

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIKTAKİ  
BİYOYARARLANMA STRATEJİLERİNİN KULLANIMI**

**Fatma Müge BAYSAL**

**Ekim, 2023**  
**İZMİR**

# **SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIKTAKİ BİYOYARARLANMA STRATEJİLERİNİN KULLANIMI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı**

**Fatma Müge BAYSAL**

**Ekim, 2023**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**FATMA MÜGE BAYSAL** tarafından **PROF. DR. AHMET VEFA ORHON** yönetiminde **hazırlanan** “**SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIKTAKİ BİYOYARARLANMA STRATEJİLERİNİN KULLANIMI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. Ahmet Vefa ORHON

Danışman

.....  
Prof.Dr. Müjde ALTIN

Jüri Üyesi

.....  
DOÇ.Dr. Zeynep DURMUŞ ARSAN

Jüri Üyesi

.....  
Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bakış açımı genişleterek çalışmamı zenginleştiren danışman hocam Prof. Dr. Ahmet Vefa ORHON'a, en büyük destekçim olan sevgili eşim Serkan BAYSAL'a, desteklerini her daim hissettiğim annem Aynur YÜKSEL'e, babam İsmail YÜKSEL'e, kardeşim Beyza YÜKSEL'e ve üzerimde emeği olan tüm yakınlarıma ve hocalarıma teşekkür ederim.

Fatma Müge BAYSAL





# SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIKTAKİ BİYİYARARLANMA STRATEJİLERİNİN KULLANIMI

## ÖZ

İnsanların üretme ve tüketmeye dair alışkanlıkları sanayi üretimine geçilmesi ile büyük bir değişime uğramıştır. Sanayi üretiminin sonuçları düşünülmeden hızlı bir şekilde artması ve buna paralel ilerleyen tüketim süreçleri, doğal kaynakları kendisini yeterince yenileme şansı vermeden hızlı bir biçimde tüketirken çeşitli çevre sorunlarına da yol açmıştır. Bu da, doğanın dengesini bozan üretim ve tüketim süreçlerini yeniden düşünmemiz gerektiği fikrini ortaya çıkarmıştır. Mimari alanda bu soruna getirilebilecek çözümlerden biri olan biyoyararlanma yaklaşımı, canlı sistemleri mimari üretim sistemlerimize dahil ederek onlar ile birlikte, doğanın döngülerinin sağlığını önceleyen üretim teknikleri ile üretirken yapıya fayda sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada canlı organizmalardan yararlanarak yapının üretim, kullanım ve geri dönüşüm süreçlerinde yapıya fayda sağlamak amacıyla biyomalzeme üretimi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Araştırma, konunun iki ana ayağı olan canlı organizmalar ve mimarinin bir arada çalışması üzerinden ilerlemiştir. Canlı sistemlere ait bilgiler verildikten sonra onlardan mimaride yararlanmanın yöntemleri anlatılmıştır. Yapılan çalışmaların belirli stratejiler dahilinde ilerlemesinin önemi ile biyoyararlanma stratejileri sınıflandırılmış ve süreç sonucunda elde edilecek biyoyararlanma kazanımları tanımlanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda 21 adet çalışma örneği detaylı olarak incelenmiş ve canlı organizmaları yapıda kullanarak biyomalzemeler üretmenin olasılıkları değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Biyomalzemeler, biyoyararlanma stratejileri, biyoyararlanma kazanımları

# USE OF BIOUTILIZATION STRATEGIES IN SUSTAINABLE ARCHITECTURE

## ABSTRACT

The habits of people in terms of production and consumption underwent a significant change with the transition to industrial production. The rapid growth of industrial production without considering the consequences and the parallel consumption processes have rapidly consumed natural resources without giving them the chance to renew themselves sufficiently, and have also led to various environmental problems. This has led to the idea that we need to rethink the production and consumption processes that disrupt the balance of nature. One of the solutions that can be applied in the field of architecture to address this issue is the bioutilization approach, which aims to provide benefits to the structure by incorporating living systems into our architectural production systems and using production techniques that prioritize the health of nature's cycles alongside them.

In this study, a research was conducted on biomaterial production by using living organisms in order to benefit the building in the production, use and recycling processes of the building. The research progressed through the study of living organisms and architecture, which are the two main pillars of the subject. After providing information about living systems, the methods of utilizing them in architecture were explained. With the importance of progressing the studies within certain strategies, bioutilization strategies have been classified and the bioutilization gains to be achieved as a result of the process have been defined. Based on this information, 21 case studies were examined in detail, and the possibilities of producing biomaterials by using living organisms in the structure were evaluated.

**Keywords:** Biomaterials, bioutilization strategies, bioutilization gains

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                           | Sayfa    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....                                                | ii       |
| TEŞEKKÜR.....                                                                             | iii      |
| ÖZ .....                                                                                  | iv       |
| ABSTRACT.....                                                                             | v        |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                                                    | x        |
| TABLolar LİSTESİ .....                                                                    | xv       |
| <b>BÖLÜM BİR.....</b>                                                                     | <b>1</b> |
| 1.1 Giriş.....                                                                            | 1        |
| 1.2 Amaç.....                                                                             | 2        |
| 1.3 Kapsam ve Yöntem.....                                                                 | 2        |
| <b>BÖLÜM İKİ - MİMARİDE BİYOYARARLANMA VE CANLI ORGANİZMALARIN SINIFLANDIRILMASI.....</b> | <b>4</b> |
| 2.1 Makro Organizmalardan Yararlanma .....                                                | 6        |
| 2.1.1 Mantarlardan Yararlanma .....                                                       | 6        |
| 2.1.1.1 Mantarlardan Yaralanmada Temel Yaklaşımlar .....                                  | 8        |
| 2.1.1.2 Mantarlardan Yararlanılan Çalışmalar.....                                         | 9        |
| 2.1.2 Bitkilerden Yararlanma .....                                                        | 12       |
| 2.1.2.1 Bitkilerden Yaralanmada Temel Yaklaşımlar .....                                   | 13       |
| 2.1.2.1.1 Taşıyıcı Sistem Şeklinde Bitki Büyümesi.....                                    | 14       |
| 2.1.2.1.2 Tırmanıcı Bitkiler ile Cephe Üzerinde Bitki Büyümesi.....                       | 15       |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.2.1.3 İkincil Kabuk Üzerinde Bitki Büyümesi.....           | 15 |
| 2.1.2.1.4 Birincil Kabuk Üzerinde Bitki Büyümesi .....         | 16 |
| 2.1.2.2 Bitkilerden Yararlanılan Çalışmalar .....              | 16 |
| 2.1.3 Hayvanlardan Yararlanma .....                            | 18 |
| 2.1.3.1 İpek Böceklerinden Yaralanmada Temel Yaklaşımlar ..... | 18 |
| 2.1.3.1 İpek Böceklerinden Yaralanmada Temel Yaklaşımlar ..... | 19 |
| 2.1.3.2 İpek Böceklerinden Yararlanılan Çalışmalar .....       | 20 |
| 2.2 Mikro Organizmalardan Yararlanma .....                     | 20 |
| 2.2.1 Bakterilerden Yararlanma .....                           | 20 |
| 2.2.1.1 Bakterilerden Yaralanmada Temel Yaklaşımlar.....       | 21 |
| 2.2.1.2 Bakterilerden Yararlanılan Çalışmalar .....            | 21 |
| 2.2.2 Alglerden Yararlanma .....                               | 21 |
| 2.2.2.1 Alglerden Yaralanmada Temel Yaklaşımlar .....          | 22 |
| 2.2.2.1.1 Mikroalg Seçimi ve İzolasyonu.....                   | 23 |
| 2.2.2.1.2 Mikroalg Üretim ve Hasat Sistemleri.....             | 23 |
| 2.2.2.2 Alglerden Yararlanılan Çalışmalar .....                | 24 |
| 2.2.3 Cıvık Mantarlardan Yararlanma.....                       | 25 |
| 2.2.3.1 Cıvık Mantarlardan Yaralanmada Temel Yaklaşımlar ..... | 25 |
| 2.2.1.2 Cıvık Mantarlardan Yararlanılan Çalışmalar.....        | 25 |

## **BÖLÜM ÜÇ - MİMARİDE BİYOYARARLANMA STRATEJİLERİ..... 28**

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 3.1 Biyomateryalizasyon.....                   | 29 |
| 3.1.1 Kalıp İçinde Yetiştirme Yöntemi .....    | 30 |
| 3.1.2 İskele Üzerinde Yetiştirme Yöntemi ..... | 30 |
| 3.2 Biyomineralizasyon.....                    | 31 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 3.3 Biyokonaklama .....                      | 34 |
| 3.4 Biyoışıldama .....                       | 40 |
| 3.4.1 Biyoışıldayan Bakteriler.....          | 42 |
| 3.4.2 Biyoışıldayan Alglar .....             | 43 |
| 3.4.3 Biyoışıldayan Mantarlar .....          | 44 |
| 3.4.4 Biyoışıldayan Deniz Organizmaları..... | 45 |
| 3.5 Fotosentez .....                         | 49 |

## **BÖLÜM DÖRT - MİMARİDE BİYOYARARLANMA KAZANIMLARI..... 52**

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 4.1 Biyokütle Kazanımı .....                   | 52 |
| 4.2 Enerji Verimliliği .....                   | 53 |
| 4.3 Biyoçözünürlük .....                       | 53 |
| 4.4 Biyosağaltım .....                         | 54 |
| 4.5 Kendini Onarma .....                       | 54 |
| 4.5.1 Otojen Kendini Onarma .....              | 55 |
| 4.5.2 Vasküler (Damarsal) Kendini Onarma ..... | 55 |
| 4.5.3 Kapsül Tabanlı Kendini Onarma.....       | 55 |

## **BÖLÜM BEŞ - BİYOMALZEMELERİN KULLANILDIĞI YAPI VE MALZEMELERİN İNCELENMESİ..... 57**

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 5.1 Hy-Fi Kulesi (Hy-Fi Tower) .....           | 58 |
| 5.2 MycoTree .....                             | 61 |
| 5.3 Büyüyen Pavyon (The Growing Pavilion)..... | 65 |
| 5.4 Protomycokion .....                        | 68 |
| 5.5 Meghalaya Kök Köprüleri.....               | 70 |

|                                                         |            |
|---------------------------------------------------------|------------|
| 5.6 Baubotanik Kulesi.....                              | 72         |
| 5.7 Biyokonak Beton Panel.....                          | 74         |
| 5.8 Biyokonak GRC Panel .....                           | 76         |
| 5.9 İpek Pavyonu (Silk Pavilion) .....                  | 80         |
| 5.10 İpek Pavyonu II (Silk Pavilion II).....            | 84         |
| 5.11 Kendini Onaran Beton (Self-Healing Concrete) ..... | 88         |
| 5.12 Kolon 21 (Column 21) .....                         | 91         |
| 5.13 Probiyotik Paneller.....                           | 94         |
| 5.14 H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin.g.....                 | 97         |
| 5.15 Imprimer La Lumiere .....                          | 100        |
| 5.16 BiolumReef .....                                   | 104        |
| 5.17 BIQ (Bio Intelligent Quotient).....                | 107        |
| 5.18 Urban Algae Folly.....                             | 111        |
| 5.19 Alg Kubbesi (The Algae Dome) .....                 | 113        |
| 5.20 Biyokonak Beton.....                               | 115        |
| 5.21 AirBubble.....                                     | 117        |
| <br><b>BÖLÜM ALTI - DEĞERLENDİRME VE SONUÇ .....</b>    | <b>121</b> |
| <br><b>KAYNAKLAR.....</b>                               | <b>128</b> |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                                                                                | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1 Mimari biyoyararlanmada organizmaların sınıflandırılması .....                                                                                                                                                                                       | 6     |
| Şekil 2.2 Farklı ölçeklerde miselyumun şematik gösterimi .....                                                                                                                                                                                                 | 7     |
| Şekil 2.3 Miselyum malzeme üretim aşamaları şematik gösterim.....                                                                                                                                                                                              | 9     |
| Şekil 2.4 Mycotecture Alpha; Shell Myselium .....                                                                                                                                                                                                              | 10    |
| Şekil 2.5 Miselyum cephe prototipi .....                                                                                                                                                                                                                       | 10    |
| Şekil 2.6 Mycoarch .....                                                                                                                                                                                                                                       | 11    |
| Şekil 2.7 Thick and Thin, karton iskelet ve miselyum yapı.....                                                                                                                                                                                                 | 11    |
| Şekil 2.8 Monolito Micelio, geçici iskelet yapısı ve miselyum yapı .....                                                                                                                                                                                       | 12    |
| Şekil 2.9 Bitkilerden Yararlanmada Temel Yöntemler.....                                                                                                                                                                                                        | 14    |
| Şekil 2.10 Auerworld Sarayı, Almanya; Jembatan Akar Köprüsü, Endonezya.....                                                                                                                                                                                    | 16    |
| Şekil 2.11 Vincent Callebaut tarafından tasvir edilen 2050 Paris görseli.....                                                                                                                                                                                  | 17    |
| Şekil 2.12 Robotik sistemleri kullanarak ışık ile yönlendirilerek bitki büyütülmesi<br>çalışması.....                                                                                                                                                          | 18    |
| Şekil 2.13 İpek böceklerinin koza örme sürecine ait görseller .....                                                                                                                                                                                            | 19    |
| Şekil 2.14 Biyorafineri ile mikroalglerden elde edilebilen potansiyel ürünler .....                                                                                                                                                                            | 22    |
| Şekil 2.15 Tipik mikroalg üretim sistemlerinin şemaları A) Dairesel karıştırılmalı havuz<br>B) Yarış pisti tipi havuz C) Yatay tübüler fotobiyoreaktör D) Hava<br>kaldırılmalı reaktör E) Sarmal tübüler fotobiyoreaktör F) Düz plaka<br>fotobiyoreaktör ..... | 24    |
| Şekil 2.16 ABD ulaşım haritası üzerinde gelişmiş cıvık mantar ağı.....                                                                                                                                                                                         | 26    |
| Şekil 2.17 ABD (a) ve Almanya'daki (b) dağların etrafında dolaşan cıvık mantarı<br>gösteren 3 boyutlu model çalışması .....                                                                                                                                    | 27    |
| Şekil 3.1 Biyoyararlanma stratejilerinin belirlenmesi.....                                                                                                                                                                                                     | 28    |

