

BİYOLOJİ TEMELLİ TASARIM YAKLAŞIMLARI: CANLI ORGANİZMALARIN TASARIM DİSİPLİNLERİNE DAHİL EDİLMESİ

BIOLOGY-BASED DESIGN APPROACHES: INTEGRATING LIVING
ORGANISMS INTO DESIGN DISCIPLINES

Betül Ünal

Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi,
İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü Yüksek
Lisans Öğrencisi
b.unal91@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-4704-0304

MAKALE GELİŞ TARIHİ: 28 Mayıs 2025 · YAYIMA KABUL TARİHİ: 25 Haziran 2025

Prof. Dr. Duygu Koca

Hacettepe Üniversitesi,
Güzel Sanatlar Fakültesi,
İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü
dygsener@gmail.com

ORCID ID: 0000-0003-4176-8115

Öz

Bu makale, biyolojinin tasarımla kesişimini ele alarak miselyum, alg ve bakteri gibi canlı organizmaların tasarım uygulamalarındaki potansiyelini araştırmaktadır. Çalışmada, literatür taramasına dayalı nitel bir yöntem izlenmiş; yapı endüstrisi, mimarlık, ürün ve malzeme tasarımı alanlarıyla biyolojinin kesiştiği örnek projeler incelenmiştir. Bu kapsamda çalışma, biyotasarımın tasarım disiplinlerine getirdiği yenilikçi bakış açılarını disiplinler arası bir perspektifle değerlendirmekte ve doğayla birlikte üretim anlayışına dair özgün bir çerçeve sunmaktadır. Bulgular, canlı organizmaların tasarıma entegre edildiğinde çevresel etkilere uyum, düşük enerji tüketimi ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi avantajlar sunduğunu; ancak bakım ihtiyacı, dayanıklılık gibi sınırlılıkların da bulunduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, biyotasarımın sadece ekolojik değil, düşünsel bir dönüşüm sunduğu ve doğayla iş birliğine dayalı disiplinler arası tasarım stratejileri geliştirmek için önemli bir potansiyel taşıdığı değerlendirilmiştir.

Abstract

This article explores the intersection of biology and design by examining the potential of living organisms such as mycelium, algae, and bacteria in design practices. A qualitative methodology based on literature review is adopted, focusing on exemplary projects where biology intersects with architecture, construction, product, and material design. The study evaluates biodesign from an interdisciplinary perspective, offering a framework for nature-driven production approaches. Findings reveal that integrating living organisms into design enables environmental adaptability, low energy consumption, and biodegradability, while also presenting limitations such as maintenance needs and material durability. Ultimately, the research suggests that biodesign provides not only ecological but also conceptual and cultural transformation, holding potential for developing design strategies based on cooperation with nature.

Anahtar Kelimeler: Biyotasarım, Biyoloji Temelli Tasarım, Biyomalzeme, Sürdürülebilir Tasarım

Key Words: Biodesign, Biology-Based Design, Biomaterial, Sustainable Design

GİRİŞ

İnsan faaliyetlerinin Dünya'nın çevresel sistemleri üzerindeki etkisinin artarak kalıcı bir hale bürünmeye başlamasıyla birlikte içinde bulunduğumuz çağ insanın yoğunlukla egemen olduğu jeolojik çağ anlamını da içinde barındıran Antroposen Çağı olarak adlandırılmaya başlamıştır (Nijhuis, 2015). İnsanın doğa üzerindeki bu egemenliği doğal kaynakların yetersizliğini de beraberinde getirmektedir. Doğal kaynakların özellikle yapı endüstrisinde kullanılmak üzere yeterli varlığı konusundaki bu belirsizlik nedeniyle hammaddenin sürdürülebilir ve yenilenebilir sistemler kullanılarak üretilmesi, kullanılması veya geri dönüştürülmesi önemli bir hale gelmektedir (Ragauskas, ve diğerleri/et al. 2006). Yapılı çevrenin üretilmesinde özellikle gezegenimizin karşı karşıya kaldığı ekolojik sorunları iyileştirmeye yönelik paradigma değişikliğinin yollarının araştırılması kritik bir öneme sahiptir. Döngüsel niteliğe sahip bir yaklaşım için alternatif malzeme ve üretim tekniklerinin araştırılması gerekmektedir. Bu durum, tüm üretim alanları arasında doğal ve mineral kaynaklarını yoğunlukla tüketmekte olan yapı endüstrisi için özellikle önemlidir.

Dünya yüzeyinden elde edilen hammaddelerin yaklaşık %60'ı yapı endüstrisinde kullanılmaktadır. Yapım aşamasında kullanılan malzemelerin üretimi, toplam enerji tüketiminin %80'inden fazlasını oluşturmaktadır (Álvarez-Chávez, ve diğerleri/et al. 2012). Bu durum, malzeme üretiminde enerji tüketimini ve çevresel etkileri en aza indirme gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda, yenilenemeyen doğal kaynakların kullanımını azaltmak küresel bir sürdürülebilir kalkınma stratejisi olarak kabul edilmektedir. (Alves, ve diğerleri/et al. 2010; Ashby, 2013; Crabbé Jacobs, Van Hoof, Bergmans ve Van Acker, 2013; Haider ve Eder, 2010). Kaynakların tüketilmesi, atık ve kirlilik oluşturmaları ve insan olmayan diğer canlı varlıkların ortadan kalkmasıyla sonuçlanabilen yapı sektörü; oluşturduğu bu tüketim kültürünü sorgulayan, doğal veya insan olmayan diğer canlıları tüketmek yerine onları üretici olarak kullanan bir hale dönüşmenin yollarını araştırmaktadır (Geiser, 2001). Olası bir yol; yenilenebilir, döngüsel bir sisteme sahip ve atığın veya canlı organizmanın dahil edilerek ham veya birincil malzeme kullanımını gerektirmeyen bir yolla üretmektir. Son yıllarda bu amaca yönelik olarak önerilen çözümlerden biri, biyolojiyi tasarım sürecine dahil etmektir.

Modern tasarım, üretim süreçlerinde doğaya daha fazla rol vererek tasarım ve biyolojiyi giderek daha fazla bütünleştirmektedir. Tasarım disiplini de karşılıklı olarak, canlı organizmaların farklı ortamlarda yetiştirilmesi veya işlevselleştirilmesi gibi süreçlerle doğal yaşam üzerinde bir etkiye sahiptir. Bu karşılıklı etkileşim Ginsberg ve Chieza tarafından tasarım ve biyolojik evren arasındaki ilişkilerin genişliğini tanımlamak için kullanılan "biyotasarım"

kavramıyla nitelendirilmektedir. Ginseng ve Chieza bu olgunun olasılıklarını “Eğer tasarım, insanlığın mevcut koşullarını tercih edilen başka türde koşullara dönüştürme süreciyse; o zaman biyotasarım, kendimiz ve diğer canlılar için değişimin neye benzeyebileceğine dair yeni perspektifler sunar” diyerek açıklamaktadır (Ginsberg & Chieza, 2018). Bu bağlamda biyotasarımın; bitki, hayvan, bakteri gibi canlı organizmaların yenilikçi ve sürdürülebilir çıktılar üretmek için kullanıldığı ve tasarım ve biyoloji disiplinlerinin işbirliğine dayandığı söylenebilir (Myers & Antonelli, 2012). Bir diğer deyişle biyotasarım; günümüz çağının ortaya koyduğu sorunları iyileştirmeye yönelik olarak yeni tasarım çözümleri ortaya koymak üzere biyolojiyi tasarım sürecine eklemleyen yeni bir yaklaşımdır (Myers, 2018) ve farklı sektörlerde araştırılan bir alan haline dönüşmüştür (Myers & Antonelli, 2012; Collet, 2013; Ginsberg, ve diğerleri/et al. 2014; Kim, ve diğerleri/et al. 2010; Kim, ve diğerleri/et al. 2022; Groutars & Risseuw, ve diğerleri/et al. 2022). Biyotasarım; sanat, tasarım, mimarlık, insan-bilgisayar etkileşimi (HCI), biyomedikal mühendislik ve tıp gibi yaşam bilimlerine fayda sağlayan disiplinler arası bir alanı kapsar. Bu yeni biçim; biyolojinin yapı bilimi, mimarlık, ürün tasarımı ve malzeme araştırmalarıyla kesiştiği alanlarda tasarımcının rolünü pasif bir alıcıdan aktif bir üreticiye doğru değiştiren yeni bir tasarım pratiğinin ortaya çıkmasında rol oynamıştır (Karana, ve diğerleri/et al. 2015; Myers & Antonelli, 2012; Ribul, 2018).

