kurutma/-	
15	BioKnit	<i>Ganoderma lucidum</i> / kayın talaşı	Otoklavlama	10+13 gün	Havayla kurutma/ 22 gün	
16	Monolito Micelio	-/ kenevir	-	4+2 gün	Havayla kurutma/-	Kalıpsız
17	L'Orso Fungino	<i>Basidiomycota filumundan bir mantar</i> / kenevir	-	4 gün	Havayla kurutma/~ 2 hafta	
18	Mycelium Tectonics (Örnek #3.3.3)	<i>P. ostreatus</i> / kenevir + biyoplastik	Otoklavlama	30 gün	Havayla kurutma/-	
19	Thick and Thin	-/kenevir	-	4 gün	Havayla kurutma/ Birkaç hafta	

Tablo 33'ün devamı

20	Pulp Faction- Protomycokion	<i>B.corium</i> , <i>Gloeophyllum</i> <i>sp.</i> /ince talaş, kağıt hamuru ve kaolin kili	Otoklavlama	-	-/-	3D Baskı
21	Tilted Arch	<i>P. ostreatus</i> / kağıt ve buğday kepeği	Otoklavlama	2+5+1 hafta	-/-	

3.4. İncelenen MBK Projelerinin Bağlantı Teknikleri ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında seçilen örneklem grubu içerisinde incelenen 21 MBK projenin MBK bağlantı teknikleri

Tablo 34'te gösterilmektedir. Buna göre projelerin 10'unda kaynaklı birleşim, 3'ünde bağlama, 2'sinde yapıştırma, 1'inde plaka ve dübel, 1'inde profil plaka, 1'inde bulon ve 1'inde çivi bağlantı türü kullanılırken 1 projede monolitik döküm sebebiyle herhangi bir bağlantı aracı kullanılmamıştır.

Kaynaklı birleşim yöntemi, MBK'nin organik malzemeden oluşan çerçeve ya da kalıp ile bütünleşmesi istendiğinde veya üst üste yığılan MBK bileşenlerin birleştirilmesi istendiğinde kullanıldığı görülmüştür. Yapıştırma yöntemi, çerçeve ile MBK arasında arayüz elemanların olduğu durumlarda veya yığma yapım sistemine göre dizilen MBK bileşenleri birbirine kenetlemek amacıyla kullanılmıştır. Bağlama yöntemi, çerçevenin strüktür olarak davranılması istenildiğinde, strüktür sürekliliği istenildiğinde veya MBK bileşenlerinin kayma direncini artırmak amacıyla kullanılmıştır. Plaka, dübel, çivi ve bulon gibi bağlantı araçlarının kullanıldığı bağlantı yöntemi ise, MBK'ye entegre arayüzler arasında, MBK ile zemin arasında, MBK bileşenleri arasında ve MBK ile strüktür arasında doğrudan ya da dolaylı olarak kullanılmıştır.

Yapıştırma yönteminde harç ve alg bazlı biyopolimer, bağlama yönteminde kenevir ip, plastik kablo bağı ve çelik kablo, plaka, dübel ve çivi gibi bağlantı elemanlarının kullanıldığı bağlantı yöntemlerinde bambu, ahşap ve metal malzeme kullanılmıştır. Kaynaklı birleşimde kullanılan miselyumdan sonra en çok kullanılan bağlantı malzemesinin metal olması, geleneksel yapı üretiminde alışlagelen bağlantı araçlarına daha çok hakim olunması sebebiyle açıklanabilir. Ancak aynı bağlantı türlerinde hem organik hem de

inorganik malzemelerin kullanımının görülmesi, geleneksel bağlantı araçlarına karşı alternatif doğal malzemelerle çözüm arayışının olduğu düşünülmektedir.

Tablo 34. İncelenen projelerin MBK bağlantı teknikleri

	Proje Adı	Bağlantı Türü	Bağlantı Malzemesi	ÜT
1	Shell Mycelium	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)	Miselyum	Çerçeveleme
2	From Waste to Biomaterial	Bağlama	Kenevir ip	
3	Inhabiting Ecologies	Yapıştırma	Alg bazlı biyopolimer	
4	Hy-Fi Tower	Yapıştırma	Harç	
5	MycoTree	Plaka ve dübel	Bambu ve ahşap	
6	Mycoarch	Yok	Yok	
7	Modular Mycelia	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)	Miselyum	
8	Grown Structures	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)	Miselyum	Kalıplama
9	The Growing Pavilion	-	Metal	
10	The Circular Garden	Bağlama, profil plaka	Kenevir ip, metal profil	
11	Refugio Fungico	Bulon	Metal	
12	MY-CO SPACE	Çivi	Metal	
13	La Parete Fungina	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)	Miselyum	
14	MycoCreate 2.0	Bağlama	Plastik kablo bağı	
15	BioKnit	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)	Miselyum	Kalıpsız
16	Monolito Micelio	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)	Miselyum	
17	L'Orso Fungino	Bağlama	Çelik kablo	
18	Mycelium Tectonics (Örnek #3.3.3)	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)	Miselyum	
19	Thick and Thin	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)	Miselyum	
20	Pulp Faction- Protomycokion	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)	Miselyum	
21	Tilted Arch	Kaynaklı birleşim (Myco-welding)	Miselyum	3D Baskı

3.5. İncelenen MBK Projelerin Strüktürel Kurguları ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında seçilen örneklem grubu içerisinde incelenen 21 MBK projenin strüktürel kurguları Tablo 35'te gösterilmektedir. İncelenen yapıların 8'inde form aktif strüktür sistem, 5'inde yığma yapım sistemi, 4'ünde vektör aktif strüktür sistem, 3'ünde kesit aktif strüktür sistemi, 1'inde yüzey aktif strüktür sistemi, 1'inde hiperboloid strüktür birleşimi ve 1'inde serbest formlu strüktür sistemi kullanılmıştır. Buna göre seçilen projelerde genellikle modern strüktür sistemlerinin tercih edildiği görülmektedir. Seçilen

projeler strüktür malzemesi bağlamında değerlendirildiğinde 16 projede MBK, 7 projede ahşap ve 1 projede bambu strüktür malzemesi olarak kullanılmıştır.

Tablo 35. İncelenen MBK projelerinin strüktürel kurguları

	Proje Adı	Strüktür Türü	Çalışma Prensibi	Strüktür Malzemesi	ÜT
1	Shell Mycelium	Vektör aktif strüktür-Kavisli giriş sistem	Basınca çalışan strüktür	Ahşap	Çerçeveleme
2	From Waste to Biomaterial	Form aktif strüktür-Kablo sistem	Basınca çalışan strüktür	Ahşap	
3	Inhabiting Ecologies	Vektör aktif strüktür-Uzay kafes sistem	Basınca çalışan strüktür	Ahşap	
4	Hy-Fi Tower	Hiperboloid strüktür birleşimi	Düşey ve yatay yük taşıyıcı	Ahşap ve MBK	Kalıplama
5	MycoTree	Vektör aktif strüktür-Kavisli kafes giriş sistem ve Kesit aktif strüktür-Kiriş kafes sistem	Basınca çalışan strüktür	MBK ve Bambu	
6	Mycoarch	Form aktif strüktür-Kemer sistemi	Basınca çalışan strüktür	MBK	
7	Modular Mycelia	Yığma yapım sistemi	Basınca çalışan strüktür	MBK	
8	Grown Structures	Yüzey aktif strüktür-Kabuk sistem	Basınca çalışan strüktür	MBK	
9	The Growing Pavilion	Kesit aktif strüktür-Çerçeve sistem	Basınca çalışan strüktür	Ahşap	
10	The Circular Garden	Form aktif strüktür-Kemer sistemi	Basınca çalışan strüktür	MBK	
11	Refugio Fungico	Kesit aktif strüktür-Çerçeve sistem ve Yığma yapım sistemi	Basınca çalışan strüktür	Ahşap ve MBK	
12	MY-CO SPACE	Form aktif strüktür-Tonoz sistemi	Basınca çalışan strüktür	Ahşap	
13	La Parete Fungina	Yığma yapım sistemi	Basınca çalışan strüktür	MBK	
14	MycoCreate 2.0	Vektör aktif strüktür-Kavisli kafes giriş sistem	Basınca çalışan strüktür	MBK	
15	BioKnit	Form aktif strüktür-Kubbe sistemi	Basınca çalışan strüktür	MBK	
16	Monolito Micelio	Form aktif strüktür-Tonoz sistemi	Basınca çalışan strüktür	MBK	
17	L'Orso Fungino	Yığma yapım sistemi	Basınca çalışan strüktür	MBK	
18	Mycelium Tectonics (Örnek_#3.3.3)	Serbest formlu strüktür	Basınca çalışan strüktür	MBK	Kalıpsız
19	Thick and Thin	Form aktif strüktür-Kemer sistemi	Basınca çalışan strüktür	MBK	
20	Pulp Faction-Protomycokion	Yığma yapım sistemi	Basınca çalışan strüktür	MBK	3D Baskı
21	Tilted Arch	Form aktif strüktür-Tonoz sistemi	Basınca çalışan strüktür	MBK	

MBK'nin strüktür malzemesi olarak kullanıldığı projelerin 6'sında form aktif strüktür sistemi, 5'inde yığma yapım sistemi, 2'sinde vektör aktif strüktür sistemi, 1'inde hiperboloid strüktür birleşimi, 1'inde yüzey aktif strüktür sistemi ve 1'inde serbest formlu strüktür sistemi tercih edilmiştir. MBK'nin genel olarak sıkıştırma mukavemetleri eğilme dayanımlarına göre yüksek olması sebebiyle MBK'nin strüktür malzemesi olarak kullanılan projelerde sıkıştırma prensibine dayalı yüklerin sürekli olarak aktarıldığı stereotomik strüktür sistemlerinin (Baeza, 2020) ve basınç odaklı çalışan yığma yapım sisteminin tercih edildiği düşünülmektedir.

Çerçeveleme sistemiyle üretilen MBK projelerde çerçeve sistem strüktür olarak değerlendirildiğinden bu gruptaki tüm projelerin strüktür malzemesi ahşaptır. Kalıplama sistemiyle üretilen MBK projelerde MBK, ahşap ve bambu strüktür malzemesi olarak kullanılabilmesine karşın kalıpsız ve 3D baskı ile üretilen projelerin hepsinde sadece MBK strüktür malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu durumun nedeninin aslında üretim sistemlerinin altında yatan felsefe olduğu düşünülmektedir. Kalıpsız ve 3D baskı ile üretim yöntemlerinin, MBK üretiminde çerçeve ya da kalıp gibi ek malzeme kullanımını azaltmak veya yok etmek amacıyla sadece MBK'nin strüktürel kurguyu oluşturması fikrinden ortaya çıktığı düşünüldüğünden dolayısıyla bu yapım sistemlerinde sadece MBK strüktür malzemesi olarak kullanılmıştır.