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.2 Kalıp içinde yetiştirme ve iskele üzerinde yetiştirme yöntemlerine ait görselleştirme .....                                     | 31 |
| Şekil 3.3 Mineralize dokular; mercan, yumuşakça kabukları, dentin, kemik .....                                                            | 32 |
| Şekil 3.4 Yaşayan yapı malzemesi (LBMs); Kolon 21 .....                                                                                   | 34 |
| Şekil 3.5 Kriptogam canlı büyümesi örnekleri .....                                                                                        | 35 |
| Şekil 3.6 Biyokonak MPC (Magnezyum Fosfat Çimentosu) denemeleri.....                                                                      | 37 |
| Şekil 3.7 Suyu yavaşlatmak ve kriptogamik büyüme için tutunma yüzeyleri oluşturmak için tasarlanan biyokonak cephe paneli çizimleri ..... | 38 |
| Şekil 3.8 Biyokonak cephe paneli uygulaması .....                                                                                         | 38 |
| Şekil 3.9 Biyokonak malzeme prototipleri 1. 2. 3. ve 4. proje.....                                                                        | 39 |
| Şekil 3.10 İnsan vücudunda foton salınımının bir gün içerisinde değişiminin hassas kameralar ile görüntülenmesi .....                     | 41 |
| Şekil 3.11 Biyoişildama mekanizmasının işleyişi.....                                                                                      | 42 |
| Şekil 3.12 Uzaydan kaydedilen bakteriler tarafından gerçekleştirilen bir biyoişildama görüntüsü.....                                      | 43 |
| Şekil 3.13 Biyoişildayan planktonların denizi aydınlatması.....                                                                           | 44 |
| Şekil 3.14 Biyoişildayan mantarlar .....                                                                                                  | 45 |
| Şekil 3.15 Biyoişildayan deniz organizmaları .....                                                                                        | 46 |
| Şekil 3.16 Biyoişildayan bakteriler ve metan gazı ile çalışan Philips Biolight aydınlatma elemanı .....                                   | 48 |
| Şekil 3.17 Biyoişildayan bakteriler ile ışık yayan Bio.light Odası .....                                                                  | 49 |
| Şekil 3.18 Fotosentezin çevre-mimari ilişkisinde kazanımları .....                                                                        | 50 |
| Şekil 3.19 Fotosentez sırasında NO <sub>2</sub> 'nin temizlediğini gösteren deney .....                                                   | 51 |
| Şekil 4.1 Biyoyararlanma kazanımları .....                                                                                                | 52 |
| Şekil 4.2 Kapsül tabanlı kendi kendine iyileşme yaklaşımı şeması.....                                                                     | 56 |
| Şekil 5.1 Tablolarda kullanılan biyoyararlanma - biyokazanım grafiğini okuma yöntemi.....                                                 | 57 |



|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.2 Hy-Fi Kulesi .....                                                                                                                                 | 59 |
| Şekil 5.3 Hy-Fi Kulesi .....                                                                                                                                 | 59 |
| Şekil 5.4 MycoTree .....                                                                                                                                     | 62 |
| Şekil 5.5 Miselyum blokların hazırlanma aşamaları.....                                                                                                       | 63 |
| Şekil 5.6 Miselyum blokların hazırlanma aşamaları.....                                                                                                       | 63 |
| Şekil 5.7 Blokların birbirine monte edilmesi .....                                                                                                           | 64 |
| Şekil 5.8 Büyüyen Pavyon .....                                                                                                                               | 66 |
| Şekil 5.9 Büyüyen Pavyon miselyum paneller .....                                                                                                             | 66 |
| Şekil 5.10 Büyüyen Pavyon iç mekan .....                                                                                                                     | 67 |
| Şekil 5.11 Protomycokion.....                                                                                                                                | 69 |
| Şekil 5.12 Meghalaya Kök Köprüleri .....                                                                                                                     | 71 |
| Şekil 5.13 Baubotanik Kulesi tamamlandıktan sonra-2009 (solda), ikinci büyüme döneminde-2012 (ortada) ve kendini destekleyen gelecekteki yapının modeli..... | 73 |
| Şekil 5.14 Yüzey geometrisinin biyoseptif büyümeye etkilerini gözlemlemek üzere hazırlanmış beton paneller .....                                             | 75 |
| Şekil 5.15 Biyokonak beton paneller .....                                                                                                                    | 77 |
| Şekil 5.16 Biyokonak panel üretim aşaması .....                                                                                                              | 78 |
| Şekil 5.17 Gözenekli betonda poikilohidrik büyüme.....                                                                                                       | 79 |
| Şekil 5.18 Biyokonaklama uygulama potansiyelleri.....                                                                                                        | 79 |
| Şekil 5.19 İpek Pavyonu .....                                                                                                                                | 81 |
| Şekil 5.20 İpek Pavyonu, geometrinin ve gün ışığı parametrelerinin hesaplanması .                                                                            | 81 |
| Şekil 5.21 Metal profillerin içine 3 boyutlu yazıcı ile ipek liflerinin örülmesi.....                                                                        | 82 |
| Şekil 5.22 İpek Pavyonu, metal profillerden oluşan birincil yapı.....                                                                                        | 82 |
| Şekil 5.23 İpek Pavyonu, altıgenlerden profillerden oluşan birincil yapı.....                                                                                | 82 |
| Şekil 5.24 İpek Pavyonu, ipek böceklerinin toplanması .....                                                                                                  | 83 |
| Şekil 5.25 İpek böceklerinin ağ örme aşaması.....                                                                                                            | 83 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.26 Silk Pavilion II .....                                                                                                     | 85  |
| Şekil 5.27 Silk Pavilion II .....                                                                                                     | 85  |
| Şekil 5.28 kumaş katmanı ve çelik kablo bağlantı detayı .....                                                                         | 86  |
| Şekil 5.29 Kumaş katmanı ve ipek böceğinin üzerine ördüğü kendi ipek lifleri .....                                                    | 86  |
| Şekil 5.30 Statik, kademeli ve sürekli hareketin lif eğirme düzeni üzerine etkisini<br>araştıran simülasyon görseli ve uygulama ..... | 86  |
| Şekil 5.31 Silk Pavilion II .....                                                                                                     | 87  |
| Şekil 5.32 Yumurta bırakan dişi güveler ve saklanan ipek böceği yumurtaları .....                                                     | 87  |
| Şekil 5.33 Betonun bakteriler ile iyileştirilme aşamaları şeması .....                                                                | 89  |
| Şekil 5.34 Kendi kendini onaran beton örnekleri.....                                                                                  | 90  |
| Şekil 5.35 Kendi kendini onaran beton kullanılan su tankı .....                                                                       | 90  |
| Şekil 5.36 Kolon 21 .....                                                                                                             | 92  |
| Şekil 5.37 Kolon 21 21 püskürtme düzeneği ve örgü tipleri .....                                                                       | 93  |
| Şekil 5.38 Kolon 21, bakteriyel çözeltinin püskürtülmesi ve son ürün görüntüsü ....                                                   | 93  |
| Şekil 5.39 Probiyotik seramikler (150 mm x 150 mm) ve bu panellerden oluşturulan<br>probiyotik duvar paneli .....                     | 95  |
| Şekil 5.40 HORTUS XL .....                                                                                                            | 98  |
| Şekil 5.41 HORTUS XL üretim aşamaları ve biyojel süspansiyonunun aşılınması .                                                         | 99  |
| Şekil 5.42 Yaşayan bir mimaririnin üretime ait araç ve yöntemlerin geliştirilmesine ait<br>görselleştirme .....                       | 101 |
| Şekil 5.43 3D baskılı hidrojel yapı ve bakteri besin solüsyonu, biyoışıldamaandan önce<br>ve sonra .....                              | 101 |
| Şekil 5.44 Üzerinde bakterilerin çoğalmasını sağlayan besin ortamına batırılmış farklı<br>tekstil örnekleri.....                      | 101 |
| Şekil 5.45 Imprimer La Lumière.....                                                                                                   | 102 |
| Şekil 5.46 Işıldayans analizi ile zaman içinde dış ortamda büyüyen bakteri kültürü<br>.....                                           | 102 |

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.47 Bakteri yayılımının ilerlemesinin simülasyonu .....                                                                | 103 |
| Şekil 5.48 Parramatta Tower ve biyoışıldama malzeme prototipi çalışması .....                                                 | 105 |
| Şekil 5.49 BiolumReef projesi .....                                                                                           | 106 |
| Şekil 5.50 BIQ Binası .....                                                                                                   | 108 |
| Şekil 5.51 BIQ Binası, fotobiyoreaktör cephe panelleri .....                                                                  | 108 |
| Şekil 5.52 fotobiyoreaktör cephe panelleri .....                                                                              | 109 |
| Şekil 5.53 BIQ Binası, fotobiyoreaktör cephe panelleri .....                                                                  | 109 |
| Şekil 5.54 BIQ Binası, panellerin bina ile entegre edilme sistemi şeması.....                                                 | 110 |
| Şekil 5.55 Urban Algae Folly.....                                                                                             | 112 |
| Şekil 5.56 Alg Kubbesi .....                                                                                                  | 114 |
| Şekil 5.57 Biyokonak beton örnekleri.....                                                                                     | 116 |
| Şekil 5.58 Air Bubble.....                                                                                                    | 118 |
| Şekil 5.59 Air Bubble, gece hareket ile aydınlanma görüntüsü .....                                                            | 118 |
| Şekil 5.60 Air Bubble, mikroalg fotobiyoreaktör tüpleri .....                                                                 | 119 |
| Şekil 5.61 Air Bubble çalışma şeması.....                                                                                     | 120 |
| Şekil 6.1 İncelenen örneklerde yararlanılan canlı organizmaların kullanılan biyoyararlanma stratejilerine göre dağılımı ..... | 123 |
| Şekil 6.2 İncelenen örneklerde yararlanılan canlı organizmaların biyomalzeme üretim olanaklarına göre dağılımı.....           | 123 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                     | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| Tablo 5.1 Hy-Fi Kulesi ile ilgili bilgiler .....                    | 58    |
| Tablo 5.2 MycoTree ile ilgili bilgiler.....                         | 61    |
| Tablo 5.3 Büyüyen Pavyon ile ilgili bilgiler.....                   | 65    |
| Tablo 5.4 Protomycokion ile ilgili bilgiler.....                    | 68    |
| Tablo 5.5 Meghalaya Kök Köprüleri ile ilgili bilgiler .....         | 70    |
| Tablo 5.6 Baubotanik Kulesi ile ilgili bilgiler .....               | 72    |
| Tablo 5.7 Biyokonak Beton Panel ile ilgili bilgiler .....           | 74    |
| Tablo 5.8 Biyokonak GRC Panel ile ilgili bilgiler.....              | 76    |
| Tablo 5.9 İpek Pavyonu ile ilgili bilgiler .....                    | 80    |
| Tablo 5.10 İpek Pavyonu II ile ilgili bilgiler.....                 | 84    |
| Tablo 5.11 Kendini Onaran Beton ile ilgili bilgiler .....           | 88    |
| Tablo 5.12 Kolon 21 ile ilgili bilgiler .....                       | 91    |
| Tablo 5.13 Probiyotik Paneller ile ilgili bilgiler .....            | 94    |
| Tablo 5.14 H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin,g ile ilgili bilgiler.....   | 97    |
| Tablo 5.15 Imprimer La Lumiere ile ilgili bilgiler .....            | 100   |
| Tablo 5.16 BiolumReef ile ilgili bilgiler.....                      | 104   |
| Tablo 5.17 BIQ ile ilgili bilgiler .....                            | 107   |
| Tablo 5.18 Urban Algae Folly ile ilgili bilgiler .....              | 111   |
| Tablo 5.19 Alg Kubbesi ile ilgili bilgiler.....                     | 113   |
| Tablo 5.20 Biyokonak Beton ile ilgili bilgiler .....                | 115   |
| Tablo 5.21 AirBubble ile ilgili bilgiler .....                      | 117   |
| Tablo 6.1 Tez kapsamında incelenen tüm örneklerin özellikleri ..... | 122   |