Yazında biyolojinin tasarım disipliniyle kesişmekte olduğu farklı alanlarda ortaya koyulan proje örnekleri yer almasına rağmen; bu alanların birbirlerinden ayrıştığı sınırlar tam olarak belirlenmiş durumda değildir. Bu durumun, biyotasarım olgusunun tasarım disiplininin farklı alanlarında rol alabilecek olası potansiyellerinin ortaya koyulmasında bir eksiklik oluşturduğu düşünülmektedir. Bu makale, ekolojik bir bakış açısıyla biyolojinin tasarıma dahil edildiği yapı endüstrisi, mimarlık, ürün tasarımı ve malzeme bilimi alanlarından örnek projeler üzerinde ortaya koyarak tasarımın bu alanlarda insan ve doğa ilişkisinin iyileştirilmesinde sunabileceği katkıları araştırmayı amaçlamaktadır. Bu makalede, biyolojinin tasarıma farklı biçimlerde dahil edildiği biyomimikri ve canlı organizmaları oluşturan hücrelerin değiştirilerek, yani hücre sistemlerinin, bir nevi dışarıdan erişilip dönüştürülerek -hacklenerek-kullanıldığı örnekler dışarıda tutulmuş; yalnızca miselyum, alg ve bakteri gibi canlı organizmaların kendi doğal hallerinde tasarıma dahil edildiği örneklerin incelenmesi dahil edilmiştir. Bu tür projelerde doğa artık bir nesne olmaktan ziyade bir özne olarak rol almaktadır. Ortaya koyulan ürün ise böylece iç içe geçmiş bir birlikteliği temsil eder. Bu bağlamda ortaya koyulan projeler biz ve dünyanın geri kalanı arasında oluşan son derece simbiyotik bir bakış açısını savunarak insan ve doğal dünya arasındaki ilişkinin iyileştirilmesinin olanaklarını sunmaktadır.

YÖNTEM

Bu çalışma, biyoloji temelli tasarım yaklaşımlarının güncel tasarım pratiklerindeki yansımalarını anlamaya yönelik olarak yapılandırılmıştır. Nitel bir araştırma yöntemi benimsenmiş, özellikle literatür taraması ve örnek olay incelemeleri temelinde şekillenen bir analiz süreci yürütülmüştür. Araştırmada, biyolojinin tasarıma dahil edildiği yapı endüstrisi, mimarlık, ürün ve malzeme tasarımı alanlarından seçilen projeler üzerinden canlı organizmaların tasarım süreçlerindeki potansiyel katkıları değerlendirilerek disiplinler arası bir yaklaşım benimsenmiştir. Tasarım ve biyoloji arasındaki etkileşimi anlamaya yönelik bu disiplinler arası yaklaşımda, mimari tasarıma ilişkin mekânsal ve işlevsel çözümleme yöntemleri ve malzeme performansına ilişkin veriler; biyolojik organizmaların çevresel adaptasyon dinamikleriyle birlikte bir bütünlük içinde ele alınmıştır. Bu çerçevede seçilen örnek projeler; canlı organizmaların doğrudan tasarıma entegre edildiği, çevresel etkilere tepki verdiği, fiziksel üretim süreçlerine dahil olduğu ve disiplinler arası etkileşimi görünür kıldığı uygulamalar arasından belirlenmiştir. Böylece, yöntemin sunduğu çok boyutlu değerlendirme imkanına uygun olarak, biyotasarımın potansiyeli kapsamlı biçimde incelenmiştir.

Çalışma kapsamı, yalnızca canlı organizmaların doğal formlarıyla tasarım sürecine entegre edildiği örneklerle sınırlandırılmış, genetik müdahale ya da hücre mühendisliği temelli uygulamalar dışarıda bırakılmıştır. Bu çerçevede ilk olarak miselyum, alg ve bakteri gibi organizmalarla gerçekleştirilen tasarımlar çok yönlü biçimde incelenmiş; kullanılan organizmaların üretim süreçlerine, malzeme özelliklerine, çevresel etkilere, sürdürülebilirlik potansiyeline ve uygulama alanlarına dair veriler görsel ve yazılı kaynaklardan derlenmiştir. İncelemede, seçilen her örnek bağlamında organizmaların yaşamsal gereksinimleri ile tasarım ve üretim sürecindeki rolü karşılaştırmalı biçimde analiz edilmiştir. Bunun yanı sıra, ele alınan uygulamaların avantajları kadar sınırlılıkları da değerlendirilerek, biyotasarımın mevcut potansiyeli ile karşı karşıya olduğu teknik ve çevresel zorluklar ortaya konmuştur. Böylece çalışma, biyolojik organizmalarla sürdürülebilir tasarım üretiminin olanaklarını, sınırlarını ve gelecek araştırmalara yönelik açılımları disiplinler arası bir bakışla tartışmayı amaçlamıştır.

CANLI ORGANİZMALARLA TASARLAMAK: MİSELYUM, ALG VE BAKTERİ

Canlı organizmaların tasarım süreçlerine dahil edilmesi, biyoloji ve tasarımı harmanlayan yeni bir mimari çözüm anlayışını ortaya çıkarmıştır. Bu yaklaşım,

mantarlar, algler ve bakterilerin yeteneklerinden yararlanarak yenilikçi malzemeler ve yapı bileşenleri geliştirmek için sinerjik bir çaba gerektirmektedir (Chayaamor-Heil, ve diğerleri/et al. 2023). Bitki alemi (plantae), enerji üretimi gibi ekolojik süreçlerle bağlantılı olan özellikleri nedeniyle tasarımda daha yaygın olarak kullanılmakta ve tasarım alanlarında hayvan alemine (animalia) göre daha fazla yer almaktadır (Pick, 2022; Benson, 2022; Castro, diğerleri. 2020). Son yirmi yılda, bitkilerin mimariye entegrasyonunu sağlayan, özellikle yeşil cephe ve çatı sistemi tasarımlarını içeren birçok proje gerçekleştirilmiştir (Wang, ve diğerleri/et al. 2022; Largurgue, 2020; Trombadore, ve diğerleri/et al. 2019). Mimarlar arasında bitkiler ve ağaçlar daha yaygın bilinmekte olup, mantar, yosun, bakteri ve maya gibi mikroorganizmalar uzun süredir gıda ve ilaç endüstrilerinde kullanılmaktadır (Alves, ve diğerleri/et al. 2010). Ancak bu mikroorganizmaların kullanım alanları giderek diğer endüstrilere de yayılmaktadır. Miselyum, alg, bakteri gibi biyolojik canlılar bir araya getirilerek, dayanıklı ve biyolojik olarak parçalanabilir yeni ürünler yaratılmakta ve pek çok yenilikçi tasarım ortaya çıkmaktadır.

Mantarlar, yeryüzündeki en büyük canlı organizmalardır (Sheldrake, 2020). Çeşitli organik substratlar üzerinde büyüyerek, miselyum adı verilen dallanmış liflerden oluşan karmaşık ağlar oluştururlar. Mantarın bitkisel kısmı olan miselyum, esas olarak kitin, selüloz ve proteinlerden oluşan kompozit, lifli bir malzemedir (Ginsberg ve Chieza, 2018). Miselyum, düşük değerli malzemelerin (örneğin, ambalajlar) ve ticari değeri az olan ya da hiç olmayan tarımsal ve endüstriyel atıkların, yüksek değerli kompozit malzemelere dönüştürülmesinde kullanılan doğal bir biyolojik yapı katmanıdır (Oxman, 2010; Frazzetto, 2003). Tasarım sürecinde miselyum, hifal mikro-filamentler aracılığıyla organik maddeleri birbirine bağlar. Bu sayede, tarımsal kalıntılardan oluşan alt tabaka dolgu maddesini bir arada tutar ve kompozit malzemede yük aktarımını sağlayan bir yapı oluşturur. Bu işlev, polimer kompozitlerde matris fazının işlevine benzer bir rol üstlenir (Nguyen, ve diğerleri/et al. 2018).

Miselyum türevi malzemeler, düşük maliyet, düşük yoğunluk, düşük enerji tüketimi, biyolojik olarak parçalanabilirlik, düşük çevresel etki ve düşük karbon ayak izi gibi önemli avantajlar sunmaktadır (Holt, ve diğerleri/et al. 2012). Kontrollü işleme teknikleriyle (örneğin, büyüme ortamı ve sıcak presleme) birleştirilen geniş yelpazedeki ek bileşenler, miselyum türevi malzemelerin yangına dayanıklılık ve termal ve akustik yalıtım gibi belirli yapı gereksinimlerini karşılamasını sağlar (Frazzetto, 2003; Oxman, 2010). Bu özellikler, miselyum türevi malzemelerin, sentetik düzlemsel malzemelere (örneğin, plastik filmler ve levhalar) ve daha büyük düşük yoğunluklu nesnelere (örneğin, sentetik köpükler ve plastikler) çevre dostu alternatifler olarak kullanılmasına olanak tanır. Ayrıca, yarı yapısal malzemeler (örneğin, panel, döşeme, mobilya, zemin

kaplaması) olarak da çevresel olarak sürdürülebilir inşaatta yeni olanakların kapısını aralar (Garg, ve diğerleri/et al. 2020; Karana, ve diğerleri/et al. 2015; Ginsberg, ve diğerleri/et al. 2014; Myers, 2018; Collet, 2020; Bader, ve diğerleri/et al. 2016). Bunların yanında, miselyum malzemelerinin mevcut uygulamalarını sınırlayan çeşitli faktörler de bulunmaktadır. Bunların başında, malzemenin köpük benzeri mekanik özellikleri, yüksek su emilimi ve malzeme özellikleriyle ilgili belgelemedeki eksiklikler gelmektedir (Collins, 2012). Bu sınırlamalar, yalıtım, kapı içleri, paneller, döşeme, dolap ve diğer mobilyalar gibi belirli uygulamalarda hedeflenen kullanıma yönelik olarak bu malzemelerin daha fazla araştırılmasını ve geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Algler, göller, göletler, nehirler, okyanuslar ve hatta atık sular gibi çeşitli su habitatlarında yetişen fotosentetik organizmalar olarak dikkat çekerler. Bu organizmalar, geniş bir yelpazede sıcaklık, tuzluluk, pH değeri, ışık yoğunluğu ve diğer çevresel koşullara dayanabilme yeteneğiyle doğal uyum sağlama yeteneklerini ortaya koyarlar. Algler, tek hücreli mikroalglerden makroalg olarak bilinen çok hücreli deniz yosunlarına kadar geniş bir biyolojik çeşitlilik gösterir. Doğadaki bu çeşitlilik, alglerin tarım, sağlık, gıda, enerji ve çevre yönetimi gibi birçok farklı alanda kullanım potansiyelini artırmaktadır (Khan, ve diğerleri/et al. 2018).