3.6. İncelenen MBK Projelerde Kullanılan Araç ve Gereçler ile İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında seçilen örneklem grubu içerisinde incelenen 21 MBK projede kullanılan araç ve gereçler Tablo 36'da gösterilmektedir. Buna göre projelerin 15'inde dijital tasarım araçları kullanılmıştır. Bu araçlar arasında; Rhino, Grasshopper, VR gözlük, Kangaroo2, Shima Seiki Apex3 ve RhinoVault gösterilebilir. Projelerin çoğunda Rhino ve Grasshopper yazılım araçları tercih edilmiştir. Bu durumun sebebinin yazılım araçlarının çoğunun MBK projelerinin parametrelere bağlı form bulma sürecinde kullanılmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

MBK üretim aşamasında 3D baskıyla üretilen MBK projeler hariç geleneksel üretim gereçleri kullanılmıştır. 3D baskıyla üretilen MBK projeler, hesaplamalı tasarıma araçlarıyla form bulma süreci tamamlandıktan sonra tasarımın 3D olarak basılması için PCR eklentisi gibi bir yazılım aracılığıyla formun yol olarak tanımlandığı G koduna dönüştürülmesiyle Vormvrij Lutum v4 gibi 3D yazıcı veya özelleştirilmiş ekstrüder kullanılarak

üretilmektedirler. Projelerde kullanılan CNC, lazer kesici ve su jeti gibi diğer üretim gereçleri MBK dışında rijit malzemelerin şekillendirilmesi için kullanılmıştır. BioKnit projesinde kullanılan 12 gg Shima Seiki SSR122 dikiş makinesi ise tekstil kalıbın oluşturulması amacıyla kullanılmıştır.

Tablo 36. İncelenen MBK projelerde kullanılan araç ve gereçler

	Proje Adı	Tasarım Aracı	Üretim Gereci	ÜT
1	Shell Mycelium	-	Geleneksel	Çerçeveleme
2	From Waste to Biomaterial	-	Geleneksel	
3	Inhabiting Ecologies	Parametrik modelleme	Geleneksel	
4	Hy-Fi Tower	Bilgisayar destekli tasarım	Geleneksel	
5	MycoTree	3D modelleme	Geleneksel ve CNC	
6	Mycoarch	3D modelleme	Geleneksel	Kalıplama
7	Modular Mycelia	Prototipolojik geliştirme	Geleneksel	
8	Grown Structures	-	Geleneksel	
9	The Growing Pavilion	-	Geleneksel	
10	The Circular Garden	Geleneksel	Geleneksel	
11	Refugio Fungico	Rhino, Grasshopper, VR gözlük	Geleneksel	
12	MY-CO SPACE	Rhino, Grasshopper	Geleneksel ve Lazer kesici	
13	La Parete Fungina	Rhino, Grasshopper	Geleneksel	
14	MycoCreate 2.0	Dijital tasarım araçları	Geleneksel, lazer kesici ve su jeti	
15	BioKnit	Grasshopper, Kangaroo2, Shima Seiki Apex3	Geleneksel, 12 gg Shima Seiki SSR122 dikiş makinesi	
16	Monolito Micelio	Hesaplamalı tasarım	Geleneksel, CNC	Kalıpsız
17	L'Orso Fungino	Rhino, Grasshopper	Geleneksel, CNC	
18	Mycelium Tectonics (Örnek_#3.3.3)	Dijital simülasyon	Geleneksel, lazer	
19	Thick and Thin	RhinoVault	Geleneksel, Lazer	
20	Pulp Faction-Protomycokion	Gray-Scott modeline dayalı dijital simülasyon	Vormvrij Lutum v4	
21	Tilted Arch	Hesaplamalı tasarım	Özelleştirilmiş ekstrüder, PRC eklentisi	3D Baskı

Projelerde kullanılan tasarım ve üretim gereçleri ihtiyaca göre değişkenlik göstermektedir. Form bulma sürecinde Grasshopper yazılımının yanı sıra Kangaroo2 ve RhinoVault gibi eklentilerin de kullanılması tek bir yazılımın her projede gerekli olan

ihtiyacı karşılayamadığını göstermektedir. Ayrıca yazılım araçlarında iki boyutlu deneyimlenen tasarım sürecinin VR gözlük gibi üç boyutlu kişisel deneyim sunan tasarım aracıyla desteklenmesi de yazılım araçlarının tek başına yeterli karşılanmadığının göstergesidir. Üretim gereçlerinin ise malzemeye göre değişkenlik göstermesi, MBK proje üretiminde yapı sektöründe kullanılan araçlar dışında, biyoteknoloji ve tekstil gibi farklı alanlar ile de iş birliği içinde olunması gerektiğini göstermektedir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyadaki iklim krizi, atık oluşumundaki kontrolsüz artış ve hammadde yetersizliği sorunlarının önemli bir bölümünden sorumlu olan yapı sektörü, bu sorunları çözebilmek için yeni malzeme ve üretim yöntemleri arayışına girmiştir. Yapı sektörüne kazandırılmaya çalışılan yeni malzemelerden biri olan MBK'ler üzerine son yıllarda yapı sektöründe ve akademik bağlamda pek çok deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda MBK'lerin yapı malzemesi, yapı elemanı ve strüktür olarak üretilebileceği ve geleneksel yapım sistemlerine entegre edilerek ya da iş birliği içerisinde uyumlu bir şekilde çalışarak yapı üretim sisteminin kendisini oluşturabileceği görülmüştür.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen literatür ve analiz çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar;

- MBK malzemeler ile ilgili genel sonuçlar ve
- İncelenen MBK projeleri ile ilgili sonuçlar olmak üzere iki alt başlık altında açıklanmıştır.

4.1. MBK Malzemeler ile İlgili Genel Sonuçlar

MBK'ler biyokompozit malzeme sınıfında yer aldıklarından mimarlık ve inşaat alanlarının yanında biyoteknoloji ve mikoloji gibi alanlarının da dahil olduğu disiplinler arası iş birliği çerçevesinde üretilmeleri gerekmektedir.

MBK'lerin üretim süreçleri, yapı sistemi içerisinde yer alacak işlevlerine ve üretim yöntemlerine göre değişkenlik göstermektedir. MBK üretim akışında kullanılacak malzemelerin standartlaşmış bir ölçü veya kullanım prosedürleri henüz bulunmamaktadır. Çünkü MBK üretim akışında malzeme özelliklerini etkileyen çevresel, fiziksel ve kimyasal birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden herhangi biri farklı olursa oluşturulacak MBK ürün de farklı olacaktır. Ayrıca bu parametrelerdeki değişiklik, her miselyum veya substrat türlerinde aynı etkiyi göstermemesi sebebiyle kendi içlerinde de farklı olası kombinasyonlar oluşturmaktadır. Tüm bu değişkenlik evreni içerisinde deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular sonucunda ortak çıkarımlar belirli sınırlar çizerek ortak kesişim kümelerini oluşturmakta ve MBK üretiminde verimliliği sağlayan sabitler ortaya çıkmaktadır. Böylece MBK üretiminde elde edilen sabitler sonucunda kontrol altına alınan

üretim sistemi, yapı sektöründe; MBK'den oluşan cephe paneli, akustik panel, döşeme, duvar paneli ve yalıtım paneli gibi mimari yapı malzemeleri ve yapı elemanlarının endüstriyel olarak üretimine imkan tanımıştır.

MBK'lerin yapı sektöründe endüstriyel alanda ilerlemesi, miselyum-substrat temini sağlayacak şirketlerin kurulmasını da sağlamıştır. Bu şirketler daha çok Amerika ve Avrupa'da yer almaktadır.

MBK üretiminin başarısı; malzemenin yapısal bütünlüğünün korunması, kolonizasyonun her noktada eşit derecede gerçekleşmesi, substrat miktarı/miselyum oranının her noktada aynı olabilmesi ve malzemenin yapısal özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek herhangi bir kontaminasyonun bulunamaması gibi ölçütlere bağlıdır. Bu ölçütler değerlendirildiğinde, MBK'lerin üretimi daha çok miselyumun davranışı üzerine odaklanmakta ve tüm parametreler kullanılan miselyum üzerinden değişmektedir. Miselyum davranışı dışında etkili olan diğer önemli etkenler, çevresel koşullar ve sterilizasyon ile ilgilidir.

MBK'ler ısı ve ses yalıtımı açısından yüksek performans sergilemekte ve yangına karşı oldukça dayanıklı malzemelerdir. Ancak boşluklu yapılarından ve hidrofilik doğal lif takviye içeriklerinden dolayı yüksek su emilimi gerçekleştirdikleri için ıslak mekanlarda veya dış ortamda kullanımında biyobazlı reçine veya kaplama gibi son işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. MBK'ler statik açıdan değerlendirildiğinde genel olarak yüksek basınç dayanımına, düşük eğilme dayanımında sahip olduklarından daha çok sıkıştırılmalı strüktür sistemlerinde kullanılmaktadır.

MBK'ler ısı ile preslenerek homojenliğinin, mukavemetinin ve sertliğinin iyileştirilmesiyle diğer doğal malzemelerle benzer yoğunluğa ve yüksek elastik modüle sahip olduğundan levha işlevinde yapı elemanı olarak kullanılabilirler.

MBK'lerin üretimi, yerel hammadde kullanımının gerçekleştirilmesi ve konvektif kurutma ve presleme gibi ısı işlemlerin uygulanmaması durumunda düşük maliyet ve düşük enerji tüketimi gerektirmektedir.

4.2. İncelenen MBK Projeleri ile İlgili Sonuçlar

MBK üretim yöntemleri; çerçeveleme, kalıplama, kalıpsız ve 3D baskı olmak üzere 4'e ayrılmaktadır. Kalıplama yöntemi ise kendi arasında statik, esnek ve hibrit olmak üzere 3'e ayrılmaktadır.

Çerçeveleme ve statik kalıplama yöntemlerinde kullanılan malzemeler rijit olduklarından oluşturulan MBK'nin formu genellikle düzlemsel ya da doğrusal olmaktadır. Esnek kalıplama ve 3D baskı yönteminde MBK formu destek elemanlarla veya yazılım araçlarıyla kontrollü olarak eğrisel oluşturulabilmektedir. Kalıpsız üretim yönteminde ise MBK formunun kontrolü miselyum davranışı ve substrat doğrultusu tarafından gerçekleştirilmektedir.