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Giriş

Sanayi devrimi ile birlikte gelişen antroposen çağda insanların üretme, inşa etme ve tüketmeye dair yüzyıllardır süregelen alışkanlıkları büyük bir değişime uğramıştır. Doğanın yapım, kullanım, yıkım ve geri dönüşüm süreçleri ile insani üretim ve tüketim süreçlerinin uyum içinde devam ettiği döngünün dengesi bozulmaya başlamıştır. Sanayi üretiminin sonuçları düşünülmeden hızlı bir şekilde gelişmesi, doğaya kendisini yeterince yenileme şansı veremeyecek ölçüye ulaşmıştır. Bu sürecin sonuçları olan çevre kirliliği, doğal kaynakların tüketilmesi ve doğanın dengesinin bozulması gibi durumlar insan yaşamının da bu dünya üzerindeki refah ve sıhhatini tehlikeye sokmaktadır.

Bu soruna bir çözüm önerisi olarak, doğa ile dengenin tekrar kurulmasına yönelik şekilde üretim ve tüketim sistemlerimize ait farklı yaklaşımlar geliştirilmektedir. Biyotasarım, biyofilik tasarım, biyomimikri ve biyoyararlanma gibi yaklaşımlar doğayı işleyiş, model, form ya da direkt canlı organizmaların kendisinden yararlanmak gibi farklı yollar ile tasarıma dahil ederek çevre sorunlarına çözüm bulmayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşımların ortak amacı doğanın süreçlerinden, formlarından ya da direkt canlı organizmaların kendisinden yararlanarak doğal sistemleri tasarıma bir yol ile dahil etmektir. Çünkü doğal sistemleri dikkate almayan ve ondan uzaklaşan herhangi bir üretim ve yaşam biçimi ne gezegenimiz için ne de insanlar için doğru bir yol olacaktır.

Tez kapsamında yapılan araştırmalar doğrultusunda canlı sistemler ile mimarinin birlikte kullanımını amaçlayan mimaride biyoyararlanma yaklaşımının kapsayıcı bir tanımı yapılmıştır. Buna göre mimaride biyoyararlanma, canlı organizmalar aracılığıyla mimari yapım/kullanım süreçlerinde yapıya fayda sağlayacak biyomalzeme üretimini tanımlamaktadır. Tezde mimaride biyoyararlanma konusu içerisinde mimari biyoyararlanma stratejileri tanımlanmıştır. İlk kez bu çalışma ile

tanımlanan biyoyararlanma stratejileri ile mimaride biyoyararlanmanın yöntemleri belirli stratejiler dahilinde sınıflandırılmıştır. Biyoyararlanma stratejilerinin uygulanması sonucunda elde edilen çevresel kazanımlar da belirli başlıklar altında belirlenmiş ve sınıflandırılmıştır.

## **1.2 Amaç**

Canlı organizmalardan tasarım ve mimari alanda yararlanma konusunda özellikle 2000’li yıllardan itibaren birçok yeni çalışma ortaya konulmuştur ve bu alandaki çalışmalar giderek artmakta ve çeşitlenmektedir. Çalışmanın amacı, giderek artan bu üretimlerin güncel mimari uygulamalara geçişi noktasında yöntemi, amacı ve hedefleri belirli sistemler olarak çalışılması için bir yol haritası çizmektir. Bu amaçla, günümüze kadar biyoyararlanma yaklaşımı içerisinde uygulanmış çalışmaları canlı organizmalar ile birlikte inceleyerek bir değerlendirme yapılarak, çalışmaların daha belirli bir zemin üzerinde çalışılmasını sağlamak amaçlanacaktır.

## **1.3 Kapsam ve Yöntem**

Bu çalışmada biyoyararlanma yaklaşımı ile canlı organizmalardan mimaride yararlanma üzerine bir araştırma yapılmıştır. Araştırma mimaride biyoyararlanma yaklaşımının tanımlanmasının ardından araştırmanın ana kollarından ilki olan yararlanılan canlı organizmalara ait bilgilerin detaylı olarak anlatıldığı bölüm ile ilerlemiştir. Canlı organizmalardan mimaride yararlanma, sağlayacağı faydaların yanında canlı sistemlerden oluşması ve istenmeyen riskli durumlara sebebiyet vermemesi sebebi ile dikkatle çalışılması gereken bir alandır. Bu sebeple yararlanılan canlı organizmaların anlaşılabilmesi önem taşımaktadır. Bu bağlamda canlı organizmalar makro ve mikro ölçekte sınıflandırılarak 2 ana başlık altında incelenmiştir. Makro organizmalar başlığı altında mantarlar, bitkiler ve hayvanlar; mikro organizmalar başlığı altında bakteriler, algler ve cıvık mantarlar anlatılmıştır. Canlı sistemler anlatıldıktan sonra her canlı türü için, o canlı organizma ile ondan mimaride yararlanma çalışmalarına ait bilgiler ve açıklayıcı kısa örnekler verilmiştir.

Bir sonraki bölümde literatüre ve güncel uygulamalara ait incelemeler sonucu canlı organizmalardan mimaride yararlanmanın yolları belli stratejiler dahilinde tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Bu stratejiler biyomateryalizasyon, biyomineralizasyon, biyokonaklama, biyoışıldama ve fotosentez olarak sınıflandırılmıştır.

Sınıflandırmanın ardından bölüm 4'te canlı organizmalardan mimaride yararlanmanın sonucunda elde edilen biyoyararlanma kazanımları tanımlanmıştır. Bu kazanımlarda çevresel özellikleri doğrultusunda 5 ana başlıkta sınıflandırılmıştır. Bunlar; biyokütle kazanımı, kendini onarma, biyoçözünürlük, enerji verimliliği ve biyosağaltımdır.

Mimari uygulama sahasına özellikle son 20 yıl içerisinde girmiş olan biyoyararlanma uygulamaları, önceki bölümlerde verilmiş bilgiler üzerinden bölüm beşte her uygulamaya ait bir değerlendirme tablosu ve ardından uygulamaya ait bilgiler verilerek detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise incelen tüm örneklerin bir değerlendirilmesi yapılarak çalışma tamamlanmıştır.

## **BÖLÜM İKİ**

### **MİMARİDE BİYOYARARLANMA VE CANLI ORGANİZMALARIN SINIFLANDIRILMASI**

İnsanoğlu varoluşundan itibaren doğal sistemler ile iç içe yaşamış ve onun sağladığı imkanlardan yararlanma yolları aramıştır. Mimaride doğal sistemlerden ve organizmalardan yararlanma fikri ise, onun geometrilerinden ve işlevlerinden ilham alma yöntemi ile başlamış ve doğal sistemleri direkt tasarımın bir parçası haline getirmeye kadar ilerlemiştir. Biyofilik tasarım (biophilia), biyoesin (bioinspiration), biyomimikri (biomimicry) ve biyotasarım (biodesign) gibi temel yaklaşımlar canlı sistemler ile farklı ölçeklerde bağlantı kuran bu tasarım anlayışlarını tanımlamaktadır. Biyofilik tasarım, doğal çevre ile yapılı çevre arasında denge kurmayı amaçlayarak doğa ile insanı birbirine bağlayan yaşam biçimlerini ifade etmektedir. Biyoesin kavramı, doğanın estetik ve morfolojik yapılarından ilham alarak tasarımlar üretmeyi amaçlamaktadır. Doğanın biçimlerinden, süreçlerinden ve stratejilerinden öğrendiklerini bütünsel olarak tasarıma dahil etmeyi amaçlayan biyomimikri ise, biyoesinden daha geniş bir alanda doğanın tüm işlevsel süreçlerinden de tasarımda ilham almayı tanımlamaktadır (Kırbaş Akyürek, 2021). Myers'in, biyotasarım olarak adlandırdığı yeni tasarım anlayışı ise, sadece benzetmeye dayalı mimari çözümlerin ötesinde, canlı organizmaların veya ekosistemlerin tasarımın ana bileşeni olarak işlev görmesini tanımlamaktadır. 20. yüzyılın doğayı kontrol altına alan ve ondan izole olmaya çalışan tasarım anlayışına karşın 21.yüzyıl doğa ile aramızdaki sınırların kaldırıldığı ve onunla birlikte çalışıp ürettiğimiz bir tasarım anlayışına yönelmektedir (Myers, 2018).

Biyoyararlanma, insanların yüzyıllardır gıda ve ilaç üretimi gibi birçok alanda bakteri, mantar ve bitki gibi çeşitli canlıları kullanarak çeşitli maddeleri geliştirerek onlardan yeni ürünler elde etmek üzere yararlanmasıdır. Bakterilerden yoğurt mayalama, turşu yapma şeklinde gıda maddeleri üretilirken yararlanılırken; farklı mantar türlerinden antibiyotik ve enzim üretimi gibi alanlarında yararlanılmaktadır. Bunun yanında özellikle dayanıklı bitkilerden peyzaj elemanı ya da mimari elemanlar olarak yararlanma yöntemleri de insanlar tarafından her dönemde uygulanmıştır.



Mimaride biyoyararlanma yaklaşımının bilinçli olarak geliştirilmesi ve farklı canlılara ait uygulamaların çalışılmaya başlaması ise 2000’li yıllardan itibaren ortaya çıkmıştır. Özellikle son 10 yılda bu konuda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu tasarım yaklaşımından mimari literatürde ilk kez bahsedilmesi ise Montana-Hoyos ve Fiorentino (2016), tarafından yapılmıştır. Makalede, biyoyararlanma (bioutilization) kavramı, canlı organizmaların tasarımda kullanılmasını açıklayan yöntemlerden biri olarak tanımlanmıştır (Montana-Hoyos ve Fiorentino, 2016).

Bakteriler, mantarlar, bitkiler, hayvanların mimaride kullanılmasına dair yapılan uygulamalar canlı organizmaların sahip oldukları yeteneklerin mimariye katacağı çevresel kazanımlar nedeniyle dikkat çeken bir alandır. Canlı sistemlerde başarının ana kriteri olan hayatta kalma, büyük ölçüde çevre koşullarına karşı değişim ve uyum yeteneğiyle başarılabilmektedir. Değişim ve uyum yeteneği, biyolojik çözümleri işlevsel, enerji ve maliyet konusunda verimli ve çevre dostu yapmaktadır. Canlı organizmaların bu özellikleri onları çevreleri ile verimli bir şekilde etkileşim kurmasına izin verir. Onların bu adaptasyon süreçlerine sahip yapılar üretebilmek için biyolojik sistemlere ve onların üretim yöntemlerine ihtiyacımız vardır (Imhof ve Gruber, 2015). Bu sebeple öncelikle birlikte üretmek istediğimiz canlı organizmaları tanımak ve onların üretim ve yaşam süreçlerini incelememiz gerekmektedir. Çalışmanın bu bölümünde canlı organizmalara ait bilgiler verilerek onlardan mimaride yararlanırken uygulanabilecek temel yaklaşımlar ve mimari uygulama örnekleri üzerinde durulacaktır.

Organizma ya da canlı terimi, fonksiyonlarını yaşama uyum sağlayarak sürdüren en küçük yapı moleküllerinden başlayarak karmaşık organ sistemlerin bir araya gelmesi ile meydana gelen tüm varlıkları kapsayan bir tanımdır (Vikipedi, 2023a). Mimari alanda canlılardan yararlanma konusu farklı ölçekte canlılar ile çalışılmaktadır. Yapılan çalışmalara incelenerek, tez içerisinde organizmalar makro ve mikro ölçek olarak iki ana grupta sınıflandırılmıştır. Makro ölçekteki organizmalar sınıfında mantarlar, bitkiler ve hayvanlar yer almaktadır. Mikro organizmalar sınıfında ise bakteriler, algler ve civık mantarlara ait çalışmalara yer verilmiştir (Şekil 2.1).