Alglerin tasarım ve sürdürülebilirlik alanındaki kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Örneğin, alglerden elde edilen pigmentler, tekstil boyama süreçlerinde toksik kimyasalların yerine kullanılmakta ve sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (Fulbright, 2016). Aynı şekilde, alglerden üretilen biyofilmler, hem hava temizleyici sistemlerde hem de bina cephelerinde işlevsel bir materyal olarak kullanılabilir. Bu biyofilmler, fotosentetik özellikleri sayesinde çevredeki karbondioksiti emerek oksijen üretirken aynı zamanda enerji tasarrufuna katkıda bulunurlar. Köpük dolgu maddeleri gibi malzemelerde de alglerin kullanımı, tasarım ve yapı endüstrisinde çevresel etkileri azaltmak için yeni olanaklar sunmaktadır (Earth, 2020; Lu, ve diğerleri/et al. 2019).

Mikroalglerin mimaride kullanımı, hem mikro hem de makro düzeyde çevresel faydalar sağlamaktadır. Örneğin, bina cephelerinde kullanılan alg biyoreaktörleri, enerji tasarrufu, karbondioksit emisyonlarının azaltılması ve oksijen üretimi gibi faydalar sunmaktadır. Bu biyoreaktörler, fotosentez süreçlerini mimariye entegre ederek, çevre dostu enerji ve biyoyakıt üretimini mümkün kılmaktadır (Becker, 2007). Ayrıca, atık suyun arıtılması ve geri dönüşümü gibi süreçlerde alglerin kullanımı, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir çözüm sunmaktadır. Kent ölçeğinde yapılan projelerde, alglerin şehir altyapılarına entegre edilmesi, karbon ayak

izini azaltmanın yanı sıra su kaynaklarının verimli kullanımına da katkıda bulunmaktadır (Pardes, 2024).

Bunlara ek olarak, alglerden üretilen biyoaktif bileşikler, ilaç endüstrisinde yeni antibiyotiklerin ve antiviral ilaçların geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Kim, ve diğerleri/et al. 2010). Alglerin yüksek protein, vitamin ve mineral içeriği, gıda endüstrisinde bir süper gıda kaynağı olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Örneğin, spirulina ve chlorella gibi mikroalg türleri, besin takviyeleri ve sağlık ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Khan, ve diğerleri/et al. 2018). Bu çok yönlü organizmalar, hem doğal kaynakların korunması hem de yeni nesil sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi için geleceğin önemli biyolojik araçlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Bakteriler, doğada, toprakta ve bitkilerde yaygın olarak bulunan tek hücreli prokaryotik mikroorganizmalardır (Huang ve Tang, 2007). Çeşitli çevresel koşullara adapte olabilen bu mikroorganizmalar, farklı sıcaklık aralıklarında ve pH seviyelerinde kolayca yetiştirilebilir. Ayrıca, atık maddelerden ve yenilenebilir kaynaklardan besinleri hızla emerek kısa sürede çoğalırlar (Iguchi, ve diğerleri/et al. 2000). Bakteriler, fermentasyon endüstrisi başta olmak üzere birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Tür iyileştirme ve genetik manipülasyon süreçlerinin kolaylığı, bakterilerin biyofabrikasyon uygulamalarında önemli bir rol üstlenmesini sağlamaktadır. Örneğin, pigmentlerin, ipek benzeri tekstil liflerinin, esnek selülozun ve biyo deri gibi yenilikçi malzemelerin üretilmesinde bakteriler sıklıkla kullanılmaktadır (Ng ve Wang, 2016).

Bu uygulamalar arasında özellikle dikkat çekenlerden biri bakteriyel selülozdur. Bakteriyel selüloz, bitki bazlı muadilinden farklı olarak daha ince bir yapıya sahip olup, herhangi bir bozucu ek madde içermez. Bu malzeme, karmaşık ve üç boyutlu bir nano yapıya dayanır ve olağanüstü mekanik özellikler sunar. Özellikle ıslak haldeyken gösterdiği yüksek mekanik stabilite, onu çok yönlü bir malzeme haline getirir. Çelikle sıkıştırılabilir olması gibi özellikleriyle öne çıkan bakteriyel selüloz, dayanıklılığı ve esnekliği sayesinde biyoteknoloji ve malzeme biliminde geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır (Peters, 2014).

Kullanılan üç farklı canlı türü, her bir organizmanın tasarım sürecini, üretimini ve prototip ya da uygulama geliştirmeyi doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Her organizmanın yaşamsal özellikleri ve performansları farklı olduğundan, farklı çevre koşullarında hayatta kalabilmeleri için kendilerine özgü bakım gereksinimleri bulunmaktadır. Örneğin, bir organizma yüksek sıcaklıklara dayanabilirken, diğerinin nemli ortamlarda daha iyi gelişmesi gerekebilir. Bu da tasarım sürecinin organizmaların yaşamsal gereksinimleriyle sıkı bir şekilde bağlantılı olduğunu gösterir. Tasarımcılar, her organizmanın özelliklerine

göre uygun çevresel koşulları sağlamak ve onların potansiyelini en iyi şekilde kullanmak için dikkatli bir planlama yapılmalıdır.

Canlı organizmaları tasarıma dahil etmenin birçok avantajı bulunmaktadır. Geleneksel bina tasarımından farklı olarak, canlı organizmalar çevresel uyarınları algılama, bunlara uyum sağlama ve yanıt verme yetenekleri gibi son derece ilginç ve dinamik özellikler sergiler; ancak, canlı organizmaların mimaride ve inşaatla kullanımına yönelik bazı zorluklar ve dezavantajlar da mevcuttur. Bu dezavantajlar, organizmaların bakım ihtiyaçlarının yüksekliği, çevresel faktörlere karşı hassasiyetleri ve biyosistemlerin öngörülemez doğası gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır. Örneğin, bir organizmanın tasarımdaki rolü, çevre koşullarındaki ani değişimlere karşı oldukça hassas olabilir ve bu da işlevselliğini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, canlı organizmaların zaman içindeki büyüme ve evrim süreçleri de tasarım sürecini etkileyebilir, bu da projelerin sürdürülebilirliğini zorlaştırabilir. Bu tür zorlukların üstesinden gelmek için daha fazla araştırma ve geliştirme çalışması gerekmektedir. Özellikle, öngörülemeyen biyolojik sistem davranışları ve organizmaların çevresel değişimlere verdiği tepkiler üzerine daha derinlemesine çalışmalar yapılması, tasarım sürecinin başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi için kritik öneme sahiptir.

İleriye dönük olarak, canlı organizmalarla tasarım ve üretim süreçlerini daha verimli hale getirebilmek için yeni yöntemlerin ve teknolojilerin keşfi büyük bir önem taşımaktadır. Bu süreç, organizmaların biyolojik özelliklerini daha iyi anlamak, kontrollü ortamlar yaratmak ve tasarımın sürdürülebilirliğini artırmak adına kritik adımlar içermektedir. Ayrıca, biyoteknolojik yenilikler ve biyomühendislik uygulamaları, bu organizmalarla çalışma sürecinin daha dengeli ve güvenilir hale gelmesine olanak tanıyabilir. Canlı organizmaların mimaride kullanımı, doğa ile uyum içinde tasarım yapmanın sınırlarını zorlamakta ve sürdürülebilir bir geleceğe katkı sağlamak adına önemli fırsatlar sunmaktadır.

TASARIM DİSİPLİNİ VE CANLI ORGANİZMA İŞ BİRLİKLERİ

Tasarım disiplinlerinin canlı organizmalarla iş birliği, sürdürülebilirlik ve çevresel sorumluluk açısından önemli bir dönüşüm sürecine destek olmaktadır. Bu bölümde, miselyum, alg ve bakteri gibi canlı organizmaların yapı endüstrisi, mimarlık, ürün ve malzeme tasarımı gibi disiplinlerle iş birliği içinde kullanımı incelenmekte; bu kesişimin çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve kaynak tasarrufuna sağladığı katkılar örneklerle ele alınmaktadır.

Yapı Endüstrisi

Dünya daha sürdürülebilir uygulamalara doğru acil bir geçiş ihtiyacıyla karşı karşıyayken, büyük miktarda kaynak kullanımı ve karbon emisyonuna neden olan yapı endüstrisinin sürdürülebilirliğe yönelik kendi yolunu geliştirmesi gerekmektedir. Enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması genel çevresel etkinin azaltılması için gereken önlemler arasında yer almaktadır (EU, 2010). Binalarda uygulanan enerji tasarrufu stratejileri genel olarak aktif ve pasif yaklaşım olarak ayrılmaktadır (Al-Obaidi, ve diğerleri/et al. 2014). Pasif yöntemler doğal kaynakların kullanımına bağlıyken, aktif sistemler HVAC veya fotovoltaiik sistemler gibi elektrik kullanan mekanik yöntemlerdir (Ma, ve diğerleri/et al. 2019). Yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir kaynakları kullanan biyotasarım yaklaşımıyla üretilen yapı strüktürlerinin bu bağlamda pasif sistem sınıflandırılmasında yer aldığını söylemek mümkündür. İçerisinde canlı organizmaların bulunduğu bu tür uygulamalarda, geleneksel üretimde yapının üretim süreci tamamlandıktan sonra bozulmaya başlamasından farklı olarak, canlı organizmaların çevreleriyle etkileşime girmeleri nedeniyle yapının yaşam sürecine dahil olarak yeni döngüler yaratılmasına olanak tanımaktadır. Örneğin, atık olarak adlandırılan malzemeler bu tür uygulamalarda canlı organizmalar tarafından sindirilerek yapının yaşam sürecini destekleyen yeni bir bileşene dönüşmektedir. Yazında biyoloji bazlı malzemelerden üretilen yapı bileşeni projelerine özellikle son yıllarda sıklıkla rastlanılmakta ve etkileri tartışılmaktadır.