En çok tercih edilen MBK üretim yöntemi olan kalıplama yönteminde diğer üretim yöntemlerine kıyasla boyut sınırlaması vardır. Seçilen kalıp boyutları aynı zamanda üretilen MBK'nin de boyutlarını belirlemektedir. Bu nedenle MBK'ler bu yöntemde genellikle yapı elemanı olarak üretilmektedirler. Diğer yandan kalıplama yönteminde elde edilen MBK yapı elemanları yapıştırma, plaka, dübel, bulon, çivi, bağlama ve kaynaklı birleşim yöntemleriyle birleştirilerek büyük ölçekli yapı sistemleri oluşturulabilmektedir.

Çerçeveleme üretim yönteminde büyük ölçekli yapılar oluşturulurken kalıpsız ve 3D baskı üretim yöntemlerinde küçük ölçekli yapılar oluşturulmuştur. Bu durumun temel sebebi çerçeveleme üretim sisteminde, çerçeveyi oluşturan elemanların endüstriyel boyutlarda kesilen ahşap kirişlerden veya plakalardan oluşması ve bu ahşap bileşenlerin rijit ızgara çerçeve sistem gibi büyük açıklıkları geçebilen strüktür sistemlerini meydana getirebilmesidir. Kalıpsız üretim sisteminde proje ölçeğinin boyutu substrat bileşenlerine bağlı olduğundan substratın boyutuna veya substrattan oluşturulan iç strüktür takviyenin büyüklüğüne göre değişkenlik göstermektedir. 3D baskı üretim sistemi ise MBK üretimi alanında henüz gelişmekte olan bir alan olduğu için deneysel projeler küçük çapta gerçekleştirilmiştir.

MBK üretim yöntemlerindeki malzeme kullanımı değerlendirildiğinde, atık oluşumunu en aza indiren yöntemler kalıpsız ve 3D baskı üretim yöntemleridir. Çerçeveleme ve kalıplama üretim yönteminde şekillendirme için kullanılan malzemeler yeniden kullanılabilir veya miselyum tarafından substrat olarak tüketilebilir olduklarında atık üretimi kontrol edilebilir seviye tutulabilmektedir.

Çerçeveleme, kalıplama ve kalıpsız üretim yöntemlerinde MBK bileşenlerin üretimi geleneksel gereçlerle gerçekleştirilirken 3D baskı yönteminde 3D yazıcı veya robotik kola bağlı ekstrüder gereci kullanılmaktadır. Bu sebeple 3D baskı yönteminin diğer üretim yöntemlerine göre daha verimli malzeme kullanımı sağladığı ve daha az iş gücü gerektirdiği söylenebilir.

3D baskı üretim yönteminde kullanılacak nozül başlığın kalınlığı ve katman yüksekliğini projede istenen baskı kalitesi ve üretilecek MBK bileşenin işlevi belirlemektedir. Kolon gibi x ve y eksenlerinden gelen yükleri taşıyan yapı elemanlarının oluşturulması istendiğinde daha az katman yüksekliği tercih edilirken, kemer gibi x,y ve z eksenlerinden gelen yükleri karşılayan yapı elemanlarının oluşturulmasında daha kalın katman yüksekliği tercih edilmektedir. MBK baskı kalitesini etkileyen faktörler ise nozül kalınlığı ve MBK viskozitesidir.

MBK bileşenlerin bağlantı türleri; bağlama, yapıştırma, bağlantı elemanlarıyla birleşim (plaka, dübel, bulon, çivi) ve kaynaklı birleşim olmak üzere 4'e ayrılmaktadır. MBK bileşenler kaynaklı birleşim yönteminde doğrudan, bağlama, yapıştırma ve bağlantı elemanlarıyla birleşim yöntemlerinde doğrudan ve dolaylı olarak birleştirilebilmektedir.

MBK yapım sistemlerinde sadece MBK'nin kullanıldığı 3D baskı üretim yöntemlerinde eklemeli üretim sistemi kullanılırken diğer üretim sistemlerinde MBK dışında kullanılan ahşap ve karton gibi malzemelerde CNC ve lazer kesicinin, alüminyum bazlı malzemede su jetinin kullanıldığı eksiltmeli üretim sistemleri kullanılmıştır. Tekstil esaslı malzemelerin kalıp olarak üretiminde ise dikiş makinesi kullanılabilir.

MBK yapım sistemlerinin tasarım aşamasında geleneksel araçlara kıyasla hesaplamalı tasarım yöntemlerinin kullanıldığı dijital tasarım araçlarının daha fazla kullanılmaktadır. MBK projeler genellikle basınç odaklı çalışma prensibine göre çalışan streotomik veya yığma yapım sistemlerine göre oluşturulduklarından projelerin form bulma süreci yük dağılımının dengesine göre şekillenmektedir. Bu nedenle MBK üretiminde yük dengesizliğinden ortaya çıkan çökme ihtimalini en aza indirmek için Grasshopper, Kangaroo2, RhinoVault gibi araçlar ve Gray-Scott modeline dayalı dijital simülasyon araçları kullanılabilir.

MBK yapılar yapı sektöründe henüz gelişmekte ve keşfedilmekte olan bir alan olduğu için her öğrenilen yeni bir bilginin üstüne eklenerek oluşturulan prototipolojik geliştirme yöntemi, MBK projelerinin oluşturulmasında tasarım aracı olarak kullanılabilir.

4.3. Öneriler

Kalıpla üretim sisteminde kalıp içindeki miselyum kolonizasyonu daha önemli olduğundan kalıbın şekli, büyüklüğü ve malzemesi gibi faktörlerin üretilen MBK kalitesi üzerindeki etkisi araştırılabilir.

MBK yapı blokları, yalıtım malzemeleri ve MBSK üzerinde yerli üretim metotları üzerinde çalışmalar yapılarak bir Türk Standardı oluşturulabilir.

MBK yapım sistemlerinde miselyumun kolonizasyon davranışı tasarım açısından sorunlar yaratsa da bu problemlerin 3D programlarla çözülebileceği öngörülerek 3D baskı ile üretim yönteminin MBK yapım sistemlerinde daha fazla araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

MBK'ler yapı sektörü için günümüz ve gelecek için umut verici bir malzeme olduğundan MBK'lerin yalnızca malzeme olarak değil aynı zamanda yapım sistemlerinde kullanılma potansiyelinin endüstriyel ortama kazandırılabilmesi için akademik araştırmalar ve yapı sektöründeki AR-GE çalışmaları iş birliği içerisinde gerçekleştirilmelidir.



5. KAYNAKLAR

- Abhijith, R., Ashok, A., & Rejeesh, C. R. (2018). Sustainable Packaging Applications from Mycelium to Substitute. *Materials Today: Proceedings* , 5(1), s. 2139–2145.
- AGI. (2019, Nisan 8). *The Circular Garden dello studio Ratti protagonista al Fuorisalone di Milano*. Nisan 25, 2024 tarihinde AGI Web sitesi: https://www.agi.it/cronaca/news/2019-04-08/fuorisalone_eni_economia_circolare-5291048/ adresinden alındı
- Agraviador, A., Scott, J., Kaiser, R., Elsacker, E., Hoenerloh, A., Topcu, A., & Bridgens, B. (2022). BioKnit: The coordination of computation with material investigation in the design of biohybrid textiles towards architectural integration. (*Acadia Proceedings 2022, Paper in press*).
- Ana. (2020, Haziran 30). Protomycokion. Mayıs 9, 2024 tarihinde <https://vimeo.com/434121561> adresinden alındı
- Appels, F. V., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M., Dijksterhuis, J., . . . A.B.Wösten, H. (2019). Fabrication Factors Influencing Mechanical, Moisture And Water-Related Properties Of Mycelium-Based Composites. *Materials and Design*, 161, s. 64–71.
- Appels, F. V., Dijksterhuis, J., Lukasiewicz, C. E., Jansen, K. M., Wösten, H. A., & Krijgsheld, P. (2018). Hydrophobin Gene Deletion and Environmental Growth Conditions Impact Mechanical Properties of Mycelium by Affecting the Density of the Material. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23171-2>
- ArchDaily. (2022). *Inverted Architecture Installation / Studio Link-Arc*. Mart 4, 2024 tarihinde ArchDaily Web sitesi: <https://www.archdaily.com/997365/inverted-architecture-studio-link-arc> adresinden alındı
- Architetto, G. A. (2016). *Shell Mycelium*. Nisan 9, 2024 tarihinde Giombattista Areddia Architetto Web sitesi: <https://argarchitecture.com/portfolio/shell-mycelium/> adresinden alındı
- Architizer. (2014). *Hy-Fi*. Nisan 12, 2024 tarihinde Architizer Web sitesi: <https://architizer.com/projects/hy-fi/> adresinden alındı
- Arslan, M. A., & Aktaş, M. (2018). İnşaat Sektöründe Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Isı ve Ses Yalıtımı Açısından Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(2), s. 299–320.
- Arunkumar, A. (2020). Bio-Integrated Materials in Architecture: Nature Inspired Technology and Its Impact on the Environment. C. H. S., S. C. Devanand, & K. A. (Dü.), *Emerging Trends in Design, Architecture and Civil Engineering (ICETDACE)* içinde (s. 32-41). Coimbatore: SVS School of Architecture.