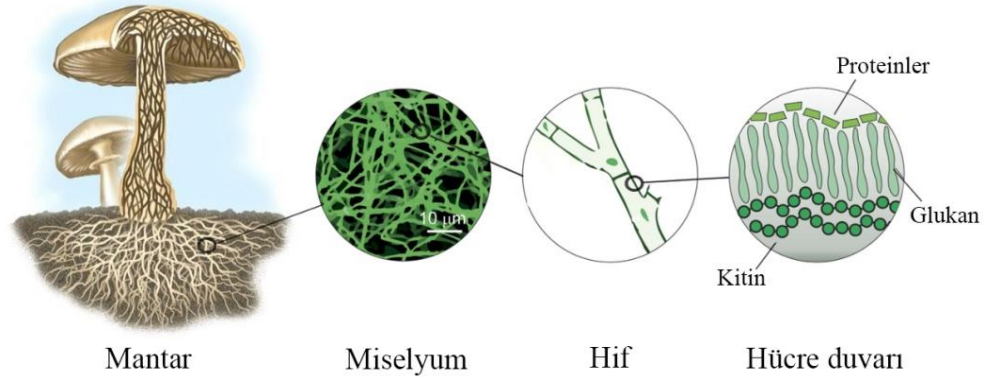


Şekil 2.1 Mimari biyoyararlanmada organizmaların sınıflandırılması

## 2.1 Makro Organizmalardan Yararlanma

### 2.1.1 Mantarlardan Yararlanma

Mantarlar, dünya üzerinde en yaygın dağılımına sahip organizmalardandır. Birçok mantar türü toprakta veya suda yaşamını sürdürür, bazı türler ise bitkiler veya hayvanlar ile parazit veya simbiyotik ilişkiler kurarlar. Mantarlar ökaryotik organizmalardır. Yapıları hif adı verilen boru şeklindeki iplikçiklerden oluşur. Hiflerin dallanarak genişlemesiyle oluşan karmaşık ağ sistemine ise miselyum denilmektedir (Şekil 2.2). Miselyum, çevreden gelen besinlerden yararlanarak büyür ve belirli bir olgunluk aşamasına ulaştıktan sonra kendi üzerinde veya meyve gövdelerinde (şapkalı mantarlar gibi) sporları oluşturur. Sporlar çeşitli mekanizmalar tarafından dağıtılır. Uygun bir tabakaya ulaştıktan sonra sporlar filizlenir ve tekrar dallanan yeni hifler ile miselyumu geliştirir. Mantar büyümesi hiflerin uçlarıyla sınırlıdır ve bu nedenle tüm mantar yapıları hiflerden oluşur (Encyclopaedia Britannica, 2020).



Şekil 2.2 Farklı ölçeklerde miselyumun şematik gösterimi (Tonevitskaya, 2018)

Mantarlar ekmek, şarap ve bazı peynirlerin yapımı gibi birçok süreçte rol almaktadır ve gıda olarak da tüketilmektedir. Bakterilerle birlikte mantarlar, organik maddelerin parçalanmasından; karbon, oksijen, azot ve fosforun toprağa ve atmosfere salınmasından sorumludur (Encyclopaedia Britannica, 2020). Ayrıştırma konusundaki benzersiz yetenekleri bugüne kadar tarımsal atıkların ve çeşitli kimyasalların çevresel olarak iyileştirilmesi için kullanılmıştır. Yeni araştırmalar, mantarların endüstriyel amaçlar için kullanımını tartışmaktadır. Mantar kaynaklı malzemeler endüstriyel ürünlerde yaygın olarak kullanılmasına rağmen mantarların biyoteknolojik potansiyelinden yararlanabilen çalışmalar şu anda yetersizdir. Miselyumun hızla büyüme oranı, sınırlı sulama gereksinimleri, bitki atığını tüketme ve kullanma yeteneği, benzersiz mekanik ve estetik özellikleri göz önüne alındığında endüstriyel uygulamalarda, gelecekteki ürünlerin yaşam döngülerini iyileştirmek için önemli bir çözüm sağlayacağı beklenmektedir (Attias ve diğer., 2020).

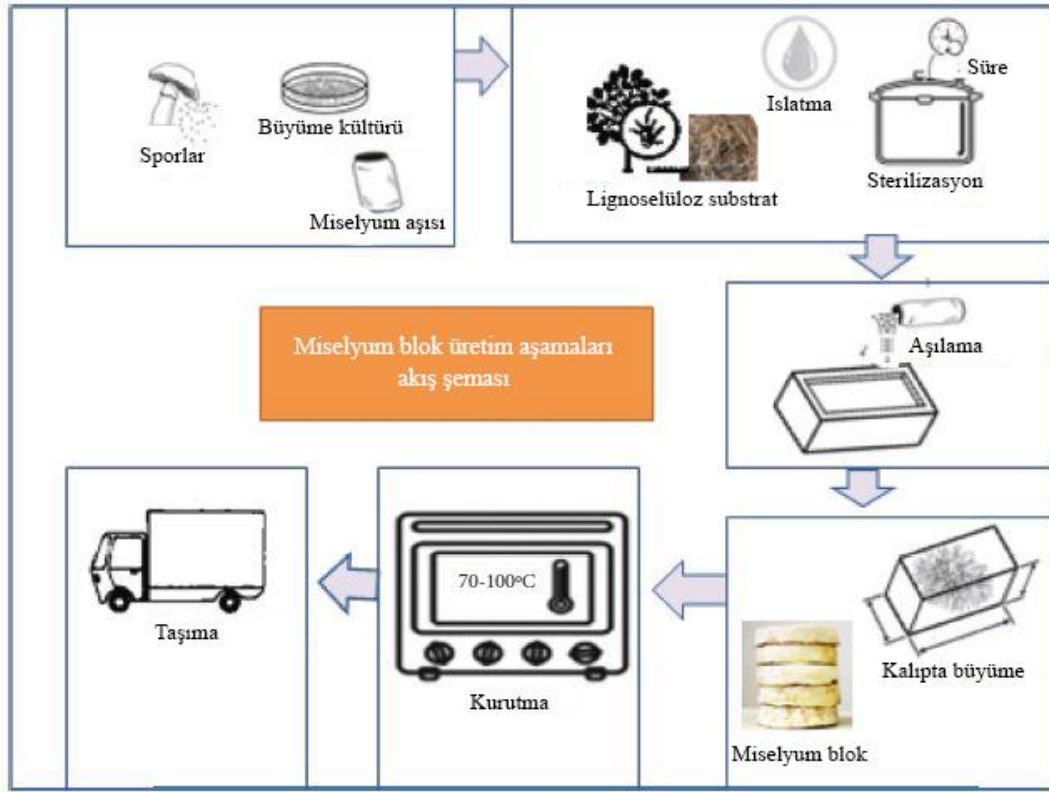
Son on yılda miselyum malzemelerin geliştirilmesinde ve üretiminde bir artış yaşanmaktadır. Bu alanda çalışan şirketlerin önde gelenlerinden biri Ecovative Design'dır. Şirket, miselyum liflerini kullanarak biyolojik olarak parçalanabilen ambalaj ve çevre dostu yapı malzemeleri üretmektedir. Aynı zamanda dikey çiftlik projeleri ile deri, plastik gibi malzemelere sürdürülebilir alternatifler sağlayan biyotabanlı malzemeler yetiştirmektedir (Ecovative, b.t.). Miselyum kompozitlerini araştıran bir diğer şirket de MycoWorks Inc.'dir Tasarımcı Philip Ross'un

alışmalarına dayanan ilk miselyum tuğla prototiplerini üretmişlerdir. Şirket aynı zamanda miselyum bazlı deri malzeme üretmeye odaklanmaktadır (Mykoworks, b.t.).

#### *2.1.1.1 Mantarlardan Yaralanmada Temel Yaklaşımlar*

Miselyum malzeme üretiminde seçilen mantar türü, sonuç ürünün fiziko-mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bugüne kadar üzerinde çalışılmış tür, nano düzeyde kaynaşabilen, besin transferi için bağlantılar oluşturabilen ve mikroskobik düzeyde boşluklara nüfuz eden Basidiomycota türüdür. Literatürde açıklanmış, içerisinde miselyumun büyümesini sağlayan substrat karışımları ise genellikle pamuk, mısır, buğday, kenevir ve keten gibi öğütölmüş tarımsal mahsul atıklarından oluşmaktadır. Substrat karışımları genellikle miselyum gelişimini ve bağlanması uyarmak için karbonhidratlar ve kalsiyum ile zenginleştirilmektedir (Attias ve diğer., 2020).

Genellikle önceden şekillendirilmiş bir kalıbın sterilizasyonu ile başlayan süreç, kalıba substrat maddenin eklenmesi ve miselyum sporlarının aşılması ile devam etmektedir. Birkaç günlük bekleme süresinde miselyumun, substrat partiküllerini birbirine bağlamasına izin verilir. Birbirine bağlı bitki ve mantar liflerinden oluşan canlı kompozitten üç boyutlu bir aę elde edilmesini sağlanır. Yaklaşık %70 su tutan canlı nesne daha sonra kalıptan çıkarılır ve miselyum gelişimini sonlandırmak için fırında kurutulur. Kurutma işlemi sırasında mantar hücrelerinin içindeki su buharlaşarak mikroskobik hava boşlukları oluşturarak sert, kapalı hücreli bir köpük oluşması sağlanmış olur (Şekil 2.3) (Attias ve diğer., 2020).



Şekil 2.3 Miselyum malzeme üretim aşamaları şematik gösterim (Alemu, Tafesse ve Mondal, 2022)

#### 2.1.1.2 Mantarlardan Yararlanılan Çalışmalar

Mantarlar kullanılarak üretilmiş binalar ile hedeflenenlerden biri, canlı malzemenin olanakları ile kendi kendini büyütebilen ve kendi kendini onarabilen binalar üretmektir. Üretimde atık ürünleri kullanarak amaçlanan; atıkları iyileştirmek, geri dönüştürmek ve doğal döngüye uyumlu bir sürecin içinde değerlendirilmesini sağlamaktır. Aynı zamanda mantar malzemenin yüksek yalıtım özellikleri bulunmaktadır. Bu sayede binalar düşük üretim ve işletme maliyetlerine sahip olacak, inşa etmek için önemli bir işgücü gerektirmeyecektir. Yapının kullanım ömrü sonlandığında ise malzemenin biyoçözünürlük özelliği sayesinde geride zararlı atık bırakmadan kendiliğinden doğaya geri döndürülebilecektir (Adamatzky, Ayres, Belotti ve Wösten, 2019).

Mimaride miselyum tuğlalar kullanımına ilk örnek olan 2009 yılında Philip Ross tarafından geliştirilmiş Mycotecture Alpha, miselyum blokların aralarında yapıştırıcı

bir harç olmadan beşik tonoz formunda bir araya getirilmesi ile inşa edilmiş bir yapı örneğidir (Adamatzky ve diğer. 2019; Attias ve diğer, 2020). 2017 yılında Hindistan'da geçici olarak segilenen Shell Mycelium adlı strüktür, ahşap yapı elemanları ve çelik bağlantılar ile ızgara kabuk olarak inşa edilmiştir. Ardından ızgaralar arasındaki boşluklar miselyum kompozit malzeme ile doldurulmuş ve yapı üzerindeki miselyumların büyümesi gözlemlenmiştir (Şekil 2.4) (Dessi-Olive, 2019).



Şekil 2.4 Mycotecture Alpha (Boyer, 2014); Shell Myselium (Frearson, 2017a)

2018 yılında Chartier Dalix, Miselyum Atölyeleri adlı deneysel atölye çalışması düzenlemiştir. Atölye çalışması, miselyumun çevresini zenginleştirme potansiyelini, özellikle de yaşayan duvarın ve alt tabakasının sürdürülebilirliğini gözlemlemeyi amaçlamıştır. Deney, ekibin yaşayan cephenin teknik tasarımı ve biyolojik çeşitliliği üzerinde daha fazla araştırma yapmak için miselyum kolonizasyon sürecini gözlemlemesini sağlamıştır (Şekil 2.5) (Chayaamor-Heil ve Vitalis, 2020).