Biyoloji bazlı malzemelerin üretiminin yapı endüstrisinde kullanılmasının en destekleyici yönlerinden biri, bu malzemelerin uyarlabilirlik ve değişkenlik bağlamında büyük bir potansiyele sahip olmasıdır. Miselyumdan oluşturulan biyokompozitlere bakıldığında, farklı mantar türleri hem üretim süreci hem de yapı bileşeninin performansı açısından farklı sonuçlar ortaya koyabilmektedir. Miselyum türevi malzemelerin, geleneksel sentetik malzemelere göre düşük maliyet, yoğunluk ve enerji tüketiminin yanı sıra biyolojik olarak parçalanabilirlik, düşük çevresel etki ve karbon ayak izi gibi birçok önemli avantajı vardır (Haneef, ve diğerleri/et al. 2017; Abhijith, ve diğerleri/et al. 2018).

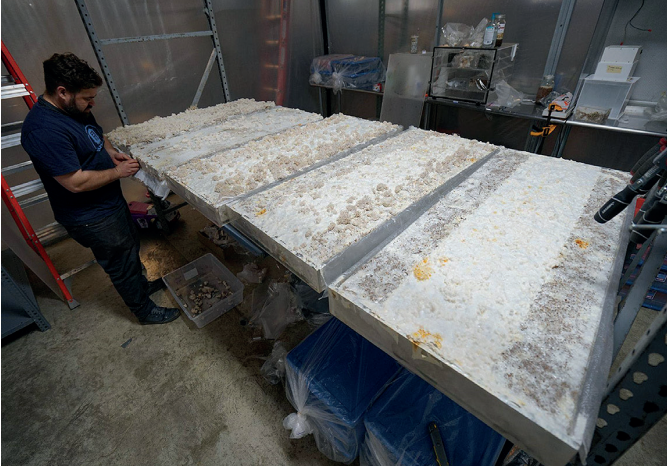
Büyüme ortamının sağlanması veya sıcak baskılama gibi kontrollü işleme teknikleri ile farklı biçimlerde kullanılabilir ek malzemeler sayesinde miselyum türevi malzemeler, yangına dayanıklılık, termal ve akustik yalıtım dahil olmak üzere belirli yapısal ve işlevsel gereksinimleri karşılayabilmektedir (Pelletier, ve diğerleri/et al. 2013). Bu durum, miselyum türevi malzemelerin yalnızca levha gibi sentetik ve yüzeysel malzemelere (Haneef, ve diğerleri/et al. 2017) ve sentetik köpük veya plastik gibi daha büyük boyutlu ve düşük yoğunluklu nesnelere (Holt, ve diğerleri/et al. 2012; Pelletier, ve diğerleri/et al. 2013) atık

türevli çevre dostu alternatifler olarak kullanılmalarına izin vermekle kalmaz, aynı zamanda panel ve döşeme gibi yarı yapısal malzemeler (Jiang, ve diğerleri/et al. 2016) olarak da yapı endüstrisinde kendilerine yer bulmaktadır.

Miselyumun büyümesi için kullanılan saman ve kenevir lifleri gibi yüksek performanslı doğal yalıtım malzemeleriyle oluşturulan biyokompozitler, hem düşük yoğunluklara ($57-99 \text{ kg/m}^3$) hem de termal iletkenliklere ($0,04-0,08 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) sahiptir (Görsel 5). Bu özellikler, bu malzemeleri cam yünü (57 kg/m^3 , $0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) gibi geleneksel ticari ısı yalıtım ürünleriyle ve koyun yünü gibi diğer doğal yalıtım malzemeleriyle (Papadopoulos, 2005) karşılaştırılabilir hale getirmektedir.

Son zamanlarda yapılan çalışmalar ve ticarileştirme çabaları, özellikle ambalajlama (Holt, ve diğerleri/et al. 2012); ısı yalıtımı (Pelletier, ve diğerleri/et al. 2013); panel, döşeme, mobilya tasarımı gibi (Abhijith, ve diğerleri/et al. 2018) alanlarda miselyum malzemelerinin ve miselyum kompozitlerinin önemli potansiyelini ortaya koymuştur.

Yaşayan Duvar Sistemi adlı araştırma projesi, 2018 yılında Akron Üniversitesi araştırmacıları tarafından, miselyum bazlı malzemelerin dış mekân koşullarındaki dayanıklılığını test etmek amacıyla yürütülmüştür (Chayaamor-Heil, ve diğerleri/et al. 2024). Bu projede, canlı organizmaların dış cephe malzemesine dahil edilerek kullanım ömrü boyunca cephenin canlı kalabilme potansiyeli üzerinde durulmuştur. Miselyum bazlı panelleri oluşturmak için beş farklı ek bileşen kullanılmıştır; üçü tek bir bileşenden (mısır sapı veya kenevir sapı) ve ikisi birden fazla bileşenin kombinasyonundan (kenevir sapı ve mısır sapı veya talaş, soya kabuğu ve alçı) oluşmaktadır. Bu ek bileşenlere göre üretim sürecinde değişiklikler gözlemlenmiştir. Büyüme tamamlandıktan sonra, paneller kurutma, fırınlama ve sıkıştırma işlemlerine tabi tutulmuş ve ardından dış cepheye monte edilmiştir. Cephenin dış mekân dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla, her panelin bir yıl boyunca aylık olarak ön ve yan yüzeylerinin fotoğrafları çekilerek kalınlıkları ve dokuları ölçülüp izlenmiştir. Bu incelemede, büyüme sonrası kurutulmuş ve sıkıştırılmış panellerin şekillerini en iyi şekilde korudukları gözlemlenmiştir (Görsel 1-2). Çalışmanın sonucunda, miselyumun kurutularak canlı tutulmasının, kendi kendini iyileştirme kabiliyetini koruduğu ortaya konulmuştur. Bu araştırma projesi, biyolojinin tasarımıyla birleşerek yapı endüstrisindeki mevcut uygulamalara yeni bir yaklaşım oluşturmasını destekler niteliktedir.



Görsel 1-2. Yaşayan Duvar Sistemi.

Miselyum kullanılarak oluşturulan bir yapı bileşeninin üretim aşamasında, strüktürel açıdan bakıldığında, gerilme ve basınç dayanımı, elyaf yapışkanlığı, ısı iletkenliği, hidrofobiklik, görünüm ve dayanıklılık gibi faktörler devreye girmekte ve farklı mantar türlerinin biyolojik özelliklerinin yanı sıra üretim koşulları da yapı bileşeninde değişkenlik oluşturmaktadır (Oxman, 2010). Farklı koşullar altında canlı organizmanın büyüme hızı, dallanma biçimleri ve genetik ilerleme, mantar türünün seçiminde önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Nyugen, ve diğerleri/et al. 2018). Ortaya koyulması hedeflenen yapı bileşeninin özelliklerine bağlı olarak biyolojik bazlı malzemenin içeriği ve bu malzemenin üretim yöntemleri değişkenlik gösterebilir.

Claudia Pasquero ve Marco Poletto'nun "BioTechHUT" projesi, içinde yaşayan organizmaları destekleyen bir yapı içermektedir. Kullanıcı ve projede kullanılan algler arasında simbiyotik bir ilişki bulunmaktadır. Kullanıcı çevreyi karbondioksit ile beslerken, bakteriler ve algler arasındaki ortak yaşam da bu gazları toplayarak oksijen, biyokütle ve elektrik üretmektedir. Araştırmacılar, bu sistemi binanın kabuğuna entegre olacak şekilde geliştirmişlerdir. Oluşturulan bu sistem, ortalama bir Birleşik Krallık evinin bir günlük ihtiyacını karşılayarak saatte 10 kW enerji üretebilmektedir (Pasquero ve Poletto, 2020) (Görsel 2-3).



Görsel 2-3. BioTechHUT.

Rusya Doğu Federal Üniversitesi (FEFU) araştırmacıları, *Bacillus cohnii* bakterileri ve kalsiyum karbonat (CaCO_3) içeren bir konsantreyle çatlakları kendiliğinden kapatan ve dayanıklılığı artıran bir beton geliştirmiştir. Bu kendi kendine iyileşen beton, özellikle küçük çatlakların olduğu ve yüksek nem ile yağış alan, sismik açıdan tehlikeli bölgelerdeki inşaat projeleri için oldukça yararlıdır. Beton, nem ve donma/çözülme döngüleri gibi dış etkenlerle zamanla çatlayabilir ve yapının bütünlüğünü tehlikeye atabilir. Çatlama durumunda, bakteriler oksijen ve nemi kullanarak 28 gün içinde çatlakları iyileştirmekte ve *Bacillus cohnii* sporlarının betonda 200 yıl kadar yaşayarak yapıların ömrünü uzatabileceği belirtilmektedir (Jonkers, 2007) (Şekil-4).