- Ataç, A. (2019). *Mimarlıkta Biyomalzemelerin Kullanımı: Sıkıştırılmış Toprak Blokların Performansının Mikorizal Mantar Kullanılarak Geliştirilmesi*. İstanbul Bilgi Üniversitesi, Lisansüstü Programlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium Bio-composites in Industrial Design and Architecture: Comparative Review and Experimental Analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037.
- Attias, N., Danai, O., Ezov, N., Tarazi, E., & Grobman, Y. J. (2017). Developing Novel Applications of Mycelium based Biocomposite Materials for Design and Architecture. *Building with Bio-based Materials: Best Practice and Performance Specification*. Zagreb, Hırvatistan.
- Baeza, A. C. (2020). Stereotomic vs. Tectonic. A. C. Baeza içinde, *Trece Trucos de Arquitectura*. Madrid, İspanya.
- Baghi, F., Gharsallaoui, A., Dumas, E., & Ghnimi, S. (2022). Advancements in Biodegradable Active Films for Food Packaging: Effects of Nano/Microcapsule Incorporation. *Foods*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/foods11050760>
- Baydar, D. G. (2011). *Sürekli Cam Fiber Takviyeli Polipropilen Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bektaş, V. (2018). *Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Karşılaştırılması*. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik.
- Berk, Z. (2009). Chapter 22 - Dehydration. Z. Berk içinde, *Food Process Engineering and Technology* (s. 459-510). San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373660-4.00022-3>
- Bhardwaj, A., Rahman, A. M., Wei, X., Pei, Z., Truong, D., Lucht, M., & Zou, N. (2021). 3D Printing of Biomass-Fungi Composite Material: Effects of Mixture Composition on Print Quality. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 5(4). <https://doi.org/10.3390/jmmp5040112>
- Bhardwaj, A., Vasselli, J., Lucht, M., Pei, Z., Shaw, B., Grasley, Z., . . . Zou, N. (2020). 3D Printing of Biomass-Fungi Composite Material: A Preliminary Study. *Manufacturing Letters*, 24, s. 96-99.
- Bhat, T., Jones, M. P., Kandare, E., Yuen, R., Wang, C. H., & John, S. (2018). Biomass and Waste-derived Sustainable Mycelium Composite Construction Materials with Enhanced Fire Safety. *ECCM18 - 18th European Conference on Composite Materials*. Atina, Yunanistan.
- Biobabes. (2024). *Hyper Articulated Myco-Morphs*. Eylül 7, 2022 tarihinde Biobabes Web sitesi: <https://www.biobabes.co.uk/mycomorphs> adresinden alındı
- bioDigital matter. (2024). *Pulp Faction: Bioprinting of wood-fungus hybrid materials [Fotoğraf]*. Mayıs 9, 2024 tarihinde LTH Faculty of Engineering Web sitesi:

<https://www.abm.lth.se/english/biodigitalmatter/research/pulp-faction/> adresinden alındı

bioDigital matter lab [@biodigitalmatter]. (2021, Haziran 23). We are delighted to announce that we have won 2 categories at 3D Pioneers Challenge Awards 2021 - Pushing Boundaries! Our project Protomycokion - 3D printed fungal biocomposites won both best Material and Sustainability [Fotoğraf]. *Instagram*. Mayıs 9, 2024 tarihinde <https://www.instagram.com/p/CQdgBvYs3Fk/?igsh=MXB0OTNxYzh0azR2OQ%3D%3D> adresinden alındı

Blast Studio. (2022). *Tree Pavilion*. Mart 3, 2024 tarihinde Blast Studio Web sitesi: <https://blast-studio.com/blogs/portfolio/tree-pavilion> adresinden alındı

Blast Studio. (2023). *Op't Oog Columns*. Mart 3, 2024 tarihinde Blast Studio Web Sitesi: <https://blast-studio.com/blogs/portfolio/op-t-oog-columns> adresinden alındı

BRG. (2017, Eylül 1). MycoTree at Seoul Biennale for Architecture and Urbanism 2017. Nisan 14, 2024 tarihinde <https://vimeo.com/232044405> adresinden alındı

BRG. (2024). *Stereotomy of Forces*. Mart 1, 2024 tarihinde BRG Web Sitesi: <https://block.arch.ethz.ch/brg/research/stereotomy-of-forces> adresinden alındı

Bruscato, C., Malvessi, E., Brandalise, R. N., & Camassola, M. (2019). High Performance of Macrofungi in the Production of Mycelium-based Biofoams Using Sawdust - Sustainable Technology for Waste Reduction. *Journal of Cleaner Production*, 234, s. 225-232.

Campbell, F. C. (2010). *Structural Composite Materials*. ASM international.

Campbell, S., Correa, D., Wood, D., & Menges, A. (2017). Modular Mycelia: Scaling Fungal Growth for Architectural Assembly. *The virtual and the physical. eCAADe Regional International Symposium*, (s. 125-134). Cardiff: Welsh School of Architecture, İngiltere.

Carlo Ratti Associati. (2019). *The Circular Garden*. Mart 4, 2024 tarihinde Carlo Ratti Associati Web sitesi: <https://carloratti.com/project/the-circular-garden/> adresinden alındı

Casa, A. (2024). *Arquitectura a partir de organismos vivos y residuos orgánicos*. Nisan 26, 2024 tarihinde Bacap Web sitesi: <https://bacap.com.ar/2022/08/19/arquitectura-a-partir-de-organismos-vivos-y-residuos-organicos/> adresinden alındı

Chart Art Fair. (2022, Ağustos 27). *CHART Architecture 2022 Now Open*. Nisan 10, 2024 tarihinde Chart Art Fair Web sitesi: <https://chartartfair.com/journal/news/chart-architecture-2022-now-open> adresinden alındı

Chua, C. K., & Leong, K. F. (2014). *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications (with companion media pack)-of Rapid Prototyping*. World Scientific Publishing Company.

- CNC Exotic Mushrooms. (2024). Mart 4, 2024 tarihinde CNC Exotic Mushrooms Web sitesi: <https://www.cncexoticmushrooms.nl/> adresinden alındı
- Co-de-iT. (2019, Mart 3). *Bio Ex-Machina @ La Fabrique Du Vivant*. Mart 3, 2024 tarihinde Co-de-iT Web sitesi: <https://www.co-de-it.com/bio-ex-machina-la-fabrique-du-vivant.html> adresinden alındı
- Collet, F., & Pretot, S. (2014). Thermal Conductivity of Hemp Concretes: Variation with Formulation, Density and Water Content. *Construction and Building Materials*, 65, s. 612-619.
- Company New Heroes. (2019a, Kasım 26). The Growing Pavilion Documentary. Nisan 25, 2024 tarihinde alındı
- Company New Heroes. (2019b, Kasım 4). Biobased Creations- "Reasons Why" Animation Video. Nisan 25, 2024 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=VeJV2sZ87H0&t=74s> adresinden alındı
- Company New Heroes. (2019c, Ekim 14). The Growing Pavilion build-up timelapse DDW2019. Nisan 25, 2024 tarihinde https://www.youtube.com/watch?v=mlVWF1YUdM&list=PLKrsKVMBz6h5J6Vih8ELPH1d6rB1UuE_v&index=6 adresinden alındı
- Company New Heroes. (2022, Eylül 9). Interested in The Growing Pavilion? Nisan 22, 2024 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=3sIBlt1Qcs> adresinden alındı
- Cox, S. (2017, Haziran 16). *Made in Brunel: A Structure Grown from Mushrooms*. Mart 3, 2024 tarihinde Brunel University London Web Sitesi: <https://www.brunel.ac.uk/news-and-events/news/articles/Made-in-Brunel-Structure-grown-from-mushrooms-makes-a-top-ramen> adresinden alındı
- Dawoud, M. M., & Saleh, H. M. (2019). Introductory Chapter: Background on Composite Materials. H. E.-D. Saleh, & M. Koller (Dü) içinde, *Characterizations of Some Composite Materials* (s. 3-11). BoD–Books on Demand.
- Dejtiar, F. (2021, Ekim 27). *Construyendo con hongos en Argentina: El Refugio Fúngico a base de micelio en Bariloche*. Ekim 18, 2023 tarihinde ArchDaily Web sitesi: <https://www.archdaily.cl/cl/970923/construyendo-con-hongos-en-argentina-el-refugio-fungico-a-base-de-micelio-en-bariloche> adresinden alındı
- Descalzi, C., Bojardi, G., & Ratti, C. (2019). The Circular Garden. *FUORISALONE 2019*. Orto Botanico di Brera, Milano. Nisan 25, 2024 tarihinde <https://www.eni.com/assets/documents/The-Circular-Garden.pdf> adresinden alındı
- Dessi-Olive, J. (2019). Monolithic Mycelium: Growing Vault Structures. *18th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies: Construction Materials & Technologies for Sustainability (NOCMAT)*. Nairobi, Kenya.
- Dessi-Olive, J. (2022). Strategies for Growing Large-Scale Mycelium Structures. *Biomimetics*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030129>

- Dias, P. P., Jayasinghe, L. B., & Waldmann, D. (2021, Haziran). Investigation of Mycelium-Miscanthus Composites as Building Insulation Material. *Result in Materials*, 10, s. 100189.
- Donkoh, E. K., & Opoku, A. A. (2016, Nisan). Optimal Geometric Disks Covering using Tessellable Regular Polygons. *Journal of Mathematics Research*, 8(2), s. 25-36. <https://doi.org/10.5539/jmr.v8n2p25>
- Ecovative. (2022). *Mycelium 101*. Kasım 20, 2022 tarihinde Ecovative Web Sitesi: <https://www.ecovative.com/pages/mycelium-101> adresinden alındı
- Ecovative. (2024). Mart 4, 2024 tarihinde Ecovative Web sitesi: <https://www.ecovative.com/> adresinden alındı
- Elbasdi, G., & Alaçam, S. (2019). Binding Behavior Study of Mycelium in Flexible Formwork. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 1(1), s. 1-10.
- Elsacker, E., Søndergaard, A., Wylick, A. V., Peeters, E., & Laet, L. D. (2021). Growing Living and Multifunctional Mycelium Composites for Large-scale Formwork Applications Using Robotic Abrasive Wire-cutting. *Construction and Building Materials*, 283.
- Elsacker, E., Vandeloock, S., Brancart, J., Peeters, E., & Laet, L. D. (2019). Mechanical, Physical and Chemical Characterisation of Mycelium-based Composites with Different Types of Lignocellulosic Substrates. *PLoS ONE*, 14(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>
- Engel, H. (1997). Tragsysteme. (G. Gili, Dü.) İspanya.
- Erden, S., & Ho, K. (2017). Fiber Reinforced Composites. M. Ö. Seydibeyoğlu, A. K. Mohanty, & M. Misra (Dü) içinde, *Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites* (s. 51-80). Woodhead Publishing.
- Evans, C. L. (2014, Eylül 19). *The House That Spores Built*. Mart 4, 2024 tarihinde Vice Web sitesi: <https://www.vice.com/en/article/pgazx8/the-house-that-spores-built> adresinden alındı
- FCL. (2024a). *Mycelium-based Composite Materials*. Mart 1, 2024 tarihinde FCL ETH Zürich Web Sitesi: <https://fcl.ethz.ch/research/fcl-phase2/archipelago-cities/alternative-construction-materials/mycelium.html> adresinden alındı
- FCL. (2024b). *[BIO] Urban BioCycles Mycelium Digitalisation*. Mart 1, 2024 tarihinde FCL ETH Zürich Web Sitesi: <https://fcl.ethz.ch/research/cycles-and-districts/urban-biocycles-mycelium-digitalisation.html> adresinden alındı
- Ferreira, A. R., Alves, V. D., & Coelho, I. M. (2016). Polysaccharide-Based Membranes in Food Packaging Applications. *Membranes*, 6(2), s. 22. <https://doi.org/10.3390/membranes6020022>