Şekil 2.5 Miselyum cephe prototipi (Chayaamor-Heil ve Vitalis, 2020)





Şekil 2.6 Mycoarch (Dessi-Olive, 2019)

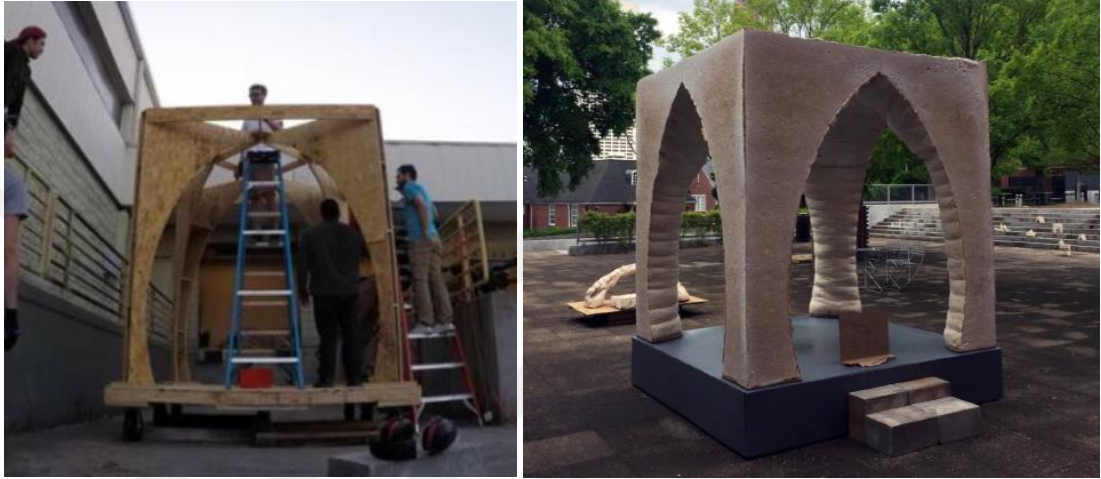
Monolitik bir miselyum yapısı elde etmek için yapılan denemelerden biri Mycoarch projesidir. Proje ile kendi kendini taşıyabilen ve bir büyün olarak yetiştirilmiş bir miselyum kompozit kemer yapısı inşa edilmiştir. Çalışma Ecovative şirketinin desteği ile yürütülmüştür. Miselyum malzeme bükülmüş bir PVC boru ile onun üzerini örten plastik bir kaplamanın arasında 5 günde yetiştirilmiştir. Daha sonra üzeri açılarak kuruması sağlanmıştır. Aynı ekibin bu alanda ürettiği bir diğer proje olan Thick and Thin, karton bir iskelet üzerinde miselyum kompozit malzemeyi yetiştirmeyi denemiştir. Karton iskelet ile plastik membran arasında yetiştiren miselyum yapı yeterli sağlamlığa ulaştıktan sonra kurutularak son haline ulaşmıştır (Şekil 2.6) (Dessi-Olive, 2019).



Şekil 2.7 Thick and Thin, karton iskelet ve miselyum yapı (Dessi-Olive, 2019)

Monolito Micelo, çıkarılabilir kalıp sistemiyle inşa edilmesi ile kendisini önceki monolitik prototiplerden ayırmıştır. Yapının geometrisi, dört ayaklı tonoz parçalarının birleştirilmesinden oluşan iç yüzey ve ortogonal dış yüzeylerden oluşmaktadır. Yapının boyutları 2,5 x 2,5 x 2,5 metredir ve yapı yaklaşık 800 kg miselyum

malzemeden oluşmaktadır. Miselyum malzeme, yapının dış yüzeylerini tanımlayan kontroplak bir dış iskele ve iç kısımları saran esnek bir jeotekstil keçe arasına doldurularak uygulanmıştır. Substrat olarak Ecovative'den temin edilmiş kenevir malzeme kullanılmıştır. Yapı dört gün boyunca büyütülmüştür. Ardından jeotekstil aşamalı olarak çıkarılmıştır. Altı günün sonunda tüm kalıplar kaldırılmış ve ilk büyük ölçekli monolitik miselyum yapı ortaya çıkmıştır (Şekil 2.8) (Dessi-Olive, 2019).



Şekil 2.8 Monolito Micelio, geçici iskelet yapısı ve miselyum yapı (Dessi-Olive, 2019)

### 2.1.2 Bitkilerden Yararlanma

Bitkiler genel olarak fotosentez yapabilen ökaryot canlılardır. Enerjilerinin çoğunu sahip oldukları kloroplast organeli sayesinde güneş ışığından fotosentez yoluyla elde ederler. Yeryüzünde yaklaşık 320.000 bitki türü bulunmaktadır ve bunlar dünyadaki oksijen üretiminin büyük bir bölümünü karşılamaktadır (Vikipedi, 2022b).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), daha iyi fiziksel ve duygusal durum için kişi başına düşen yeşil alanın 10-15 metrekare olmasını önermektedir. Özellikle yapılaşmanın yoğun olduğu ve zeminde yeşil alan imkanı kalmamış şehirler için bina yüzeylerinde yeşil alanlar oluşturmak iyi bir çözüm yolu olabilir (Doğru, 2022). Bitkilerin yüksek karbondioksit emme yetenekleri vardır ve bu şehirler için iyi bir karbon dengeleme yöntemidir. Bina kabuğunda uygulanacak bitki sistemleri yapıların yüzeyinde bir tabaka oluşturularak binanın soğutulması ve ısıtılması için gereken enerji miktarını



azalacaktır. Yapıyı UV radyasyonundan koruyarak cephelerin ömrünü uzatabilecektir. Ayrıca şehirlerdeki sıcaklığı düşürme, hava kirliliğini ve sera gazına neden olan kentsel ısı adablarını da azaltma yeteneğine sahiptir. Şehir içinde bitki varlığı biyoçeşitliliği de arttırmaktadır. (Montjoy, 2022).

#### *2.1.2.1 Bitkilerden Yaralanmada Temel Yaklaşımlar*

Yaşayan mimari (*living architecture*), insanoğlunun yüzyıllardır canlı organizmalar tarafından sağlanan imkânların kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem ile düşük maliyetle ve sürdürülebilir şekilde inşa etmek mümkün olmuştur. Ancak gerçek bir "yaşayan mimari" elde etmek, sadece doğayı olduğu gibi kullanmayı değil, aynı zamanda onu istenilen biçimde şekillendirmeyi de gerektirmektedir (Vallas ve Courard, 2017). Canlı bitkilerden mimaride yararlanmada ana konu bitkilerin büyütülmesi ve şekillendirilmesidir. Bu konuda günümüze kadar farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemleri dört başlık altında inceleyebiliriz (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Bitkilerden Yararlanmada Temel Yöntemler

*2.1.2.1.1 Taşıyıcı Sistem Şeklinde Bitki Büyümesi.* Bir ağaç aşılama kullanılarak başarılı bir şekilde büyütülebilir. Dalların birbirine ya da bir nesneye tutunarak birleşmesi ve şekillenmesi doğal bir süreçtir. Şekillendirme için ip bağlama, kablo bağlama veya vidalama gibi birçok farklı teknik kullanılabilir. Ağaçların büyütülmesi ile bir yapı elde etmek için önce yere plan çizilmeli, ardından plan hatlarına tohum ekilmelidir. Tohumların büyümesi sırasında yapısal şeklin sağlanması için iç içe geçmeleri gerekir. Süreç ağaçların merkezde bir çatı oluşturacak şekilde toplanması ile devam eder. Bu yöntemle bir yapıyı oluşturmak 10 yıl sürebilir (Vallas ve Courard,

2017). Bitkilerden oluşan şehirler inşa etmeyi öneren Mitchell Joachim, yetiştirme süresinin tek bir ev için düşünüldüğünde uzun gibi görünmesine rağmen bu durumun tüm şehir için bir kerede yapılacağının düşünülmesi halinde sürenin uzun olmadığını söylemektedir. Tamamen bitkisel şehirler bir kerede birkaç yıl içinde tamamen büyütülebilir. Ve başlangıç ekiminin ardından ağaçların büyüme süreci çok az bakım gerektirecektir (Joachim, 2015).

*2.1.2.1.2 Tırmanıcı Bitkiler ile Cephe Üzerinde Bitki Büyümesi.* Mimaride bitkilerden yararlanmanın en basit örnekleri aslında yüzyıllardır uygulanan bina cephelerini örten tırmanıcı ve sarmaşık bitkilerin kullanımındır. Bu yöntem ile bitkiler, süsleme amacının yanında binada ısı yalıtımı görevi görmekte ve binaya giren havayı serinletmektedir. Genellikle *dikey bahçe* olarak adlandırılan bu sistemlerde bitki, duvarın yanında yer alan bir toprak tabakası üzerinden bazen duvarın kendisi bazen de ayrı bir ip ya da halat benzeri elemana tutunarak, onun üzerinden yönlendirilerek büyütülür (Doğru, 2022).

*2.1.2.1.3 İkincil Kabuk Üzerinde Bitki Büyümesi.* Yapıların birincil kabuklarının üzerine ikincil bir katman olarak inşa edilen yeşil duvar ya da yeşil çatı sistemleri, bitkilerden bina yüzeyinde yararlanma girişimlerinin daha sistematikleştirilmiş biçimleridir. İçinde bitkilerin büyümesi için gerekli substrat malzemeyi barındıran, metal bir iskelet ya da membran gibi farklı malzemelerden üretilmiş bir taşıyıcı-altlık sistemin ana elemanıdır. Bu altlık içinde büyütülen bitkiler için cephede suyun dikey düzlemde hareketini sağlayan sulama sistemleri kullanılmaktadır. Yağmur suyunun depolanması ile de sulama sisteminden verim elde edilebilmektedir. Yeşil cephe ve çatıların çevre için olumlu faydalarının yanında dikkat edilmesi gereken bazı unsurlar vardır. Yeşil cephe ve çatılar yapının üzerine ıslak ve kuru olma durumlarına göre değişken yükler bindirirler. Bu yüzden tasarım sürecinden itibaren bu yükler statik projeye dahil edilmelidir. Cephenin yaşam sürecinde bitkilerin de düzenli bakıma ihtiyacı olacaktır. Bu da bakım maliyetlerini yükseltecektir. Doğru bitki seçimi ve bakımı yapılmadığı durumlarda bitkilerin büyümesinin engellenmesi ya da bina üzerinde su sızıntıları ve rutubet gibi olumsuz sonuçlarla da karşılaşılabilir (Doğru, 2022).

*2.1.2.1.4 Birincil Kabuk Üzerinde Bitki Büyümesi.* Bitkilerin yapı üzerinde ikincil bir kabul katmanı inşa etmek zorunda kalmadan direkt birincil cephe üzerinde, kabuktaki yapı malzemesi ile bütünleşik olarak yetiştirilmesine dair çalışmalar yapılmaktadır. FAIRE, CEMEX İsviçre araştırma laboratuvarında 2017 yılında prototip üretimi bu fikir ile yapılan bir cephe elemanı çalışmasıdır. Cephede termal yalıtım için canlı organizmaları kullanmayı amaçlayan çalışmada beton blokların içerisinde farklı flora ve faunadan canlıların yaşaması amaçlanmıştır. Çalışmada farklı bitkilerin büyüme koşullarını anlamak ve geliştirmek amaçlı çeşitli beton türleri kullanılmıştır (Chayaamor-Heil ve Vitalis, 2020).

#### *2.1.2.2 Bitkilerden Yararlanılan Çalışmalar*

Bitkilerden canlı olarak yararlanılan en eski ve ünlü örnekler Hindistan ve Endonezya’da canlı ağaç kökleri kullanılarak inşa edilmiş yaya köprüleridir. Endonezya’daki Jembatan Akar Köprüsü, Hindistan’daki Rangthylliang ve Umshiang Köprüleri nehir boyunca bir daldaki kökleri yönlendirerek diğer taraftaki toprağa ulaşmaları için onları yetiştirerek inşa edilmiştir (Vallas ve Courard, 2017).