Görsel 4. Kendi Kendine İyileşen Beton.

Bu tür örnekler, biyolojinin mimari tasarım ve diğer disiplinlerle bütünleşmesinin, çağdaş çevresel ve toplumsal sorunlara yaratıcı ve sürdürülebilir çözümler getirebileceğini ortaya koymaktadır. Miselyum bazlı yapı malzemelerinin enerji tasarrufu ve karbon emisyonlarının azaltılmasındaki rolü, alglerin bina

cephelerinde doğal ışık filtresi ve hava temizleyici olarak kullanımı, ya da bakterilerin kendi kendini onaran beton üretimindeki katkısı gibi uygulamalar, bu yaklaşımın yapım endüstrisindeki potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu tür biyolojik çözümler, yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmaz, aynı zamanda tasarıma canlılık, adaptasyon ve yenilikçi işlevler kazandırarak malzeme ve yapı anlayışını dönüştürür. Biyolojinin tasarımıyla bütünleşmesi, hem doğadan ilham alan hem de doğa ile uyumlu tasarımların hayata geçmesini mümkün kılar.

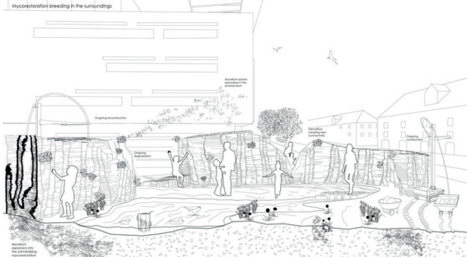
Mimarlık

Günümüzde doğanın “yaşayan bir mimarı” olarak tasarıma dahil edilmesi, genellikle yeşil cepheler veya farklı mimari bileşenler için doğal bitki veya ahşap kullanımıyla sınırlı kalmaktadır (Ludwig ve Schönle, 2022). Yeni sanayi devriminin getirdiği değişikliklerle birlikte mekanize üretimden biyolojik olarak yönlendirilen süreçlere olan geçişler canlı organizma türlerinin mimari uygulama alanlarında kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Döngüsel yapı endüstrisinin tasarım sürecinde biyolojik olarak parçalanabilecek malzemelere odaklanmasını teşvik etmesi nedeniyle mimarlar, projelerinde canlı organizma kullanımına giderek daha fazla ilgi göstermektedir. Canlı organizmaların tasarım ve mühendislik alanlarındaki bu yeni mevcudiyeti, yapıları çevrenin yeni ekolojik modellerini sunmaktadır (Hebel ve Heisel, 2017).

Biyotasarım, ekolojik nitelikleri göz önünde bulundurulduğunda, 21. yüzyıl binaları için umut verici bir kaynak olarak kabul edilmektedir (Sandak, ve diğerleri/et al. 2019). Mimari alanda canlı organizmalarla tasarım yapmak, sürdürülebilir ve rejeneratif bir geleceğe doğru önemli bir dönüşümü simgelemektedir. “Yeni ekolojik paradigma” vizyonunu benimsemek için ileri teknolojiler, yenilikçi tasarım süreçleri, dijital ve biyofabrikasyon tekniklerinin yanı sıra biyo-iş modellerinin geliştirilmesi, bina standartlarının oluşturulması ve toplumsal kabul ile zihniyet değişikliğinin sağlanması gibi birkaç önemli unsurun ele alınması gerekmektedir.

Canlı organizmaların kullanımı daha sürdürülebilir bir yapıları çevreye yönelik bir dizi olumlu potansiyel gösterse de mimaride, bina standartları ve yönetmeliklerine göre yerine getirilmesi gereken çok katmanlı gereklilikler vardır, bu da canlı organizmaların tasarım üretiminde daha fazla uygulanmasını sınırlamaktadır. Ayrıca, canlı organizmaların tasarımda kullanımı, geleneksel yapı uzmanları arasında henüz geniş ölçüde bilinmemektedir. Canlı organizmaların mimari bileşenlere veya yapı malzemeleri tasarımına entegrasyonu, laboratuvarlardaki teorik araştırma düzeyinde ve gerçek dünya uygulamalarında ana boşluklar olduğu için hala ön aşamadır. Buna rağmen özellikle mimari alanda canlı organizmaların tasarıma dahil edildiği uygulamalar giderek artmaktadır.

Mimari ve doğa arasındaki bu ortaklık, teknoloji kullanarak üretim üzerine programlanan robotlar ve canlı organizmalar arasında ilişki kurmayı da kapsamaktadır. Claudia Colmo'nun "Huzursuz Labirent" adlı çalışması, bina ölçeğinde kullanılması istenen miselyum kompozitlerin kurgulanması için miselyum ağını hesaplamalı olarak aktif bir malzeme gibi davranacak şekilde manipüle etmek gibi teknolojik atılımlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, zamanla büyüyen bir mimari üretimi üzerine odaklanan bir araştırmadır (Colmo ve Ayres 2020). Bu tür yapıların üretilmesi için, biyolojik olarak çözünebilir bir malzemenin üç boyutlu baskı teknolojisine uyumlu olacak şekilde tasarlanması gerekliliği ortaya konmuştur. Araştırmacı, lignoselülozik ek bileşenleri üç boyutlu baskılı toprak bazlı bir kompozit içinde kullanarak projeyi yürütmektedir (Colmo ve Ayres 2020). "Huzursuz Labirent" malzeme bileşimi açısından başarılıdır; sağlık ve biyolojik uyumluluk ilkelerine dayanırken, içerdği organizmalarla simbiyotik bir bağ kurmaktadır. Colmo, bu araştırmasıyla yapılı çevreyi iyileştirmek için biyolojiyi kullanarak insan ve diğer türler arasındaki ilişkiyi inceleyen bir alana katkıda bulunmakla birlikte, canlı organizmaları yapay bir sisteme dahil etmenin yavaş ve zorlu bir süreç olduğunu da belirtmiştir (Görsel 5-6).



Görsel 5-6. *Huzursuz Labirent.*

Dünyanın ilk alglerle enerji üreten binası, 2013'te Hamburg'daki Uluslararası Yapı Sergisi'nde mühendislik firması Arup tarafından tanıtılmıştır. "Biyoreaktör cephe" olarak adlandırılan bu sistem, BIQ binasının güneşe bakan taraflarına yerleştirilen "ikinci deri" şeklinde monte edilmiştir. Bu paneller, doğrudan güneş ışığında büyüyen algleri içerir ve daha sonra toplanarak, binanın kalbinde bir jeneratörde yakılan biyoyakıta benzer bir hamura dönüştürülür. Algler, karbondioksit ve su pompası aracılığıyla sağlanan besin maddeleriyle beslenir ve ek enerji, güneş panelleriyle elde edilerek 80 metrelik tuzlu suyla dolu sondaj deliklerinde depolanır. Binanın tamamı kendine yeterli olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sistemin yan etkisi olarak, alg panelleri binanın sakinlerine gölgeleme sağlar. BIQ binası, içinde 15 daire barındırmakta olup, bunlardan ikisi sabit iç mekan düzenlerine sahip değildir. Bunun yerine, dairenin işlevleri – banyo, mutfak, yatak odası – sakinlerin ihtiyacına göre değiştirilip, bir "nötr alan" oluşturacak şekilde tasarlanmıştır (Görsel 7).



Görsel 7. BIQ Binası.

Londra merkezli mimar Bastian Beyer ve tasarımcı Daniel Suarez, bakterilerin tasarımıyla buluşarak ortaya koyduğu potansiyeli “Column Project” adlı projelerinde kullanmaktadır (Beyer & Suarez, 2018). Bu projede, mikroorganizmalarla beslenen tekstillerden, karbon yoğun malzemelere sürdürülebilir ve biyolojik olarak çözünür alternatif yapılar üretilmektedir. Projenin temelinde, hem bir dokuma tezgahı hem de biyoreaktör işlevi gören bir cihaz yer almaktadır. Jüt kumaş üzerine binlerce bakteri ile zenginleştirilmiş bir mikrobiyom oluşturulmakta ve eklenen kalsiyum klorür ve üre ile bakteriler harekete geçirilerek, kumaşın iplik yapısını değiştirip dokuyu üç gün içinde sertleştirmektedir.

Bu tekstil yapısı, karbon fiber veya fiberglass gibi malzemelerin gücüne sahip olmasa da sağlamdır ve “mekan bölücüler, gölgeleme elemanları, güçlendirme ve hatta potansiyel olarak yapısal çatı veya duvar sistemleri” gibi uygulamalar için kullanılabilir. Projenin biyolojik tasarımı, aynı zamanda kendini onaran bir teknoloji olma potansiyeline sahiptir. Beyer, projeyi “biyolojik, dijital ve insani etkileşimlerin birleştiği bir üretim süreci” olarak tanımlamaktadır (Görsel 8).



Görsel 8. Column Project.

Biyolojik organizmaların mimari tasarım ve yapı malzemelerine entegrasyonu, sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve malzeme kullanımında dönüşüm potansiyeli sunan yenilikçi bir yaklaşımdır. Huzursuz Labirent”, BIQ binası ve “Column Project” gibi projeler, biyolojinin tasarımla bütünleştiğinde hem insan ihtiyaçlarını karşılayan hem de çevreyle simbiyotik bir ilişki kuran çözümler üretebileceğini göstermektedir. Bu çalışmalar, biyolojik malzemelerin mimarlıkta gelecekteki olası rolünü gözler önüne sererken, aynı zamanda tasarım disiplinlerinde teknoloji, doğa ve insan arasındaki etkileşimi güçlendiren yeni bir paradigma yaratmaktadır.