- Fowler, P. A., Hughes, J. M., & Elias, R. M. (2006). Review Biocomposites: Technology, Environmental Credentials and Market Forces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, s. 1781–1789.
- Frearson, A. (2014, Temmuz 1). *Tower of "grown" bio-bricks by The Living opens at MoMA PS1*. Nisan 12, 2024 tarihinde Dezeen Web sitesi: <https://www.dezeen.com/2014/07/01/tower-of-grown-bio-bricks-by-the-living-opens-at-moma-ps1-gallery/> adresinden alındı
- Frearson, A. (2017a, Ağustos 26). *Fungus used to build arching pavilion in Kerala*. Mart 4, 2024 tarihinde Dezeen Wb sitesi: <https://www.dezeen.com/2017/08/26/shell-mycelium-fungus-pavilion-beetles-3-3-yassin-arredia-design-kerala-india/> adresinden alındı
- Frearson, A. (2017b, Eylül 4). *Tree-shaped structure shows how mushroom roots could be used to create buildings*. Nisan 14, 2024 tarihinde Dezeen Web sitesi: <https://www.dezeen.com/2017/09/04/mycotree-dirk-hebel-philippe-block-mushroom-mycelium-building-structure-seoul-biennale/#/> adresinden alındı
- Gantenbein, S., Colucci, E., Käch, J., Trachsel, E., Coulter, F. B., Rühs, P. A., . . . Studart, A. R. (2023). Three-dimensional Printing of Mycelium Hydrogels into Living Complex Materials. *Nature Materials* 22, s. 128-134. <https://doi.org/10.1038/s41563-022-01429-5>
- Gauvin, F., Tsao, V., Vette, J., & Brouwers, H. (2021). Physical Properties And Hygrothermal Behavior Of Mycelium-based Composites As Foam-like Wall Insulation Material. *4th International Conference on Bio-Based Building Materials*. Barselona, İspanya.
- Gezer, E. D., & Kuştaş, S. (2024). Acoustic and Thermal Properties of Mycelium-based Insulation Materials Produced from Desilicated Wheat Straw-Part B. *BioResources*, 19(1), s. 1348-1364. <https://doi.org/10.15376/biores.19.1.1348-1364>
- Gezer, E. D., Uçar, E., & Gümüşkaya, E. (2024). Physical and Mechanical Properties of Mycelium-based Fiberboards. *BioResources*, 19(2), s. 3421-3435. <https://doi.org/10.15376/biores.19.2.3421-3435>
- Ghanbarzadeh, B., & Almasi, H. (2013). Biodegradable Polymers. R. Chamy, & F. Rosenkranz (Dü) içinde, *Biodegradation: Life of Science* (s. 141-185). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/56230>
- Ghazvinian, A. (2023). *Form-Matter-Performance; Mycelium-based Composites for Architecture*. Pensilvanya Eyalet Üniversitesi, Doktora Tezi, ABD.
- Ghazvinian, A., & Gürsoy, B. (2022). Mycelium-Based Composite Graded Materials: Assessing the Effects of Time and Substrate Mixture on Mechanical Properties. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020048>
- Ghazvinian, A., Khameneh, A. K., Mottaghi, E., & Gursoy, B. (2021). A Computational Framework for the Design and Fabrication of Spatial Structures with Mycelium-

based Composites. *IASS Annual Symposium 2020/21 and the 7th International Conference on Spatial Structures*. Guilford, İngiltere.

- Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., . . . Savino, E. (2019). Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review. *Sustainability*, 11(1), s. 281. <https://doi.org/10.3390/su11010281>
- Goh, G. D., Yap, Y. L., Agarwala, S., & Yeong, W. Y. (2018). Recent Progress in Additive Manufacturing of Fiber Reinforced Polymer Composite. *Advanced Materials Technologies*, 4(1). <https://doi.org/10.1002/admt.201800271>
- Goidea, A., Floudas, D., & Andréen, D. (2020). Pulp Faction: 3D Printed Material Assemblies Through Microbial Biotransformation. J. Burry, J. E. Sabin, B. Sheil, & M. Skavara (Dü) içinde, *Fabricate 2020* (s. 42-49). UCL Press.
- Göre, M., & Kurt, O. (2021). Bitkisel Üretimde Yeni Bir Trend: Kenevir. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(1), 138-157. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.789970>
- Groth, M. J. (2022, Haziran 10). *SURO//MYCO: A Circular Approach to Urban Noise*. Temmuz 19, 2024 tarihinde IAAC Educational Programmes Web sitesi: <https://www.iaacblog.com/programs/suro-myco-urban-noise-term1/> adresinden alındı
- Grown bio. (2024). Mart 3, 2024 tarihinde <http://www.grown.bio/?v=e182ebbc166d> adresinden alındı
- Gustafsson, J. (2016). *Connections in Timber Reciprocal Frames*. Chalmers University Of Technology, Structural Engineering and Building Technology, Yüksek Lisans Tezi, Gothenburg, İsveç.
- Günzel, W. (2021). MY-CO-X [Fotoğraf]. Nisan 29, 2024 tarihinde tinyBE Web sitesi: <https://tinybe.org/en/artists/my-co-x/> adresinden alındı
- Hahn, J. (2022, Ocak 18). *Blast Studio 3D prints column from mycelium to make "architecture that could feed people"*. Eylül 1, 2022 tarihinde Dezeen Web Sitesi: <https://www.dezeen.com/2022/01/18/blast-studio-tree-column-mycelium-design/> adresinden alındı
- Hahn, J. (2023, Haziran 23). *Glastonbury's mushroom mycelium pavilion explores sustainable stage design*. Mart 4, 2024 tarihinde Dezeen Web sitesi: <https://www.dezeen.com/2023/06/23/glastonburys-mycelium-hayes-pavilion-simon-carroll/> adresinden alındı
- Hamarat, M. (2015). *Anizotropi Kavramından Sayısala Dönüşümler Üzerinden Mimari Form Üretimi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Scientific Reports*(41292). <https://doi.org/10.1038/srep41292>
- HBBE. (2024). *BioKnit Prototype [Fotoğraf]*. Mayıs 4, 2024 tarihinde HBBE Web sitesi: <http://bbe.ac.uk/bioknit-prototype/> adresinden alındı
- HBBE Hub for Biotechnology in the Built Environment. (2023, Mayıs 12). The BioKnit Prototype (2022)[Video]. Mayıs 4, 2024 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=5fzKBct2raU> adresinden alındı
- Hebel, D. E., & Heisel, F. (2017). *Cultivated Building Materials: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction*. Basel: Birkhäuser.
- Hecht, D. I. (2014, Haziran 26). Mirror castle in the sky. *Instagram*. https://doi.org/https://www.instagram.com/p/pt-TAbkw5K/?utm_source=ig_embed&ig_rid=6402bf22-f82e-4b5c-8685-17a9d723ab6a
- Heisel, F., & Hebel, D. E. (2019). Pioneering Construction Materials through Prototypological Research. *Biomimetics*, 4(3). <https://doi.org/10.3390/biomimetics4030056>
- Heisel, F., Lee, J., Schlesier, K., Rippmann, M., Saeidi, N., Javadian, A., . . . Hebel, D. E. (2017). Design, Cultivation and Application of Load-Bearing Mycelium Components: The MycoTree at the 2017 Seoul Biennale of Architecture and Urbanism. *International Journal of Sustainable Energy Development (IJSED)*, 6(1).
- Hitti, N. (2019, Nisan 11). *Carlo Ratti grows Gaudí-inspired structures with a kilometre of mushroom mycelium*. Nisan 25, 2024 tarihinde Dezeen Web sitesi: <https://www.dezeen.com/2019/04/11/carlo-ratti-circular-garden-mycelium/> adresinden alındı
- Holcim Foundation for Sustainable Construction. (2014, Ekim 8). *Ecology of mushroom-brick stacks up perfectly*. Nisan 12, 2024 tarihinde Holcim Foundation for Sustainable Construction Web sitesi: <https://www.holcimfoundation.org/about/news/project-updates/ecology-of-mushroom-brick-stacks-up-perfectly> adresinden alındı
- Holcim Foundation for Sustainable Construction. (2015, Mart 5). *Global finalist entry-Hy-Fi*. Nisan 12, 2024 tarihinde Holcim Foundation for Sustainable Construction Web sitesi: <https://www.holcimfoundation.org/search-results?keyword=hy-fi> adresinden alındı
- Holt, G. A., McIntyre, G., Flagg, D., Bayer, E., Wanjura, J. D., & Pelletier, M. G. (2012). Fungal Mycelium and Cotton Plant Materials in the Manufacture of Biodegradable Molded Packaging Material: Evaluation Study of Select Blends of Cotton Byproducts. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 6, s. 431–439.

- Hu, C., Sun, Z., Xiao, Y., & Qin, Q. (2019). Recent Patents in Additive Manufacturing of Continuous Fiber Reinforced Composites. *Recent Patents on Mechanical Engineering*, 12(1), s. 23-36.
- IfBB. (2024, Ocak 9). *What does “cascade use” mean?* Institute for Bioplastics and Biocomposites Web Sitesi: <https://www.ifbb-hannover.de/en/answer/what-does-cascade-use-mean.html> adresinden alındı
- Immanuel, N. (2021, Ekim 9). *TAB 2022 winner Simulaa recreates from ruins with Burlasite*. Mart 4, 2024 tarihinde Stirpad Web sitesi: <https://www.stirpad.com/news/stir-news/tab-2022-winner-simulaa-recreates-from-ruins-with-burlasite/> adresinden alındı
- Impershiel. (2024). *Uygulamalar*. Nisan 25, 2024 tarihinde Impershiel Web sitesi: <https://impershiel.eu/> adresinden alındı
- Indrajeet, M., & Rath, M. A. (2018). Production of Mycelium Bricks. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 3(4), 484-513.
- İNOVETA Kompozit. (2024). *RTM (Reçine Transfer Kalıplama)*. Şubat 6, 2024 tarihinde İNOVETA Kompozit: <https://inovetakompozit.com/tr/urundty/rtm-recine-transfer-kalipplama> adresinden alındı
- Ivanova, O., Williams, C., & Campbell, T. (2013). Additive Manufacturing (AM) and Nanotechnology: Promises and Challenges. *Rapid Prototyping Journal*, 19(5), s. 353-364.
- Jauk, J., Gosch, L., Vašatko, H., Christian, I., Klaus, A., & Stavric, M. (tarih yok). MyCera. Application of mycelial growth within digitally manufactured clay structures. *International Journal of Architectural Computing*, 20(1), 31-40. <https://doi.org/10.1177/14780771221082248>
- JDOVaults. (2018). *Monolithic Mycelium Experiments*. Ekim 13, 2023 tarihinde JDOVaults Web sitesi: <https://jdovaults.com/Tactical-Mycelium-1-2> adresinden alındı
- Jensen, C. R. (2017, Ekim 2). Tactical Mycelium [Video]. Nisan 18, 2024 tarihinde <https://vimeo.com/236435218> adresinden alındı
- Jiang, L. (2015). *A New Manufacturing Process for Biocomposite Sandwich Parts Using a Myceliated Core, Natural Reinforcement and Infused Bioresin*. Rensselaer Politeknik Enstitüsü, Doktora Tezi, New York.
- Jiang, L., Walczyk, D. F., & McIntyre, G. (2014). Vacuum Infusion of Mycelium-bound Biocomposite Preforms with Natural Resins. *The Composites and Advanced Materials Expo*. Orlando, Florida.
- Jiang, L., Walczyk, D., McIntyre, G., Bucinell, R., & Li, B. (2019). Bioresin Infused Then Cured Mycelium-based Sandwich-structure Biocomposites: Resin Transfer Molding (RTM) Process, Flexural Properties, and Simulation. *Journal of Cleaner Production*, 207, s. 123-135.