Şekil 2.10 Auerworld Sarayı, Almanya; Jembatan Akar Köprüsü, Endonezya (Grundhauser, 2016)

Yaşayan mimariye verilecek en yaygın örneklerden biri de Fransa ve Sırbistan’da bulunan ağaç gövdesinin yapının duvarları görevini üstlendiği ağaçlardır. İlk olarak 1998’de Marcel Kalberer ve “Sanfte Strukturen” ekibi bir aydan kısa bir sürede Auerworld Sarayı’nı inşa etmiştir. Bu saray sadece canlı ve kıvrılarak şekillendirilmiş

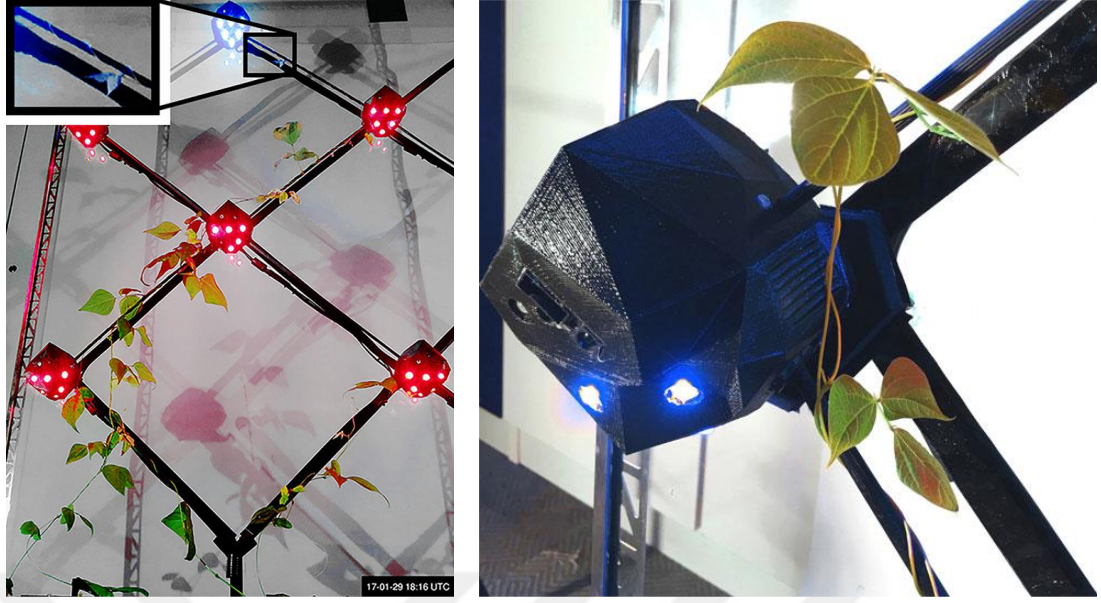
söğütlerden inşa edilmiş yaşayan bir yapıdır. Almanya'da bu inşa yöntemi ile okullarda, özel bahçelerde veya kamusal alanlarda 10.000'den fazla canlı söğüt yapısı inşa edilmiştir (Şekil 2.10). Canlı bitkilerin tüm şehrin baskın ögesi olduğu ve yapıların bitkiler ile kurgulandığı bir şehir öneren Fransız mimar Vincent Callebaut, 2050 yılında Fransa'sını tasvir etmiştir. Bu şehir çevre temizleyici kulelerin, dikey çiftliklerin ve canlı bitkilerin önemli ölçüde kullanıldığı bitkilerin ana eleman olduğu bir şehirdir (Vallas ve Courard, 2017).



Şekil 2.11 Vincent Callebaut tarafından tasvir edilen 2050 Paris görseli (Vallas ve Courard, 2017)

Bitkiler ile etkileşime girerek onlardan belirli amaçlarla yararlanmak için robotların kullanıldığı biyohibrit sistemler, robotik inşaat çalışmalarında son yıllarda araştırılan bir konudur. Bir bitkinin büyümesini belirli hedefe yönlendiren kontrol cihazlarının geliştirilmesine yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Şekil 2.12'deki çalışmada kullanılan cihaz, tek bir fasulye bitkisinin ışık uyaranları ile engellerin etrafından dolanarak önceden belirlenmiş hedefe ulaşmasını sağlamaktadır. Işık yönlendirmelerine sahip mekanik cihazlardan oluşan iskele, üzerinde bitki büyümesi yönlendirilerek şekillendirilmiştir. Bu yöntemlerin geliştirilmesi, bitkilerin büyük ölçekte daha karmaşık inşaat süreçlerinde kullanılabilmesine imkân sağlayabilecektir (Heinrich ve diğer, 2019).





Şekil 2.12 Robotik sistemleri kullanarak ışık ile yönlendirilerek bitki büyütülmesi çalışması (Heinrich ve diğer, 2019)

### 2.1.3 Hayvanlardan Yararlanma

#### 2.1.3.1 İpek Böceklerinden Yaralanmada Temel Yaklaşımlar

İpek böceği bir tür gece kelebeğidir. Kelebekler açık krem renklidir, tombul gövdeli ve yumuşak tüylüdür. Kanat açıklığı yaklaşık 4-5 cm'dir. Evcilleştirme nedeniyle uçuş kabiliyetini kaybeden kelebek de 2 veya 3 günlük bir ömre sahiptir ve bu süre zarfında beslenmez ve uçmaz. İpek böceği dut yaprağı ile beslenir. Bir koza tek bir ipek lifinden yapılmıştır, uzunluğu 800 metredir. Gerçek ipek böceği "Bombyx Mori L" Çin'de yetiştirilen beyaz cins dut ağacında yetiştirilmektedir. Bombyx Mori L ipek böceği diğer cinsler arasında en iyi ipek lifini üretir ve yetiştirilen en özel cinstir (Yılmaz, Ertürk, Coşkun ve Ertuğrul, 2015).



Şekil 2.13 İpek böceklerinin koza örme sürecine ait görseller (Kişisel arşiv, 2023)

#### 2.1.3.1 İpek Böceklerinden Yaralanmada Temel Yaklaşımlar

Evcilleştirilmiş ipekböceği *Bombyx mori* biyolojik birçok eksenli, çok malzemeli, 3 boyutlu elyaf eğirme aygıtı olarak düşünülebilir. Metamorfoz için karmaşık bir yapı olan kozayı oluşturmak için 72 saat boyunca tek bir kilometre uzunluğundaki ham ipek flaman ipliğini döndürür (Oxman, 2015).

Yaygın geleneksel yöntemlerde, ipek böceği kozaları genellikle lifleri (fibroin) matrinden ayırmak için kaynatılır, bu da kozanın çözülmesini ve ipeğin sarılmasını kolaylaştırır. Mediated Matter Grubunun çalışmalarında, ipek böceğini ve kozasını kaynatmadan doğal ipekten yapılmış bir yapıyı ördürmek için ipek böceklerini mevcut bir iskele üzerine yerleştirilerek ipek böceklerinin zarar görmesi engellenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda düz bir yüzeyde ipek böceği, sağlıklı bir şekilde başkalaşırken düzlemsel ve düzgün bir örgü örecektir (Oxman, 2015).

### *2.1.3.2 İpek Böceklerinden Yararlanılan Çalışmalar*

İpek böceklerinden yararlanmaya yönelik çalışma örnekleri bölüm 5'te detaylı olarak anlatılmıştır.

## **2.2 Mikro Organizmalardan Yararlanma**

### **2.2.1 Bakterilerden Yararlanma**

Bakteriler tek hücreli mikroorganizmalardır. Yeryüzünde toprakta, okyanuslarda, canlıların derilerinde veya bağırsaklarında, atıkların içinde olmak üzere her ortamda bulunabilmektedirler (Vikipedi, 2022a). Üretebilmeleri için uygun fiziksel ve kimyasal koşullar var olduğu sürece metabolizmaları çalışır ve sayıları artmaya devam eder. Dış ortama enzim salgırlar ve bu enzim sayesinde ortamdan parçaladıkları besinler ile beslenirler. Yalnız oksijenli ortamda ya da yalnız oksijensiz ortamda yaşayabilen türleri olduğu gibi her iki ortamda da canlılığını sürdüren türleri bulunmaktadır. Üreyebilmek için karbon, azot, su ve çeşitli minerallere ihtiyaç duyarlar. Türleri göre değişken belirli pH ve ısı aralıklarında yaşamlarını sürdürebilirler (Kıyan, b.t.).

Bakterilerden yüzyıllardır yeryüzünde birçok alanda yararlanılmaktadır. Besinleri fermente etmeleri sayesinde peynir, yoğurt, turşu ve sirke gibi gıdaların üretilmesini sağlamaktadırlar. Organik bileşikleri parçalama yetenekleri ile atıkların geri dönüştürülmesinde rol alırlar. Bu alanda toprak ve suların temizlenme çalışmalarında kullanılmışlardır. İlaç hammaddeleri ve saf kimyasal maddelerin üretiminde ve daha birçok geliştirilmeye açık alanda kullanılmaktadırlar (Vikipedi, 2022a). Her bakteri çeşidinin kendine has özellikleri, onlardan önümüzdeki yıllarda henüz keşfetmediğimiz birçok alanda yararlanma ihtimalimizi barındırmaktadır.



#### *2.2.1.1 Bakterilerden Yararlanmada Temel Yaklaşımlar*

Bakterilerden çalışmalarda yararlanabilmek için öncelikle uygun ortam koşulları hazırlanmalıdır. Gerekli besin maddelerini de içeren “besiyeri” adı verilen ortamda bakteri üretimi ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilir (Kıyan, b.t.). Üretimi sağlanan bakteriler farklı alanlarda kullanılmak için yararlanılacak alana entegre edilerek çalışmalar geliştirilir.

Bakterilerden yararlanmanın yollarından biri doğadaki ana faaliyetlerinden olan mineralizasyon ve biyokalsifikasyon süreçlerinin kullanımudur. Biyokalsifikasyon süreci *Sporosarcina pasteurii*, *Sporosarcina ure* ve *Sporolactobacillus* gibi bakteriler tarafından gerçekleştirilebilir. *Sporosarcina pasteurii* aerobik veya anaerobik türde, 5°C ile 45°C arasında yaşayabilen bir bakteri türüdür (Keskin ve diğer, 2019).

#### *2.2.1.2 Bakterilerden Yararlanılan Çalışmalar*

Mimaride bakterilerden biyomineralizasyon, biyokonaklama, biyoyışıldama ve fotosentez stratejilerine dayanan çalışmalar yürütülmektedir. Bu stratejiler bölüm 3’ te açıklacaktır. Bu alanlarda ortaya konan çalışmalar malzeme ölçeğinden başlayarak yapısal eleman ölçeğine ilerlemiş hatta kentsel tasarım ölçeğine ulaşan tasarım ihtimalleri geliştirilmektedir. Bu çalışmalara ait örneklerle daha geniş açıklamalar ile bölüm 3 ve 4’te yer verilecektir.

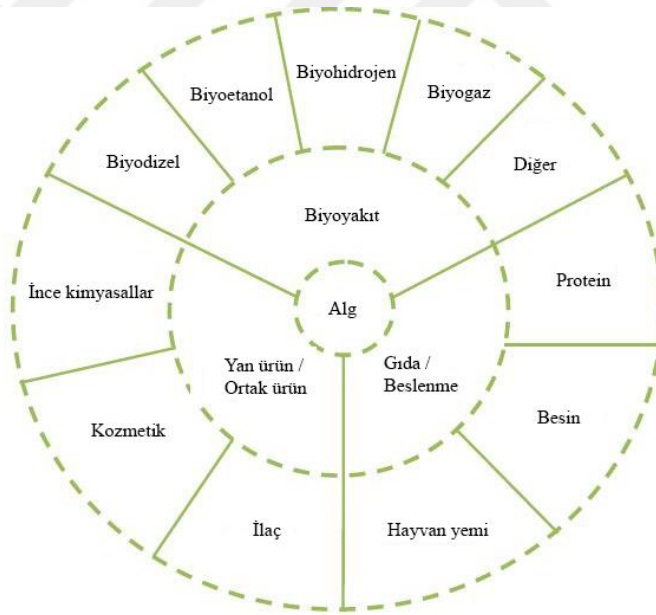
#### **2.2.2 Alglerden Yararlanma**

Mikroalgler güneş ışığını, suyu ve karbondioksiti fotosentez süreci ile biyokütle kaynağına dönüştüren ökaryotik mikroorganizmalardır. Mikroalgler en hızlı büyüyen fotosentetik organizmalardır (Pragya, Pandey ve Sahoo, 2013). 50.000’den fazla mikroalg türü vardır. Farklı mikroalg türleri çeşitli ortamlarda, tatlı sularda, acı sularda ya da atık sularda gelişir. CO<sub>2</sub> gibi inorganik karbon kullanan mikroalgler ototroflar olarak bilinir. Ototroflar, enerji kaynağı olarak ışığı kullanarak fotosentez gerçekleştirirken, heterotrofik mikroalgler organik karbon kullanırlar (Rashid,

Rehman, Sadiq, Mahmood ve Han, 2014). Su bitkilerinin aksine, mikroalglerin gerçek embriyoları, kökleri, gövdeleri ve yaprakları yoktur. Mikroalglerin kimyasal bileşimleri esas olarak türlere ve kültür koşullarına bağlıdır (Zhu, 2015).

#### 2.2.2.1 Alglerden Yaralanmada Temel Yaklaşımlar

Mikroalglerden kazanılan biyokütle birçok sektörde kullanılabilmektedir (Şekil 2.14). Üretilen biyokütle insanlar için besin maddesi olarak kullanımın yanında hayvan yemi olarak değerlendirilebilmektedir. Elde edilen biyokütle birçok türde biyoyakıt üretmek için hammadde olarak da kullanılabilmektedir. Bu şekilde enerji üretmek için en verimli yol alg yağının biyodizele dönüştürülmesidir. Birçok alg, biyodizele dönüştürülebilen yağ veya lipidler açısından yüksek derecede zengindir (Pragya, Pandey ve Sahoo, 2013).