Ürün Tasarımı

Canlı organizmaların daha küçük ölçeklerde sürdürülebilir, işlevsel, dayanıklı ve sağlığa zarar vermeyen ürün tasarımlarının ortaya çıkarılması amacıyla da ana tasarım sürecine dahil edildikleri görülmektedir. Canlı organizmaların üretime entegrasyonu, çok işlevlilikleri ve büyüme, dönüşme, kendini onarma, algılama ve otonom bir şekilde çevreye uyum sağlama yetenekleri sayesinde yeni fırsatlar sunmaktadır. Çalışmanın sonuçlarına göre, miselyum kompozitler hafif, sürdürülebilir ve dayanıklı yapıları açısından umut verici mekanik özelliklere sahiptir (Travagliani ve diğerleri/et al. 2013). Başka bir deyişle, yoğunluğu ve mukavemet seviyesi açısından miselyum bazlı malzemeler polistiren köpüklerle benzerlik göstermektedir. Bu özellikler dikkate alındığında, günümüzde ürün tasarımı alanında canlı organizmalar içeren malzemelerin kullanılmasının yeni olanaklar yaratabileceği söylenebilir. Örneğin, ambalaj sorununa ekolojik bir çözüm bulmak amacıyla Ecovative şirketi, ürünleri korumak için biyobazlı ve biyolojik olarak parçalanabilir bir paket geliştirmiştir (Görsel 9).



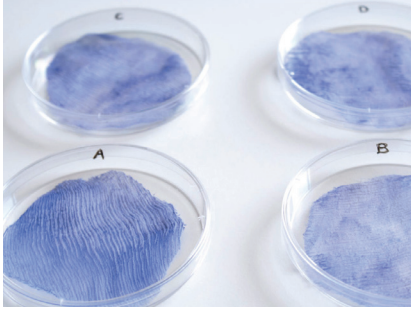
Görsel 9. Ecovative.

Jonas Edvard ve Nikolaj Steenfatt, alg ve atık kağıtları birleştirerek oluşturdukları sert ve dayanıklı bir biyomalzemeden oturma elemanı ve aydınlatma ürünlerinden oluşan bir koleksiyon üretmişlerdir. Bu projenin amacı, yerel malzemelerden türetilen ve bu sayede kültürel bir karakter kazanan ürünler tasarlamaktır. Üretilen ürünlerin rengi, Danimarka kıyılarından toplanan yosunların doğal renklerine göre değişiklik göstermektedir. Bu durum, ürünler ve üretildikleri yer arasındaki kültürel ilişkiyi vurgulayan bir nitelik kazandırmaktadır. Ayrıca, ürünler büyük miktarda azot, iyot, magnezyum ve kalsiyum içermeleri nedeniyle parçalanıp yeniden kullanılabilir ya da doğal gübre olarak geri dönüştürülebilir bir niteliğe sahiptir (Görsel 10-11).



Görsel 10-11. Alg Koleksiyonu.

Bakterilerin pigment üretiminde kullanımına dair örnekler de dikkat çekicidir. 2016 yılında Laura Luchtman ve Ilfa Siebenhaar, bakterilerle doğal tekstil boyama olanaklarını araştırmak amacıyla Living Colour projesini başlatmışlardır. Bu proje kapsamında bakteriler, tekstil ürünleri üzerinde doğrudan yetiştirilerek spor kıyafetlerini renklendirmiştir. Bakteriler, besinleri fermente ederken, tekstil üzerinde görünür büyüme desenleri bırakan pigmentler üretirler. 2020 yılında Living Colour, Design to Fade serisi için Puma Innovation ile iş birliği yaparak atletlerin giyeceği mayoları bakteri iş birliğiyle renklendirmiştir (Görsel 12-13).



Görsel 12-13. Living Colour.

Canlı organizmaların ürün tasarım süreçlerine dahil edilmesi, sürdürülebilirlik ve işlevsellik açısından yeni ufuklar açmaktadır. Miselyum, alg ve bakterilerin çok yönlü kullanımları ürünlerin doğal süreçlerle uyumlu bir şekilde dönüşmesine de olanak tanımaktadır. Ecovative'in biyobazlı ambalajlarından Jonas Edvard ve Nikolaj Steenfatt'ın yerel biyomalzemelerle ürettiği koleksiyonlara kadar, bu yaklaşımlar hem ekolojik hem de kültürel açıdan değer taşımaktadır. Ayrıca, Living Colour gibi projeler, biyolojik pigmentlerin üretim süreçlerine entegrasyonu ile geleneksel yöntemlere sürdürülebilir alternatifler sunmaktadır. Tüm bu örnekler, canlı organizmaların tasarım disiplinlerinde yaratıcı ve yenilikçi çözümler sunduğunu gösterirken, biyolojik ve tasarımsal süreçler arasındaki simbiyotik ilişkiyi daha da güçlendirmektedir.

Malzeme Tasarımı

Biyoloji bazlı malzemeler, çevresel ve ekonomik faydalar sağlayarak binaların enerji verimliliğini artırmanın anahtarı haline gelmektedir (Sagbansua & Balo, 2017). Yapı endüstrisinde biyoloji bazlı malzemelerin kullanımı, fosil enerji talebini azaltma, karbondioksit salınımını engelleme ve bozunmayan atık üretimini azaltma gibi çevresel yararlar sağlamaktadır. Bu malzemeler, yük taşıyıcı, dolgu, yalıtım ve sıva gibi çeşitli yapı uygulamalarında kullanılmakta olup, yapı malzemelerinin içeriğine bağlı olarak yapı özellikleri değişkenlik gösterebilmektedir (Poullain, ve diğerleri/et al. 2022). Biyoloji bazlı malzemeler, mevcut yapı malzemelerinden temelde farklılık göstermektedir. Sanayileşmiş malzemeler, genellikle homojen, statik ve istikrarlı olacak şekilde tasarlanıp sertifikalandırılırken, biyo-bazlı malzemeler zaman içinde evrim geçiren ve süreç boyunca dönüşüme uğrayan malzemelerdir. Büyüme döngüleriyle şekillenen ve çevresel faktörlerden etkilenen biyo-bazlı malzemeler, karmaşık heterojenlikleri, öngörülemez davranışları ve yüksek derecede bağımlılık içeren yaşam döngüleri ile nitelendirilir (Sagbansua & Balo, 2017). Bu nedenle, biyoloji bazlı malzemelerin birincil özellikleri geçicilikleri ve biyolojik olarak bozunur nitelikleridir. Tasarımcıların, bu yeni dünya düzenine uygun malzeme

üretimi ile ilgili adımlar atmaları, sürdürülebilir yapı çözümlerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

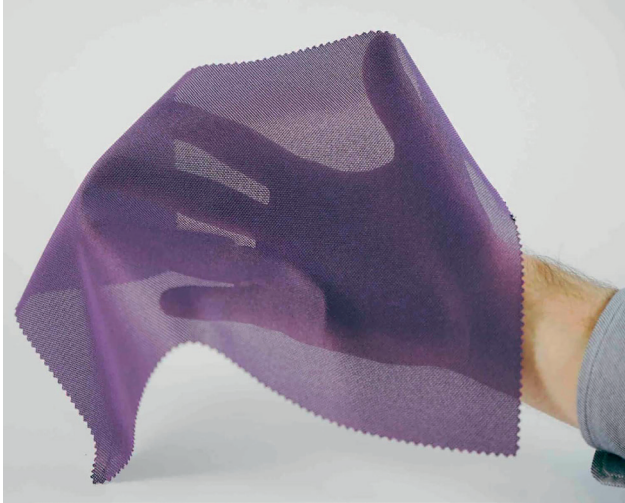
Malzeme aktivizmi terimi, ilk olarak Miriam Ribul tarafından 2018 yılında malzemelerin üretimini ve geliştirilmesini savunan düşük teknoloji bir yaklaşımı tanımlamak amacıyla kullanılmıştır (Ribul, 2018). Ribul, tasarımcıları geleneksel endüstriyel üretim modellerinin yerine alternatif modeller geliştirmenin, yeni estetikler yaratmanın ve malzeme dilleri aracılığıyla yenilik yapmanın olanaklarını keşfetmeye davet etmektedir. Bir malzeme simyacı, bir projeye başladığında, bileşenleri belirlenen hedeflere dönüştürmek için birleştirmekle kalmaz; aynı zamanda ortaya çıkan malzemenin kullanıcı, çevre, yaşam döngüsü ve sonraki yaşamı ile olan ilişkisini de araştırır. Tasarımcılar, düşük teknolojiler ve kolaylıkla erişilebilen kaynakları kullanarak, bireysel veya kolektif olarak kendi kendine üretim teknikleri geliştirmekte ve bu süreçte zanaatkarlığı çağrıştıran estetik bir dile de sahip olan malzemeler üretmeye başlamışlardır. Bu malzemeler tamamen yeni bir malzeme gelişimi olabildiği gibi mevcut bir malzeme kaynağının modifikasyonu şeklinde de olabilir. Tasarımcılar, canlı organizmalarla işbirliği yaparak onların büyümelerine rehberlik eder ve malzemenin üretilebileceği koşulları oluşturur. Miselyum, alg ve bakteri gibi canlı organizmalarla çalışarak malzeme üretimine devam eden dünya genelinde birçok şirket bulunmaktadır.