- Jiang, L., Walczyk, D., McIntyre, G., Bucinell, R., & Tudryn, G. (2017). Manufacturing of Biocomposite Sandwich Structures Using Mycelium-bound Cores and Preforms. *Journal of Manufacturing Processes*, 28, s. 50-59.
- Jones, D., & Brischke, C. (2017). *Performance of Bio-based Building Materials*. Woodhead Publishing.
- Jones, M., Bhat, T., Wang, C. H., Moinuddin, K., & John, S. (2017). Thermal Degradation and Fire Reaction Properties of Mycelium Composites. *21st International Conference on Composite Materials*. Xi'an, Çin.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
- Jones, M., Weiland, K., Kujundzic, M., Theiner, J., Kählig, H., Kontturi, E., . . . Mautner, A. (2019). Waste-Derived Low-Cost Mycelium Nanopapers with Tunable Mechanical and Surface Properties. *Biomacromolecules*, 20(9), s. 3513-3523.
- Jordahn, S. (2022, Eylül 1). *Chart Art Fair pavilion aims to investigate the potential of mycelium*. Eylül 1, 2022 tarihinde Dezeen Web sitesi: <https://www.dezeen.com/2022/09/01/chart-art-fair-2022-mycelium-pavilion/> adresinden alındı
- Kaiser, R. (2023, Temmuz 16). *BioKnit: development of mycelium paste for use with permanent textile formwork – Publication picking up international recognition*. Mart 3, 2024 tarihinde Hub for Biotechnology in the Built Environment Web sitesi: <http://bbe.ac.uk/bioknit-development-of-mycelium-paste-for-use-with-permanent-textile-formwork-publication-picking-up-international-recognition/> adresinden alındı
- Kasapşekin, M. A. (2015). *Mantar Aglomere ve Orta Yoğunluklu Lif Levha (MDF) Tabakalarıyla Oluşturulmuş Kompozit Malzemenin İç Mekan Donatı Elemanlarında Levha Olarak Kullanımının Araştırılması*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Kaya, A. İ. (2016). Kompozit Malzemeler ve Özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.
- Kimençe, B. (2019). İndirekt Sınır Eleman Yöntemiyle Yığma Yapılarda Harç Kalınlığı Etkisinin İncelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(3), 121-128. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.632303>
- Kırdök, O. (2020). *A Biodesign Collaborator In Architecture: Mycelium*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Kırdök, O., Çetintaş, B., Atay, A., Kale, İ., Altun, T. D., & Hameş, E. E. (2022). A Modular Chain Bioreactor Design for Fungal Productions. *Biomimetics*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7040179>

- Kishan, R., Tyagi, R., & Jain, A. (2018). Production of Mycelium Bricks. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 3(4), s. 484-518.
- KIT. (2017). *Cultivated Building Materials for Cities of the Future*. Mart 1, 2024 tarihinde KIT Web Sitesi: https://www.kit.edu/kit/english/pi_2017_121_cultivated-building-materials-for-cities-of-the-future.php adresinden alındı
- KIT Mimarlık Bölümü. (2024). *NEWood Wins the Competitiononline CAMPUS Award 2023 in the Category Department Projects*. Mart 1, 2024 tarihinde KIT Web Sitesi: <https://www.arch.kit.edu/english/aktuelles/5759.php> adresinden alındı
- Knippers, J., Cremers, J., Gabler, M., & Lienhard, J. (2011). *Construction Manual for Polymers+ Membranes: Materials/Semi-finished Products/Form Finding/Design*. (J. Faltermeier, C. Hellstern, J. Rackwitz, & E. Schönbrunner, Dü) Basel, İsviçre: Birkhäuser.
- Koç, S., & Gür, N. V. (2021). Mimaride Etkin Strüktürler Olarak Ahşap Izgara Kabuklar. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 6(2), 349-369.
- Kuştaş, S., & Gezer, E. D. (2024). Physical and Mechanical Properties of Mycelium-based Insulation Materials Produced from Desilicated Wheat Straws - Part A. *BioResources*, 19(1), s. 1330-1347. <https://doi.org/10.15376/biores.19.1.1330-1347>
- Kutbay, N. H., H. G., & S. A. (2021). Mantarın Bağlayıcı Olarak Kullanıldığı Bir Kompozit Malzemenin Üretilmesi ve Tutuşma Süresi ile Su Alma Özelliklerinin Tespiti. *Politeknik Dergisi*. <https://doi.org/10.2339/politeknik.943738>
- Lago, E. (2023, Şubat 7). *MAA Students Transform Waste into Architectural Elements*. Mart 1, 2024 tarihinde IAAC Web Sitesi: <https://iaac.net/maa-students-transform-waste-into-architectural-elements/> adresinden alındı
- Lee, T., & Choi, J. (2021). Mycelium-composite Panels for Atmospheric Particulate Matter Adsorption. *Results in Materials*, 11, 100208.
- Lelivelt, R. (2015). *The Mechanical Possibilities of Mycelium Materials*. Eindhoven University of Technology, Yüksek Lisans Tezi, Eindhoven, Netherlands.
- Luo, D. (2022, Nisan 27). *Stuckeman School lab showcases work at Biomaterial Building Exposition [Fotoğraf]*. Mayıs 3, 2024 tarihinde PennState Web sitesi: <https://www.psu.edu/news/arts-and-architecture/story/stuckeman-school-lab-showcases-work-biomaterial-building-exposition/> adresinden alındı
- Maloney, R. (2014, Haziran 25). *Hy-Fi reinvents the brick*. Mart 4, 2024 tarihinde Arup Web sitesi: <https://www.arup.com/news-and-events/hyfi-reinvents-the-brick> adresinden alındı
- Mancino, S. (2021). Nisan 26, 2024 tarihinde <https://www.archdaily.cl/cl/970923/construyendo-con-hongos-en-argentina-el-refugio-fungico-a-base-de-micelio-en-bariloche> adresinden alındı

- Mandin. (2024). *Grown Structures*. Mart 3, 2024 tarihinde Mandin Web Sitesi: <https://www.mandin.earth/work#/grown-structures/> adresinden alındı
- Materiability Research Group. (2024). *Mycelium Tectonics*. Mayıs 8, 2024 tarihinde Materiability Research Group Web sitesi: <https://materiability.com/portfolio/mycelium-tectonics/#:~:text=Mycelium%20Tectonics%20is%20a%20multidisciplinary,and%20endogenous%20mechanisms%20are%20built>. adresinden alındı
- MDPYA. (2024, Mart 15). *Un refugio fúngico en Espacio Cova*. Nisan 26, 2024 tarihinde MDPYA Web sitesi: <https://www.mdpya.com.ar/un-refugio-fungico-en-espacio-cova/> adresinden alındı
- Melander, E. (2019, Kasım 5). *Company New Heroes in collaboration with Krown.bio creates mycelium pavilion grown out of agricultural waste*. Nisan 25, 2024 tarihinde Archello: <https://archello.com/news/company-new-heroes-in-collaboration-with-krownbio-creates-mycelium-pavilion-grown-out-of-agricultural-waste> adresinden alındı
- Meyer, V., Schmidt, B., Freidank-Pohl, C., Schmidts, C., & Pfeiffer, S. (2022). MY-CO SPACE: An artistic-scientific vision on how to build with fungi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1078 (1). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012070>
- Miller, S. (2018). *Of Fungus And Vaults*. Mayıs 7, 2024 tarihinde smDesigns Web sitesi: <https://www.seanmillerdesigns.com/art#/offungusandvaults> adresinden alındı
- Mimarizm. (2017, Ekim 12). *Urban Atölye'den Organik Yapı Malzemesi: AlveOsis*. Temmuz 19, 2024 tarihinde Mimarizm Mimarlık ve Tasarım Yayın Platformu Web sitesi: https://www.mimarizm.com/haberler/gundem/urban-atolye-den-organik-yapi-malzemesi-alveosis_128722 adresinden alındı
- Modanloo, B., Ghazvinian, A., Matini, M., & Andaroodi, E. (2021). Tilted Arch; Implementation of Additive Manufacturing and Bio-Welding of Mycelium-Based Composites. *Biomimetics*, 6(68). <https://doi.org/10.3390/biomimetics6040068>
- Mogu. (2024). Mart 3, 2024 tarihinde <https://mogu.bio/> adresinden alındı
- Mohseni, A., Vieira, F. R., Pecchia, J. A., & Gürsoy, B. (2023). Three-Dimensional Printing of Living Mycelium-Based Composites: Material Compositions, Workflows, and Ways to Mitigate Contamination. *Biomimetics* 2023, 8(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics8020257>
- Mok, K. (2018, Ekim 11). *Student's Zero-Waste Architecture Is Grown With 'Mushroom Sausages'*. Nisan 20, 2024 tarihinde Treehugger Web sitesi: <https://www.treehugger.com/mushroom-sausage-mycelium-architecture-aleksi-vesaluoma-4854183> adresinden alındı
- Mora, V. (2021). Nisan 26, 2024 tarihinde <https://www.archdaily.cl/cl/970923/construyendo-con-hongos-en-argentina-el-refugio-fungico-a-base-de-micelio-en-bariloche> adresinden alındı