Şekil 2.14 Biyorafineri ile mikroalglerden elde edilebilen potansiyel ürünler (Zhu, 2015)

Ayrıca uygulanan işlemler sonucu ortaya çıkan yan ürünler de önemli ölçüde kullanılabilmektedir. Örneğin yan ürün olarak ortaya çıkan metan gazı, yakıt olarak ya da elektrik üretimi için kullanılabilmektedir (Elcik ve Çakmacı, 2017). Alglerden elde edilen ürünlerin kullanım alanları resim 2.14'te gösterilmiştir.

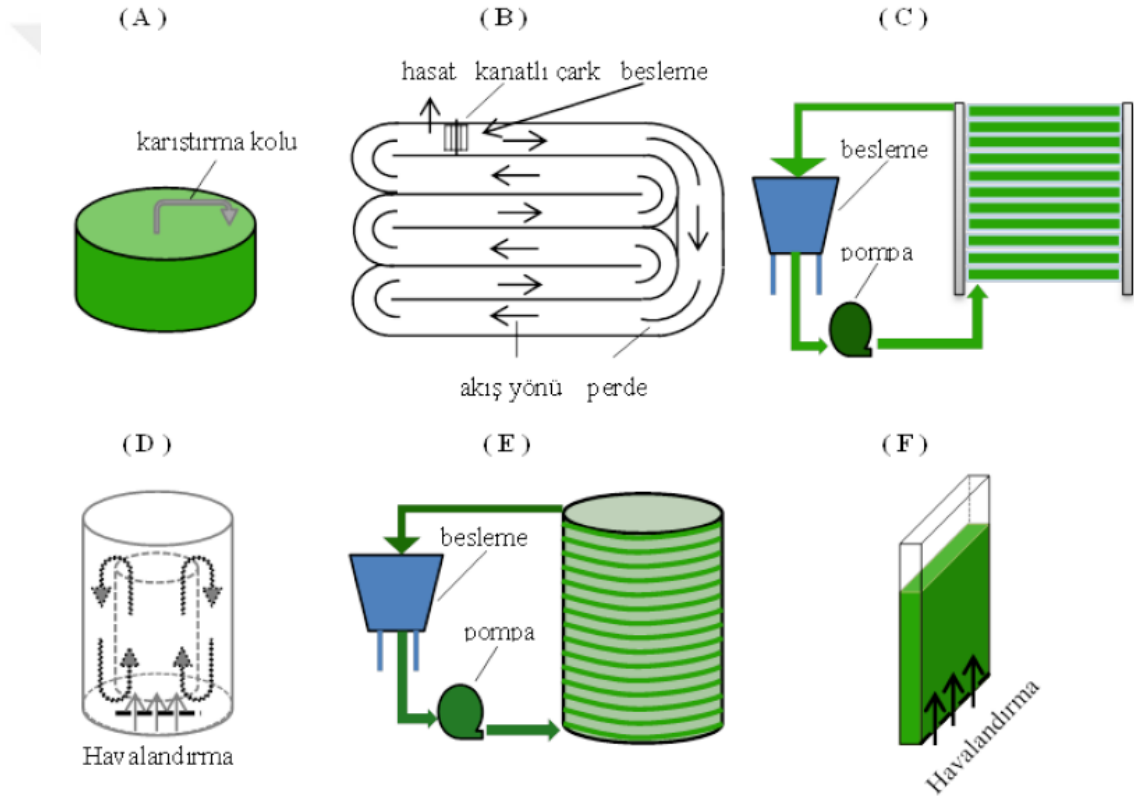
*2.2.2.1.1 Mikroalg Seçimi ve İzolasyonu.* Mikroalglerin seçilmesi ve izolasyonu kullanım amacına göre değişkenlik göstermektedir. Kirlenmiş alanlardan toplanan mikroalg türleri kirleticilere karşı daha dayanıklı olduğu için atık su arıtımında kullanılabilir. Petrol istasyonu gibi yağ içeren bölgelerden toplanan türler, yağı besin kaynağı olarak kullandığı ve depoladığı için bünyelerinde yüksek yağ oranına sahiptirler (Rashid, Rehman, Sadiq, Mahmood ve Han, 2014). Bu türler biyoyakıt üretimi için daha uygun olacaktır.

Mikroalglerin üreme ortamından izolasyon işleminde, sabit kültür ortamlarında üretilen algler ile yerel habitattan izole edilen türler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Yıllar içinde sürekli sabit koşullar altında ekilmiş mikroalg türlerinin zamanla çevresel zorluklara adapte olma yeteneklerinin kaybolduğu gözlemlenmiştir. Doğal ortamlarında büyüyen mikroalglerin büyümelerini besleyen zengin çevre besin ortamları ise gelişmiş ve dayanıklı mikroalg türlerini ortaya çıkarmaktadır (Rashid, Rehman, Sadiq, Mahmood ve Han, 2014).

Mikroalg üretimine birçok parametre etki etmektedir. Bunlar başlıca ışık, sıcaklık, besin maddesi, ortamın pH miktarı ve sistemin karıştırılmasıdır. Işık yoğunluğu mikroalglerin fotosentez sürecini doğrudan etkilemektedir. Aşırı az ve yüksek ışık mikroalglerin büyümelerinde olumsuz etkiye sebep olmaktadır. Ayrıca mikroalglerin gün içinde maruz kaldıkları ışık süresi de büyüme periyotlarını etkilemektedir. Mikroalgler için en uygun büyüme sıcaklığı 20-30°C aralığıdır ancak 5-35°C aralığında gelişmeye devam edebilirler. Yetiştirilmelerinde gereken başlıca besin maddeleri karbon, azot ve fosfordur. CO<sub>2</sub> mikroalg kültürüne atmosferden temin edilir. CO<sub>2</sub>'nin sudaki çözünürlüğünün düşük olması sebebiyle su kültürü içerisindeki alglere hava pompası yardımı ile sürekli besleme yapılmalıdır. Ortamın karıştırılması da ışık, sıcaklık ve gazların homojen dağılımı ve mikroalglerin dibe çökmemesi için önemli bir parametredir (Elcik ve Çakmakcı, 2017).

*2.2.2.1.2 Mikroalg Üretim ve Hasat Sistemleri.* Mikroalg üretiminde açık havuz sistemleri ve kapalı sistemler kullanılmaktadır (Şekil 2.15). Açık havuz sistemlerinin üretim ve işletme maliyetleri daha düşüktür ancak çevresel koşullardan daha çok

etkilenirler. Bu sebeple mikroalg üretim verimleri düşüktür. Kapalı fotobiyoreaktör sistemler ise sıcaklık, pH kontrolü, daha iyi karıştırma yöntemleri ve diğer mikroorganizmalardan koruma gibi avantajlara sahiptir. Yatay tübüler, hava kaldırmalı, sarmal tübüler ve düz plaka gibi farklı tiplerde kapalı fotobiyoktör sistemler kullanılmaktadır. Üretimi tamamlanan alglerin hasat işlemi fiziksel membranlar, kimyasal ajanlar ya da biyolojik organizmalar kullanılarak farklı yöntemler ile yapılabilmektedir. (Elcik ve Çakmakcı, 2017). Bu işlemler sonucunda elde edilen biyokütle önceki sayfalarda anlatılmış yöntemler ile farklı amaçlarla kullanılmaktadır.



Şekil 2.15 Tipik mikroalg üretim sistemlerinin şemaları A) Dairesel karıştırılmalı havuz B) Yarış pisti tipi havuz C) Yatay tübüler fotobiyoreaktör D) Hava kaldırmalı reaktör E) Sarmal tübüler fotobiyoreaktör F) Düz plaka fotobiyoreaktör (Elcik ve Çakmakcı, 2017)

#### 2.2.2.2 Alglerden Yararlanılan Çalışmalar

Mikroalgerden yararlanılan çalışmalara ait örneklere daha geniş açıklamalar ile bölüm beşte yer verilmiştir.

### **2.2.3 Cıvık Mantarlardan Yararlanma**

#### **2.2.3.1 Cıvık Mantarlardan Yaralanmada Temel Yaklaşımlar**

*Physarum polycephalum*, dünyanın birçok yerinde ormanlarda yaşayan tek hücreli bir cıvık mantar türüdür. Cıvık mantarlar, yiyecek arama davranışları sırasında yüzey üzerinde ağaç benzeri şekillerde dallanarak büyüyerek besin kaynakları üzerinde koloniler oluşturur. Koloniler tek bir organizma gibi bir tüp ağı ile birbirine bağlanır (Adamatzky, 2012). Cıvık mantarların sinir sistemi yoktur. Merkezi bir yönlendirme sistemine sahip olmamalarına rağmen, öğrendikleri bilgileri bağlandıkları diğer hücrelere aktarabilirler. Besin aktarımı için en verimli yolu seçebilirler. Verimliliğin sağlanması için de besin kaynakları arasındaki en kısa mesafeyi kurma yeteneğine sahiptirler (Kaynarkaya ve Çağdaş, 2020).

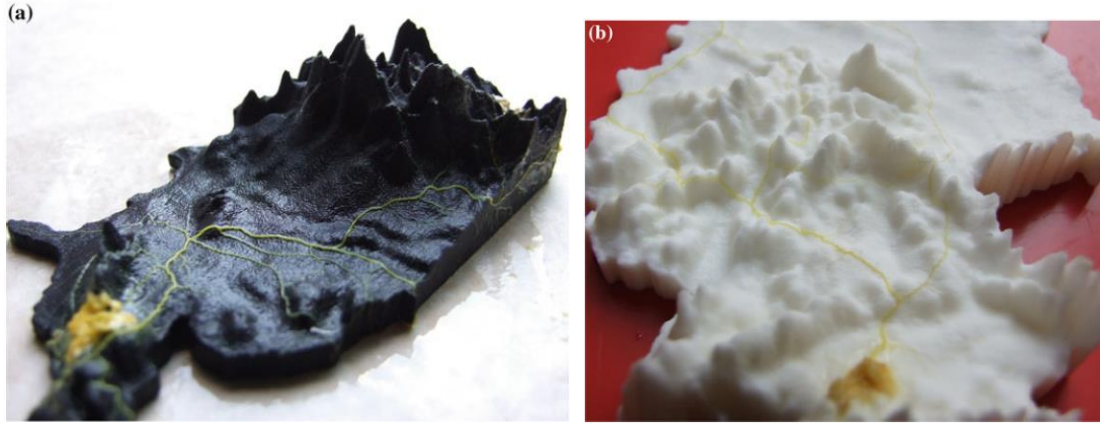
#### **2.2.1.2 Cıvık Mantarlardan Yararlanılan Çalışmalar**

Adamatzky, cıvık mantarlar ile birçok ülkenin otoyol ağlarının oluşumlarını incelemek için çalışmalar yapmıştır. Ülkelerin nüfus, ekonomi ve ulaşım özelliklerine göre yüksek yoğunluklu bölgeler seçilmiş ve deney sonucunda cıvık mantarların kurduğu ağlar ile kentsel ulaşım ağları kıyaslanmıştır (Kaynarkaya ve Çağdaş, 2020). 2012 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin ulaşım ağının oluşumunu taklit etmek için *P. polycephalum*'un yiyecek arama davranışından yararlanılan bir çalışmada önemli merkezlere yulaf ezmesi yerleştirilmiştir. Ortama aşılana *P. polycephalum*'un oluşturduğu ağlar analiz edilmiştir (Şekil 2.16) (Adamatzky, 2012).



Şekil 2.16 ABD ulaşım haritası üzerinde gelişmiş cıvık mantar ağı (Adamatzky, 2012)

Cıvık mantarlar ile kentsel ulaşım ağlarının arasındaki benzerlikleri ortaya çıkararak, otoyollar ve metro hatlarını geliştirmek için son yıllarda yapılan laboratuvar çalışmalarının en önemli eksiği deneylerin 2 boyutlu yüzeyler üzerinde yapılmış olmasıdır. Başlangıç deneyleri düz bir substrat olan agar plakalarından oluşan deney yüzeyleri üzerinde yapılmıştır. Bu deneyler 3 boyutlu yeryüzü şekillerini içermediği halde var olan ulaşım hatlarına yakın bağlantılar oluşmuştur. Ancak deneylerden daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için çalışmalar 3 boyutlu modellerin üzerine taşınmıştır. ABD ve Almanya'nın 3 boyutlu modellerinin yapıldığı deneyde cıvık mantarların en kısa yollar üzerinden bağlantılar kurduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2.17) (Adamatzky, 2016).