Bunlardan biri miselyum ile ilgili çalışmalarıyla tanınan Mycoworks şirkettir ve miselyumu “dayanıklı bir gelecek için doğal malzeme üretim platformu” olarak geliştirme konusunda öncü bir rol üstlenmiştir. Şirket, miselyumun çeşitli yoğunluk ve dokulara sahip deri benzeri malzemeler üretme potansiyeline odaklanmaktadır (Görsel 14). Mogu şirketi ise miselyumu da içeren yan ürünlerin katma değer kazandığı ve bilinçli ürünlerin geliştirilmesine yönelik yeni üretim paradigmasını teşvik etmektedir. Şirket, organizmayı beslemek için kullanılan farklı bileşenlerin oluşturduğu farklı potansiyellerle hedefe yönelik bir üretimin gerçekleştirilebileceğini savunmaktadır (Görsel 15). Farklı bileşenlerle birlikte miselyumun farklı şekiller, boyutlar ve dokular alabileceğini göstermektedir.



Görsel 14-15. *Living Colour; Mogu.*

Spiber ve AMSilk şirketleri, bakteri kültürlerinin çeşitli malzemelere dönüşme süreçlerinin olasılıklarını araştırmışlardır (Görsel 16). Bu tekstil lifleri, ipeksi bir parlaklık, kaşmir benzeri yumuşaklık, yün benzeri termal ve nem emici yüzey özellikleri gösterebilirken aynı zamanda kaplumbağa kabuğu veya hayvan boynuzu gibi daha sert niteliğe sahip özellikler de barındırabilmektedir. Bu lifler, ayrıca pamuk ve bambu lifleri gibi doğal malzemelerle birleştirilerek farklı çıktılar sunmaktadır. AMSilk, bu organizmalardan elde edilen malzemelerin sürdürülebilir, biyouyumlu ve biyolojik olarak parçalanabilir olduğunu kanıtlayan ISO 9001 ve Güvenilir Tekstil sertifikalarına sahiptir.



Görsel 16. *Spiber ve AMSilk.*

Solaga şirketi, algden oluşturulan malzemeleri yüksek kaliteli hava sirkülasyonu sağlamak için doğal bir çözüm olarak değerlendirmektedir (Görsel 17-

18). Alglerden üretilen biyofilm, havayı kirleten özellikleri absorbe ederek temizlemekte ve hava filtrasyonu sağlamaktadır. Biyofilmi oluşturan algler, nefes alabilmek için suya, havaya ve ışığa ihtiyaç duyarlar. Kullanım ömrünün sonunda biyofilm, evsel atık olarak kolayca ortadan kaldırılabilir. Şirket, alg biyofilminin çevresel koşullara bağlı olarak değişen dinamik bir görünüm sunduğunu vurgulamaktadır: gölgede, alglerin pigment biriktirmesi nedeniyle koyu yeşil bir renk alırken, doğrudan güneş ışığında alglerin fotosistemlerinin bozulması nedeniyle sarı renge döner. Ayrıca, biyofilm malzemesi lazerle oyulabilir ve istenilen şekilde kesilerek farklı ürünler için kullanılma potansiyeline sahiptir.



Görsel 17-18. Solaga.

Sonuç olarak, Mycoworks, Mogu, Spiber, AMSilk ve Solaga gibi yenilikçi şirketler, biyolojik organizmaların malzeme ve ürün tasarımındaki potansiyelini keşfederek sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmaktadır. Miselyumun farklı dokular ve yoğunluklarda deri benzeri malzemelere dönüştürülmesi, bakteri kültürlerinden elde edilen çok yönlü tekstil lifleri ve alg biyofilmlerinin hava temizleme gibi işlevsel özellikleri, biyolojik süreçlerin endüstriyel uygulamalar için ne denli zengin fırsatlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar, sadece çevresel etkileri azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda biyolojik malzemelerin estetik, işlevsellik ve çevre dostu üretim yaklaşımlarıyla tasarım dünyasına nasıl entegre edilebileceğini göstermektedir. Doğanın dinamik süreçlerinden ilham alan bu yenilikler, tasarım disiplinlerinde biyolojik organizmaların rolünü daha da önemli hale getirmektedir.

SONUÇ

Bu makale, biyolojinin tasarım süreçlerine entegrasyonu sayesinde canlı organizmaların sürdürülebilir ve yenilikçi tasarımlar üretmedeki kritik rolünü ele almaktadır. Miselyum, alg ve bakteri gibi organizmaların tasarıma dahil edilmesi, yapı endüstrisinde doğal kaynakların sınırlı kullanımı gibi sorunlara

yenilikçi çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır. Çalışma, bu bağlamda doğa ile simbiyotik bir ilişki kurma hedefine vurgu yapmaktadır.

Çalışmada benimsenen disiplinler arası yöntemsel yaklaşım, biyotasarımın çok katmanlı yapısını analiz etmek açısından önemli bir katkı sağlamıştır. Tasarım ve biyoloji arasında kurulan bu yöntemsel birliktelik sayesinde, canlı organizmaların tasarıma entegre olduğu süreçler sadece malzeme ya da form düzeyinde değil; çevresel, üretimsel ve mekânsal ilişkiler açısından da kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, disiplinler arası yöntemin sunduğu bütüncül bakış açısı, biyotasarımın potansiyelini anlamak ve gelecekteki uygulamalara yön vermek adına bir zemin oluşturmuştur.

Miselyum türevi malzemelerin dayanıklılık, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve düşük enerji tüketimi gibi avantajları öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, alglerin çok yönlü kullanımı ve bakterilerin özgün biyolojik fonksiyonları, bu malzemelerin yenilikçi uygulamalara kapı aralamasını sağlamaktadır. Araştırma, biyotasarımın sadece çevresel faydalar sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda tasarım dünyasında yeni düşünce sistemlerinin geliştirilmesi için bir katalizör görevi üstlendiğini ortaya koymaktadır.

Biyotasarım uygulamaları, geleneksel yapı malzemelerinin çevresel etkilerini azaltma potansiyeli ile dikkat çekmektedir. Ancak, miselyum türevi malzemelerin mekanik sınırlamaları ve bakım gereksinimleri, bu malzemelerin yaygın olarak benimsenmesini zorlaştırmaktadır. Benzer şekilde, alglerin ve bakterilerin mimari ve ürün tasarımında kullanımı, çevresel koşulların kontrol edilmesi gerekliliği nedeniyle bazı zorluklar yaratabilir.

Tüm bu engellere rağmen, biyotasarımın mimarlıkta daha esnek ve sürdürülebilir yaklaşımlar sunabileceği; yapı sektöründeki çevresel sorunları hafifletebileceği anlaşılmıştır. Bu durum, binaların ömrü boyunca aktif bir rol oynayan, “yaşayan” malzeme ve bileşenler ile geleneksel yapı anlayışını aşan bir vizyon sunmaktadır. Bununla birlikte, bu malzemelerin uzun vadeli dayanıklılığı ve performansı konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Miselyum, alg ve bakteriyel selüloz gibi biyolojik malzemelerin çevresel streslere, nem, ısı ve mekanik yüklenmelere karşı uzun süreli dayanıklılığını test eden çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, malzeme bilimciler, biyologlar, mimarlar ve tasarımcılar arasındaki iş birliğinin güçlendirilmesi, biyotasarımın daha yaratıcı ve yenilikçi uygulamalarının hayata geçirilmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Abhijith, R., Ashok, A., & Rejeesh, C. R. (2018). Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: A review. *Materials Today: Proceedings*, 5, 2139–2145.
- Al-Obaidi, K. M., Ismail, M., & Abdul Rahman, A. M. (2014). Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review. *Frontiers of Architectural Research*, 3, 283–297.
- Alves, C., Silva, A. J., Reis, L. G., Freitas, M., Rodrigues, L. B., & Alves, D. E. (2010). Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 313–327.
- Álvarez-Chávez, C. R., Edwards, S., Moure-Eraso, R., & Geiser, K. (2012). Sustainability of bio-based plastics: General comparative analysis and recommendations for improvement. *Journal of Cleaner Production*, 23(1), 47–56.
- Ashby, M. F. (2013). *Materials and the environment: Eco-informed material choice*. Butterworth-Heinemann.
- Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25(2), 207–210.
- Beyer, B., & Suarez, D. (2018). Column Project: Microbial textiles as a biologically-enhanced construction material. Autodesk ACADIA Emerging Research Award Paper.
- Castro, T., Pitrou, P., & Rebecchi, M. (2020). Puissance du Végétal et Cinéma Animiste: La Vitalité Révélée par la Technique. La Presse du Réel.
- Chayaamor-Heil, N., Perricone, V., & Gruber, P. (2023). Bioinspired, biobased and living material designs: A review of recent research in architecture and construction. *Bioinspiration & Biomimetics*, 18(4). <https://doi.org/10.1088/1748-3190/acec49>
- Chayaamor-Heil, N., Houette, T., Demirci, Ö., & Badarnah, L. (2024). The potential of co-designing with living organisms: Towards a new ecological paradigm in architecture. *Sustainability*, 16(2), 673.
- Collet, C. (2020). Designing our future bio-materiality. *AI & Society*, 35, 645–653.
- Collins, J. (2012). Synthetic biology: Bits and pieces come to life. *Nature*, 483(7387), 8–10.
- Colmo, C., & Ayres, P. (2020, Eylül). 3D printed bio-hybrid structures – Investigating the architectural potentials of mycoremediation. In *Proceedings of the 38th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)*.