- Morby, A. (2017, Haziran 20). *Structure grown from "mushroom sausages" shows potential for zero-waste architecture*. Eylül 1, 2022 tarihinde Dezeen Web sitesi: <https://www.dezeen.com/2017/06/20/aleksi-vesaluoma-mushroom-mycelium-structure-shows-potential-zero-waste-architecture/> adresinden alındı
- Mrs. Mushroom. (2022, Ağustos). *How to Pasteurize Straw for Growing Mushrooms*. Mart 11, 2024 tarihinde Mushroom Appreciation Web sitesi: <https://www.mushroom-appreciation.com/pasteurize.html#comments> adresinden alındı
- MycoMatters Lab. (2024). *Strategies for Growing Large-Scale Mycelium Structures [Fotoğraf]*. Mayıs 1, 2024 tarihinde Kuzey Karolina Üniversitesi Web sitesi: <https://idrl.charlotte.edu/research/advanced-materials-structural-systems/> adresinden alındı
- Mycotech Lab. (2024). Mycotech Lab Web sitesi: <https://mycl.bio/> adresinden alındı
- Mycoworks. (2024). *Our Heritage*. Mart 3, 2024 tarihinde Mycoworks Web sitesi: <https://www.mycoworks.com/our-heritage#long-format-content> adresinden alındı
- Myers, W. (2018). *Bio Design: Nature, Science, Creativity*. Birleşik Krallık: Museum of Modern Art.
- Nashiruddin, N. I., Chua, K. S., Mansor, A. F., Rahman, R. A., Lai, J. C., Azelee, N. I., & Enshasy, H. E. (2022). Effect of Growth Factors on the Production of Mycelium-based Biofoam. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24, s. 351–361. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02146-4>
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive Manufacturing (3D printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, s. 172-196.
- Nguyen, M. T. (2023). *Myco-Ex: Evaluation on Additives for Liquid Deposition Modeling of Mycelium-Based Composites and Its Application toward Architecture*. Stuttgart Üniversitesi, Lisans Tezi, Almanya.
- Nguyen, M. T., Solueva, D., Spyridonos, E., & Dahy, H. (2022). Mycomerge: Fabrication of Mycelium-Based Natural Fiber Reinforced Composites on a Rattan Framework. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020042>
- Nunes, A. (2014, Haziran 30). [Video] *Hy-Fi: The Living's Local, Sustainable, 10,000 Brick Mushroom Tower At MoMA PS1*. Nisan 12, 2024 tarihinde Vice Web sitesi: <https://www.vice.com/en/article/aenevj/hy-fi-the-livings-local-sustainable-10000-brick-mushroom-tower-at-moma-ps1> adresinden alındı
- Officina Corpuscoli. (2017). *S(e)AMENESS*. Mart 3, 2024 tarihinde Officina Corpuscoli Web sitesi: <https://www.corpuscoli.com/projects/seameness/> adresinden alındı
- Ongpeng, J. M., Inciong, E., Sendo, V., Soliman, C., & Siggaoat, A. (2020). Using Waste in Producing Bio-Composite Mycelium Bricks. *Applied Sciences*, 10(15). <https://doi.org/10.3390/app10155303>

- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2019). *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- Özer, N., & Acun Özgünler, S. (2019). Yapılarda Yaygın Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Performans Özelliklerinin Duvar Kesitleri Üzerinde Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2). <https://doi.org/10.17482/uumfd.438738>
- Parametrichouse. (2024). *MycoTree*. Nisan 14, 2024 tarihinde Parametrichouse Web sitesi: <https://parametrichouse.com/mycotree/> adresinden alındı
- Peccoz, M. B. (2019). Nisan 25, 2024 tarihinde <https://www.dezeen.com/2019/04/11/carlo-ratti-circular-garden-mycelium/> adresinden alındı
- PennState College of Arts and Architecture. (2024). *MycoCreate 2.0*. Mayıs 3, 2024 tarihinde PennState College of Arts and Architecture Web sitesi: <https://arts.psu.edu/projects/mycocrete-2-0/> adresinden alındı
- Pensilvanya Eyalet Üniversitesi. (2024). *MycoKnit*. Mart 3, 2024 tarihinde PennState College of Arts and Architecture Web Sitesi: <https://arts.psu.edu/projects/mycoknit/> adresinden alındı
- Petrescu, T.-C., Mihai, P., Voordijk, J. T., Nedeff, V., Văideanu, D., Nedeff, F., . . . Agop, M. (2021). Complex Behavior in the Dynamics of a Polymeric Biocomposite Material—"Liquid Wood". Experimental and Theoretical Aspects. *Polymers* 2022, 14(1), s. 64. <https://doi.org/10.3390/polym14010109>
- Pohl, C., Schmidt, B., Guitar, T. N., Klemm, S., Gusovius, H.-J., Platzk, S., . . . Meyer, V. (2022). Establishment of the Basidiomycete *Fomes Fomentarius* for the Production of Composite Materials. *Fungal Biology and Biotechnology*, 9(4). <https://doi.org/10.1186/s40694-022-00133-y>
- Postel, M. (2020). *Mycelium Based Building an Industry oriented Exploration of the Sustainable Product Development and the Mechanical Testing of a Fungal Composite based Sandwich Panel*. Delft Teknoloji Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi ve Yapılı Çevre, Yüksek Lisans Tezi, Hollanda.
- Pownall, A. (2019, Ekim 29). *Pavilion grown from mycelium acts as pop-up performance space at Dutch Design Week*. Nisan 22, 2024 tarihinde Dezeen Web sitesi: <https://www.dezeen.com/2019/10/29/growing-pavilion-mycelium-dutch-design-week/> adresinden alındı
- Raj, H., Tripathi, S., Bauri, S., Choudhury, A. M., S. S., & Maiti, P. (2023). Green Composites Using Naturally Occurring Fibers: A Comprehensive Review. *Sustainable Polymer & Energy* 2023, 1(2). <https://doi.org/10.35534/spe.2023.10010>
- Rajagopal, A. (2014, Şubat 17). *Behind "Hy-Fi": The Organic, Compostable Tower That Won MoMA PS1's Young Architects Program 2014*. Nisan 12, 2024 tarihinde ArchDaily Web sitesi: <https://www.archdaily.com/477912/behind-hy-fi-the->

entirely-organic-compostable-tower-that-won-moma-ps1-young-architect-s-program-2014 adresinden alındı

- Rajak, D. K., Pagar, D. D., Kumar, R., & Pruncu, C. I. (2019, Kasım-Aralık). Recent Progress of Reinforcement Materials: A Comprehensive Overview of Composite Materials. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), s. 6354-6374. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.068>
- Rensselaer Politeknik Enstitüsü. (2019). 2019-Su_Arch Design 5_Crembil Studio. Ekim 4, 2023 tarihinde Rensselaer Architecture Web Sitesi: <https://www.arch.rpi.edu/2019/09/2019su-summerstudio/> adresinden alındı
- Robertson, O., Høgdal, F., McKay, L., & Lenau, T. (2020). Fungal Future: A Review of Mycelium Biocomposites as an Ecological Alternative Insulation Material. *NordDesign* 2020. Kgs. Lyngby, Danimarka. <https://doi.org/10.35199/NORDDSIGN2020.18>
- Rothschild, L. (2018, Mart 30). *Myco-architecture off Planet: Growing Surface Structures at Destination*. Ekim 17, 2023 tarihinde NASA Web sitesi: <https://www.nasa.gov/general/myco-architecture-off-planet-growing-surface-structures-at-destination/> adresinden alındı
- Rothschild, L. (2021, Nisan 7). *Mycotecture Off Planet*. Ekim 17, 2023 tarihinde NASA Web sitesi: <https://www.nasa.gov/general/mycotecture-off-planet/> adresinden alındı
- Saez, D., Grizmann, D., Trautz, M., & Werner, A. (2021). Developing Sandwich Panels with a Mid-Layer of Fungal Mycelium Composite for a Timber Panel Construction System. *World Conference on Timber Engineering*, (s. 9-12). Santiago, Şili.
- Sağlam, S. S., & Özgünler, S. A. (2022). An Experimental Study on Production Opportunities of Biocomposite by using fungal mycelium. *Journal of Design for Resilience in Architecture & Planing*, 3(2), s. 237-260.
- Sağlam, S. S., & Özgünler, S. A. (2024). Production of Mycelium-based Composite Materials and Evaluation of Thermal Insulation Performance. *Journal of Green Building*, 19(2), s. 193-222.
- Sandak, A., Sandak, J., Brzezicki, M., & Kutnar, A. (2019). *Bio-based Building Skin*. (S. S. Muthu, Dü.) Springer Nature.
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum.
- Sean Lyon. (2023). *Inhabiting Ecologies*. Mart 4, 2024 tarihinde Sean Lyon Web sitesi: <https://seanlyon.com/Inhabiting-Ecologies> adresinden alındı
- Severi, A. (2023, Eylül 5). *MyCera: 3D printing Mycelium Reinforced Structures*. Mart 1, 2024 tarihinde 3DWasp Web Sitesi: <https://www.3dwasp.com/en/mycera-3d-printing-mycelium-reinforced-structures/> adresinden alındı

- Snøhetta (Yöneten). (2021). *Mycelium Sally & NoMy* [Sinema Filmi]. Kasım 20, 2022 tarihinde <https://www.oioioi.no/work/projects/contributing-to-a-more-sustainable-and-resilient-future> adresinden alındı
- SOM Foundation. (2021). *2021 Araştırma Ödülü MycoKnit: Büyük Ölçekli Biyobozunur Mimari Yapılar için Örme Tekstillerde Miselyum Bazlı Kompozitlerin Yetiştirilmesi*. Ekim 4, 2023 tarihinde SOM Foundation Web Sitesi: <https://somfoundation.com/fellow/davis-ghazvinian-gursoy-oghazian-pecchia-west/> adresinden alındı
- Søren Jensen. (2024). Søren Jensen Web sitesi: <https://www.sj.dk/#omos> adresinden alındı
- Soriano, M. (2022, Temmuz 30). *Emprendedora: la historia detrás del proyecto de una argentina que creó un ladrillo que se realiza con residuos de cervecerías*. Nisan 26, 2024 tarihinde La Nación Web sitesi: <https://www.lanacion.com.ar/propiedades/construccion-y-diseno/una-argentina-creo-un-nuevo-tipo-de-ladrillo-a-base-de-hongos-que-es-mas-resistente-que-el-hormigon-nid27062022/> adresinden alındı
- Stinson, L. (2014, Temmuz 8). *A 40-Foot Tower Made of Living Fungus Bricks*. Nisan 12, 2024 tarihinde Wired Web sitesi: <https://www.wired.com/2014/07/a-40-foot-tower-made-of-fungus-and-corn-stalks/> adresinden alındı
- Stott, R. (2014, Haziran 27). *Hy-Fi, The Organic Mushroom-Brick Tower Opens At MoMA's PS1 Courtyard*. Nisan 12, 2024 tarihinde ArchDaily Web sitesi: <https://www.archdaily.com/521266/hy-fi-the-organic-mushroom-brick-tower-opens-at-moma-s-ps1-courtyard> adresinden alındı
- Strunge, J. W. (2019). Growing a Pavillion from Innovative Waste- and Myceliumbased Biomaterials. ISWA. Bilbao.
- Strunge, J. W. (2020). *Af Jon Wedersøe Strunge, BEYOND2020 - World Sustainable Built Environment Conference, November 2-4 2020*. Mart 3, 2024 tarihinde Søren Jensen Web sitesi: <https://www.sj.dk/artikler/enabling-regenerative-building-design-through-biohacking/> adresinden alındı
- Studio Klarenbeek & Dros. (2024). *Krown - A biotech company that grows products*. .unusual Web Sitesi: <https://www.dotunusual.com/> adresinden alındı
- Such, M., Ward, C., & Potter, K. (2014). Aligned Discontinuous Fibre Composites: A Short History. *Journal of Multifunctional Composites*, 2(3), s. 155-168.
- Superpraxis. (2021, Ağustos 6). Documental Refugio Fúngico. Capítulo I. Nisan 26, 2024 tarihinde <https://vimeo.com/584049472> adresinden alındı
- Sydor, M., Bonenberg, A., Doczekalska, B., & Cofta, G. (2022). Mycelium-Based Composites in Art, Architecture, and Interior Design: A Review. *Polymers*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/polym14010145>
- T.S.E. (2008, Mayıs). TS825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları". Ankara.

- Tabellini, G. (2014/2015). *Mycelium Tectonics: Studio Di Comport Amenti Morfologico-Costruttivi Attraverso Sistemi Biologici E Simulazioni Al Computer*. Bologna Üniversitesi, Lisans Tezi, İtalya. Mayıs 8, 2024 tarihinde https://amslaurea.unibo.it/8539/1/tabellini_gianluca_tesi.pdf adresinden alındı
- Tabellini, G. (2015, Mayıs 1). *Mycelium Tectonics: Research Thesis About Mycelia and Architecture*. Mart 1, 2024 tarihinde Mycelium Tectonics Web Sitesi: <https://mycelium-tectonics.com/> adresinden alındı
- Tacer-Caba, Z., Varis, J. J., Lankinen, P., & Mikkonen, K. S. (2020). Comparison of Novel Fungal Mycelia Strains and Sustainable Growth Substrates to Produce Humidity-resistant Biocomposites. *Materials & Design*, 192, 108728. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108728>
- Tappa, K., & Jammalamadaka, U. (2018). Novel Biomaterials Used in Medical 3DPrinting Techniques. *Journal of Functional Biomaterials*, 9(1), s. 17.
- TBT. (2017). *Kırsal FungInsulation Mimarlığı: Sürdürülebilir Mantar Konutlar (Challenge Biomimicry 2017 Yarışma Katılımı)*. Mart 3, 2024 tarihinde TBT Web sitesi: <https://www.biodesignteam.com/challengebiomimicry17> adresinden alındı
- Technische Universität Berlin. (2024). *MY-CO SPACE in the Central Library*. Nisan 29, 2024 tarihinde Technische Universität Berlin Web sitesi: <https://www.tu.berlin/en/ub/about-us/contact/public-relations/my-co-space> adresinden alındı
- Tellnes, L. G., Ganne-Chedeville, C., Dias, A., Dolezal, F., Hill, C., & Escamilla, E. Z. (2017). Comparative Assessment for Biogenic Carbon Accounting Methods in Carbon Footprint of Products: A Review Study for Construction Materials Based on Forest Products. *IForest*, 10(5), s. 815-823.
- The Creators Project. (2014, Haziran 30). [Video] *Hy-Fi: The Living's Local, Sustainable, 10,000 Brick Mushroom Tower At MoMA PS1*. Nisan 12, 2024 tarihinde Vice Web sitesi: <https://www.vice.com/en/article/aenevj/hy-fi-the-livings-local-sustainable-10000-brick-mushroom-tower-at-moma-ps1> adresinden alındı
- The Growing Pavilion. (2024). *The Growing Pavilion*. Nisan 22, 2024 tarihinde The Growing Pavilion Web sitesi: <https://thegrowingpavilion.com/> adresinden alındı
- The Index Project. (2021). *Protomycokion*. Mayıs 9, 2024 tarihinde The Index Project Web sitesi: <https://theindexproject.org/award/nominees/5252> adresinden alındı
- Trivedi, A. K., Gupta, M., & Singh, H. (2023, Mart). PLA Based Biocomposites for Sustainable Products: A Review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.02.002>
- Tudryn, G. J. (2014). A Formaldehyde-Free, Sustainable Alternative for the Engineered Wood Industry. *RADTECH REPORT*(2), 40-45.

- Uçar Peten, E. (2022). *Beyaz Çürüklük Mantarlarıyla İnkübe Edilmiş Odun Liflerinden Tutkalsız Lif Levha Üretimi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- United Nations Environment Programme. (2022). *2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- Urban Atölye. (2018, Ağustos 1). *MIT IASS'de Alveosis*. Mart 3, 2024 tarihinde Urban Atölye Web sitesi: <https://www.urbanatolye.com/2018/08/01/mit-iassde-alveosis-2/> adresinden alındı
- Vanden Elsacker, E. (2021). *Mycelium Matters-An Interdisciplinary Exploration of the Fabrication and Properties of Mycelium-based Materials*. Brüksel: VUBPRESS.
- Vega, K., & Kalkum, M. (2012). Chitin, Chitinase Responses, and Invasive Fungal Infections. *International Journal of Microbiology*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/920459>
- Vera Meyer | V. meer. (2021a, Eylül 28). MY-CO SPACE | Interview Vera Meyer and Sven Pfeiffer (2021)[Video]. Youtube. Nisan 29, 2024 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=m6F5KzOGJ2M> adresinden alındı
- Vera Meyer | V. meer. (2021b, Haziran 24). MY-CO SPACE | Designing for Co-Habitation (2021)[Video]. Youtube. Nisan 29, 2024 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=NmLZouDokDs> adresinden alındı
- Vera Meyer | V. meer. (2021c, Haziran 24). MY-CO SPACE | Making of (2021)[Video]. Nisan 30, 2024 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=PwASy34yQZ8&t=815s> adresinden alındı
- Vinck, O. (2019, Kasım 5). *Company New Heroes in collaboration with Krown.bio creates mycelium pavilion grown out of agricultural waste*. Nisan 25, 2024 tarihinde Archello Web sitesi: <https://archello.com/news/company-new-heroes-in-collaboration-with-krownbio-creates-mycelium-pavilion-grown-out-of-agricultural-waste> adresinden alındı
- Virginia Üniversitesi Mimarlık Okulu. (2024). *Computational Tectonics Lab*. Mart 1, 2024 tarihinde Virginia Üniversitesi Mimarlık Okulu Web Sitesi: <https://www.arch.virginia.edu/research/computational-tectonics-lab> adresinden alındı
- Vrije Universiteit Brussel. (2019). *From Waste to Biomaterial: Developing Mycelium and Waste-based Materials for the Building Industry*. Mart 1, 2024 tarihinde Vrije Universiteit Brussel Mimari Mühendislik Bölümü Web Sitesi: <https://www.vub.be/arch/project/from-waste-to-biomaterial> adresinden alındı
- Waje, Z. B. (2019). *Biyokompozit Yapı Malzemesinin Uygulama Potansiyeli ve Sürdürülebilir Konstrüksiyonlar için Dayanımın İyileştirilmesi*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- WASTERUSH. (2022, Aralık 14). Mycelium in Architecture/Sculpture Industry - The making of The Circular Garden. Nisan 25, 2024 tarihinde https://www.youtube.com/watch?v=5Ub_AYUYOD4 adresinden alındı
- Wimmers, G., Klick, J., Tackaberry, L., Zwiesigk, C., Egger, K., & Massicotte, H. (2019). Fundamental Studies for Designing Insulation Panels from Wood Shavings and Filamentous Fungi. *BioResources*, 14(3), s. 5506-5520.
- Wolff, B. (2023, Ocak 9). *From Art To Bioengineering: How MycoWorks' Creative Heritage Guides Its Growth*. Temmuz 19, 2024 tarihinde Forbes Web sitesi: <https://www.forbes.com/sites/benjaminwolff/2023/01/09/from-art-to-bioengineering-how-mycoworks-creative-heritage-guides-its-growth/> adresinden alındı
- Wu, J., Zhang, X., Wan, J., Ma, F., Tang, Y., & Zhang, X. (2011). Production of Fiberboard Using Corn Stalk Pretreated with White-rot Fungus *Trametes Hirsute* by Hot Pressing without Adhesive. *Bioresource Technology*, 102(24), s. 11258-11261.
- Xing, Y., Brewer, M., El-Gharabawy, H., Griffith, G., & Jones, P. (2018). Growing and Testing Mycelium Bricks as Building Insulation Materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 121, 022032. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/2/022032>
- Yaşar University Faculty of Architecture. (2021, Ekim 26). Biomaterials: Jonathan Dessi-Olive [Video]. Nisan 18, 2024 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=FfiZXW55um0&t=3495s> adresinden alındı
- Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y., & Xiao, H. (2020, Ocak). Biodegradable Polymers and Green-based Antimicrobial Packaging Materials: A Mini-Review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(1), s. 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.002>
- Ziegler, A. R., Bajwa, S. G., Holt, G. A., McIntyre, G., & Bajwa, D. S. (2016, Aralık). Evaluation of Physico-Mechanical Properties of Mycelium Reinforced Green Biocomposites Made from Cellulosic Fibers. *Applied Engineering in Agriculture*, 32(6), s. 931-938.
- Zin, M. H., Razzi, M. F., Othman, S., Liew, K., Abdan, K., & Mazlan, N. (2016). A Review on the Fabrication Method of Bio-sourced Hybrid Composites for Aerospace and Automotive Applications. *AEROTECH VI - Innovation in Aerospace Engineering and Technology*. 152, s. 012041. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/152/1/012041>
- Zini, E., & Scandola, M. (2011). Green Composites: An Overview. *Polymer Composites*, 32(12), s. 1905 - 1915.
- Zolotovskiy, K. (2017). *Guided Growth: Design and Computation of Biologically Active Materials*. Massachusetts Institute of Technology, Doktora Tezi, Cambridge.

ÖZGEÇMİŞ

Selenay GÜLMÜŞ, ilk, orta ve lise eğitimini Sivas'ta tamamladı. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nde başladığı lisans eğitimini 2020 yılında tamamladı. 2021 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. Yüksek lisans eğitiminin yanında özel sektörde mimarlık çalışmalarına devam etmektedir. İyi derece İngilizce bilmektedir.