Crabbé, A., Jacobs, R., Van Hoof, V., Bergmans, A., & Van Acker, K. (2013). Transition towards sustainable material innovation: Evidence and evaluation of the Flemish case. *Journal of Cleaner Production*, 56, 63–72.

Frazzetto, G. (2003). White biotechnology: The application of biotechnology to industrial production holds many promises for sustainable development, but many products still have to pass the test of economic viability. *EMBO Reports*, 4(9), 835–837.

Garg, S., Inamuddin, I., & Asiri, A. M. (2020). Green technologies for the treatment and utilisation of dairy product wastes. In I. Inamuddin & A. M. Asiri (Eds.), *Sustainable green chemical processes and their allied applications* (pp. 323–333). Springer.

Geiser, K. (2001). *Materials matter: Towards a sustainable materials policy*. MIT Press.

Ginsberg, A. D., & Chieza, N. (2018). Editorial: Other biological futures. *Journal of Design and Science*.

Ginsberg, A. D., Calvert, J., Schyfter, P., Elfick, A., & Endy, D. (2014). *Synthetic aesthetics: Investigating synthetic biology's designs on nature*. MIT Press.

Groutars, E. G., Risseuw, C. C., Ingham, C. J., Hamidjaja, R., Elkhuisen, W. S., Pont, S. C., & Karana, E. (2022). Flavorium: An exploration of *Flavobacteria*'s living aesthetics for living color interfaces. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–19).

Haider, A., & Eder, A. (2010). Markets, applications, and processes for wood polymer composites (WPC) in Europe. In *Proceedings of the 1st International Conference on Processing Technologies for the Forest and Biobased Product Industries* (pp. 146–151). Salzburg Üniversitesi.

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*, 7, 41292.

Hebel, D. E., & Heisel, F. (2017). *Cultivated building materials: Industrialized natural resources for architecture and construction* (1st ed.). Birkhäuser.

Holt, G., McIntyre, G., Flagg, D., Bayer, E., Wanjura, J. D., & Pelletier, M. (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(4), 431–439.

Huang, W.-C., & Tang, I.-C. (2007). Bacterial and yeast cultures — Process characteristics, products and applications. In S.-T. Yang (Ed.), *Bioprocessing for value-added products from renewable resources* (pp. 186–189). Elsevier.

Iguchi, M., Yamanaka, S., & Budhiono, A. (2000). Bacterial cellulose — A masterpiece of nature's arts. *Journal of Material Science*, 35, 261–262.

Jiang, P., Leng, J., & Koren, Y. (2016). Social manufacturing as a sustainable paradigm for mass individualization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 230(10).

Jonkers, H. M. (2007). Self-healing concrete: A biological approach. In S. van der Zwaag (Ed.), *Self Healing Materials: An Alternative Approach to 20 Centuries of Materials Science* (pp. 195–204). Springer.

Karana, E., Giaccardi, E., Nimkulrat, N., Niedderer, K., & Camere, S. (2015). Material driven design (MDD): A method to design for material experiences. *International Journal of Design*, 9(2), 39–54.

Khan, M. I., Shin, J. H., & Kim, J. D. (2018). The promising future of microalgae: Current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories*, 17, 36. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>

Kim, S. K., & Wijesekara, I. (2010). Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A review. *Journal of Functional Foods*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.01.003>

Kim, R., Linehan, C., & Pschetz, L. (2022). Navigating imaginaries of DNA-based digital data storage. In *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–15). <https://doi.org/10.1145/3491102.3517455>

Largurgue, X. (2020). Vertical greening of buildings: Towards an eco-aesthetic of the living (Doctoral dissertation). Université Paris Nanterre, Nanterre, France.

Lu, Q., et al. (2019). Application of a novel microalgae-film-based air purifier to improve air quality through oxygen production and fine particulates removal. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 94(1), 1057–1059.

Ludwig, F., & Schönle, D. (2022). Growing architecture: How to design and build with trees. <https://doi.org/10.1515/9783035603392>

Ma, Z., Ren, H., & Lin, W. (2019). A review of heating, ventilation and air conditioning technologies and innovations used in solar-powered net zero energy Solar Decathlon houses. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118158.

Sheldrake, M. (2020). *Entangled life: How fungi make our worlds, change our minds & shape our futures*. Random House.

Myers, W., & Antonelli, P. (2012). *Biodesign: Nature, science, creativity*. Thames & Hudson.

Myers, W. (2018). *Bio design*. Thames & Hudson.

Nijhuis, S., Jauslin, D., & van der Hoeven, F. (2015). *Flowscales: Designing infrastructure as landscape*. TU Delft.

Ng, F. M. C., & Wang, P. W. (2016). Natural self-grown fashion from bacterial cellulose: A paradigm shift design approach in fashion creation. *The Design Journal*, 19(6), 839–840.

Nguyen, H. D., et al. (2018). Design of fungal-based materials for sustainable architecture. *Frontiers in Materials*, 5, 65. <https://doi.org/10.3389/fmats.2018.00065>

Oxman, N. (2010). Material-based design computation. In *Proceedings of the 2010 SIGGRAPH* (pp. 27–40). Massachusetts Institute of Technology.

Papadopoulos, G. (2015) Moving from Traditional to Agile Software Development Methodologies Also on Large, Distributed Projects. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, 175, 455–463.

Pardes, A. (2024). Slip into earth-friendly running shoes made of algae. *Wired*.

Pasquero, C., & Poletto, M. (2020). Bio-digital aesthetics as value system of post-Anthropocene architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 18(2).

Pelletier, M. G., Holt, G. A., Wanjura, J. D., Bayer, E., & McIntyre, G. (2013). An evaluation study of mycelium-based acoustic absorbers grown on agricultural by-product substrates. *Industrial Crops and Products*, 51(1), 480–485.

Peters, S. (2014). *Material revolution II: New sustainable and multipurpose materials for design and architecture*. Birkhäuser Verlag GmbH.

Pick, A., & Dymond, C. (2022). Permacinema. *Philosophies*, 7, 122. <https://doi.org/10.3390/philosophies7060122>.

Poullain, P., Barnaure, M., & Bonnet, S. (2022). Variability of the mechanical properties of earthen composites. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4159294>

Ragauskas, A. J., Williams, C. K., Davison, B. H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C. A., Frederick, W. J. Jr., Hallett, J. P., Leak, D. J., Liotta, C. L., Mielenz, J. R., Murphy, R., Templer, R., & Tschaplinski, T. (2006). The path forward for biofuels and biomaterials. *Science*, 311(5760), 484–489.

Ribul, M. (2018). Material translation: Validation and visualization as transdisciplinary methods for textile design and materials science in the circular bioeconomy. *Journal of Textile Design Research and Practice*, 6(1), 66–88.

Sagbansua, L., & Balo, F. (2017). Decision making model development in increasing wind farm energy efficiency. *Renewable Energy*, 109, 354–362.

Sandak, A., Sandak, J., Brzezicki, M., & Kutnar, A. (2019). Bio-based building skin. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3747-5>

Travagliani, S., Noble, J., Ross, P. G., & Dharan, C. K. H. (2013). Mycology matrix composites. In *Proceedings of the 28th Annual Technical Conference of the American Society for Composites* (pp. 517–535).

Trombadore, et al. (2019). Lush growth and biophilic principles: The role of nature-inspired materials in architecture. *Journal of Design Studies*, 37(5), 61–73.

Wang, et al. (2022). Biodesign: The future of nature-inspired innovation in manufacturing. *Tech-Innovations Journal*, 15(2), 120–133.

İNTERNET KAYNAKLARI

Benson, P. (2022, Temmuz). The power of plants in film. *Film and Furniture*. <https://filmandfurniture.com/2022/07/power-of-plants-in-film/>

Collet, C. (2013). This is alive. <http://thisisalive.com/>

Fulbright, S. (2016, Ağustos 23). Is algae the ink of the future? TEDxMileHigh [YouTube video]. <https://www.youtube.com/watch?v=4uAAegPkCKo&t=1s>

GÖRSEL KAYNAKLAR

Görsel 1-2. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/2/673> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 2-3. <https://blog.interface.com/en-au/carbon-absorbing-curtain/> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 4. <https://www.re-thinkingthefuture.com/architectural-community/a12278-utilizing-cutting-edge-technologies-and-materials-in-design/> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 5-6. <https://www.mycologyforarchitecture.com/post/remediating-architecture-a-bio-hybrid-approach-employing-fungal-mycelium> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 7. <https://www.dezeen.com/2013/04/15/arup-unveils-worldsfirst-algae-powered-building/> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 8. <https://taylortuxford.co.uk/tag/dezeen/> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 9. <https://mushroompackaging.com/blogs/news/seedlips-latest-groovy-gift-set-stars-mushroom-packaging> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 10-11. <https://www.futurematerialsbank.com/maker/jonas-edvard-studio/> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 12-13. <https://livingcolour.eu/experiments/> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 14-15. <https://livingcolour.eu/experiments/> - <https://mogu.bio/wp-content/uploads/2022/05/Mogu-Floor-TILE-technical-datasheet.pdf> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 16. <https://vegconomist.com/materials/amsilk-and-21st-bio-scale-bioproduced-spider-silk-proteins/> (Erişim Tarihi: 2025)

Görsel 17-18. <https://www.solaga.de/en/alwa-die-algenwand-wasserwand-trifft-auf-alge/> (Erişim Tarihi: 2025)