Şekil 2.17 ABD (a) ve Almanya'daki (b) dağların etrafında dolaşan cıvık mantarı gösteren 3 boyutlu model çalışması (Adamatzky, 2016)

Kale ve arkadaşları tarafından yapılmış çalışmada, *Physarum polycephalum* organizmasının kentsel ulaşım ağlarının tasarımında yol göstericiliği potansiyeli araştırılmış, yeni kentsel merkezlerin olduğu bir ütopya kurgulanmış ve bu durumda cıvık mantarların en kısa yolu bulma yeteneğinden faydalanmaya çalışılmıştır. Yeni yerleşim merkezlerinin bulunduğu harita altlığının üzerine canlı organizmalar yerleştirilerek yapılan deneyde, bu organizmaların oluşturduğu bağlantılar gözlemlenmiştir (Şekil 2.18) (Kale ve diğer., 2019).

## BÖLÜM ÜÇ

### MİMARİDE BİYOYARARLANMA STRATEJİLERİ

Mimaride biyoyararlanma yaklaşımı, bölüm ikide incelenen canlı çeşitliliği göz önüne alındığında geniş bir çalışma alanına sahiptir. Çalışma sayısının gün geçtikçe artması ve yararlanılan canlı organizmaların da çeşitlenmesi ile çalışma sahasının giderek artacağı öngörülmektedir. Bu durumda artan ve çeşitlenen çalışmalar düşünüldüğünde, bu çalışmaların uygulanması aşamasında belirleyici ve kapsayıcı stratejilerin tanımlaması ihtiyacı doğmaktadır. Bu amaçla tanımlanan mimari biyoyararlanma stratejileri, mikro ve makro organizmalar aracılığıyla uygun canlı mekanizmalarını kullanarak yapım ve kullanım süreçlerinde yapıya fayda sağlayacak biyomalzeme üretimini esas almaktadır (Baysal ve Orhon, 2023).

Bu alana ait yapılan çalışmalar incelendiğinde, canlıların biyolojik çalışma yetenekleri ile mimari üretimin gerçekleştirilme yöntemine göre beş ana strateji belirlenmiştir (Şekil 3.1). Bu stratejiler biyomateriyalizasyon, biyomineralizasyon, biyokonaklama, biyoışıldama ve fotosentezdir.



Şekil 3.1 Biyoyararlanma stratejilerinin belirlenmesi



Mimari çalışmalarda belirli biyoyararlanma stratejilerin tanımlanması sayesinde şu sonuçlar elde edilebilir:

- Canlılar ile çalışılırken oluşabilecek riskler en aza indirilebilir.
- Yanlış uygulamalar sonucu yararlanılan canlıların zarar görmesi önlenebilir.
- Yararlanılan canlının etkileyebileceği diğer ekosistemlere karşı olası ihtimaller önceden hesaplanabilir.
- Yapılan çalışma sonucunda elde edilmesi amaçlanan çevresel kazanımlara göre doğru canlı organizma ve yöntemin seçilmesi ile zaman ve emek kaybı önlenebilir.
- Seçilen canlı organizma ile üretilebilecek mimari yapı/yapı elemanı olasılıkları önceden tanımlanmış olur.
- Mimari uygulamanın sürecinin nasıl ilerleyeceği ve nasıl bir sonuca varılacağı konusundaki belirsizlikler azaltılabilir.

### 3.1 Biyomateryalizasyon

Bir hücre, doku ya da organizmanın gelişerek şeklinin oluşması süreci morfogenez olarak adlandırılır (Wikipedia, 2021). Materyalizasyon ise maddesel olarak var olmaya başlamayı ifade etmektedir (Oxford Learner's Dictionaries, b.t.). Doğada morfogenez ve materyalizasyon birbiri ile ayrılmaz şekilde ilişkilidir. Morfogenetik süreçlerden kaynaklanan biyolojik malzeme oluşumunun mimaride kullanımının incelenmesi ilginç alternatifler sunar (Menges, 2015).

Biyomateryalizasyon, mimari literatürde ilk kez Dade-Robertson'ın makalesinde (Dade-Robertson, Ramirez-Figueroa ve Hernan, 2017) bu isimle tanımlanmıştır. Kavramın detaylandırılarak bir biyoyararlanma stratejisi olarak tanımlanması ise bu tez kapsamında gerçekleştirilmiştir. Kısaca canlı biyolojik malzeme üretimi olarak tanımlanan biyomateryalizasyon kavramı, mimaride canlı sistemler tarafından üretilen ya da üretilmeye ve büyütülmeye devam eden malzemeleri önermektedir. Bu yaklaşım, malzemenin ilk üretiminden sonra da canlı kalabileceği ve büyümeye devam edebileceği yapısal seçenekleri kapsamaktadır.

Dade-Robertson (Dade-Robertson, Ramirez-Figueroa ve Hernan, 2017), makalelerinde bu alanda yapılan deneyleri üç temel ilke ile tanımlamışlardır. Buna göre bir canlı organizma ya da sistem tarafından üretilmiş malzemenin yapısal kullanım olanaklarını;

- doğrudan malzeme deneyleri üzerine vurgu
- malzeme performansı ve form yapımının birleşimi
- malzemelerin doğal hesaplama yöntemlerinin tanınması olarak tanımlamıştır (Dade-Robertson, Ramirez-Figueroa ve Herrnan, 2017).

Canlı organizmaların malzeme üretme yeteneklerini mimaride kullanmada günümüze kadar yapılan çalışmalarda farklı üretim teknikleri uygulanmıştır. Organizmanın bir yapı elemanına dönüşmesini sağlayan bu teknikleri iki yöntemle sınıflayabiliriz (Şekil 3.2).

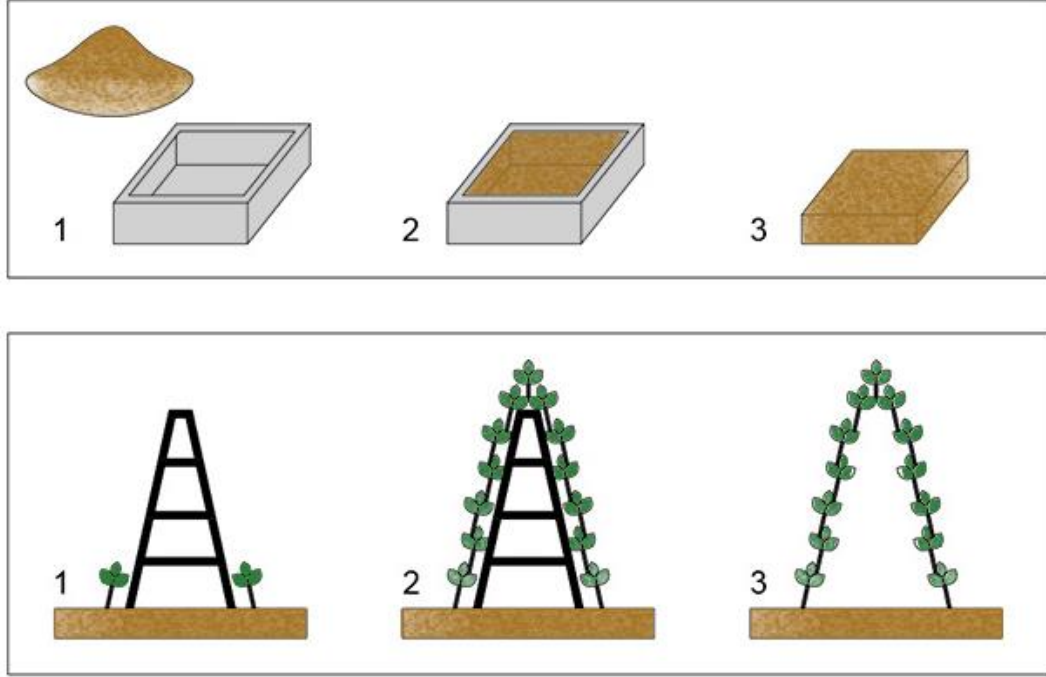
### ***3.1.1 Kalıp İçinde Yetiştirme Yöntemi***

Canlı organizmanın uygun besi ortamı ve yardımcı malzemeler ile bir kalıbın içinde büyüterek kalıbın şeklini aldığı üretim yöntemidir. Malzeme direkt canlı haliyle ya da bir takım işlemler sonucu öldürerek yapı malzemesi olarak kullanılır. Mantar miselyumlarının kullanıldığı çalışmalarda canlı miselyum karışımları yapı malzemesini oluşturduktan sonra ısıtma işlemi uygulanarak öldürülür ve malzeme sabitlenir. Ancak miselyumların öldürülmeden yapı içinde canlı kalarak büyümesine izin verildiği çalışmalar da bulunmaktadır.

### ***3.1.2 İskele Üzerinde Yetiştirme Yöntemi***

Canlı organizmaların destekleyici bir iskele üzerinde şekillendirilip büyütüldüğü üretim yöntemidir. İskele ile üretime malzeme performansını sağlamaya yönelik çalışmalara ipek böceklerinin kullanıldığı uygulamalar örnek verilebilir. Sabit bir iskele formu üzerinde ipek böceklerinin koza örme yetenekleri kullanılır. Normal koşullarda yapısal bir formu olmayan malzemeye iskele üzerinde büyütülerek yapısal form verilir. Ağaçların 'inşa zekası' (constructive intelligence) olarak adlandırılan

yeteneklerinden yararlanarak bitkilerden de yük taşıyan sistemler olarak mimaride yararlanılmaktadır. Kendi malzemesini kendi üreten ve büyüten bu üretim fikri ile 5-10 yıl süre içinde yapısal olarak yük taşıyabilecek mimarilerin yetiştirilmesi öngörülmektedir (Myers, 2018).



Şekil 3.2 Kalıp içinde yetiştirme ve iskele üzerinde yetiştirme yöntemlerine ait görselleştirme

Canlı organizmalardan yararlanan bu üretim yolları tek tek yapı bileşenlerinin üretiminden başlayarak tüm yapının üretilmesine kadar geniş bir ölçekte uygulanabilir.

### 3.2 Biyomineralizasyon

Doğa, sıklıkla değişen çevre koşullarına uyum sağlama yeteneği olan bir tasarım anlayışına sahiptir. Hasar yönetimi olarak tanımlanan bu durum canlı organizmada meydana gelen yaralanmaları kendi kendine onarma özelliğidir. Bu farklı yollar ile yapılabilir. Büyüme sırasında ağırlığı artan bir ağaç dalı ek kuvvet gereken yerde daha fazla yapısal destek dokusu oluşturabilir (Jonkers, 2017). Bu durum bir önceki başlıkta anlatılan biyomateriyalizasyona bir örnektir. Canlı vücudunda kırılan kemiklerin yeniden birbirine kaynamasında ise biyomineralizasyon olayına bir örnektir. Burada mineraller ile birleşen canlı dokular yeni ve sert kemik dokusunu oluşturmaktadır.



kalsiyum karbonat (kireçtaşı/ $\text{CaCO}_3$ ) oluşumunu sağlayabilir. Oluşan kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) çimento esaslı malzemelerde oluşan çatlakları doldurmak ya da yapısal dayanıklılık sağlamak amacıyla kullanılabilir (Amiri ve Başaran Bundur, 2019).

Çimento karışımına bakterilerin eklenmesi ile üretilen kendini onaran beton (self-healing concrete), son yıllarda birçok araştırmacı tarafından çalışılan ve gelecek vadede bir yapı malzemesidir. Malzeme, beton karışımının içine gömülmüş aktif olmayan bakteri sporları ve gerekli besinleri içerir. Malzemenin kullanım sürecinde zamanla oluşacak çatlaklarda çatlakların içine oksijen ve su ulaşır. Bu durumda bakteri sporları aktive olur ve kalsiyum karbonat üretmek üzere besinleri parçalar. Oluşan kalsiyum karbonat ile meydana gelen çatlaklar kapatılır ve sıvı sızdırmazlığı sağlanarak dayanıklılığını etkileyebilecek zararlı maddelerin girişi engellenir böylece betonun kullanım ömrü uzatılır (Tziviloglou, Wiktor, Jonkers, ve Schlangen, 2016).

Çalışmaların uzun vadede yararlarını görebilmek için çimentonun içine eklenen organizmaların canlı kalma süreleri önem taşımaktadır. Literatürde bu amaçla otojen, damarsal ve kapsül tabanlı kendini onarma gibi farklı teknikler üzerine araştırmalar yapılmaktadır (Amiri ve Başaran Bundur, 2019; Gupta ve Kua 2016). Bu çalışmalardan Bölüm 4 – Kendini Onarma maddesinde detaylı olarak bahsedilmiştir.

Bakterilerin biyokalsifikasyon mekanizmasından yararlanarak yaşayan yapı malzemeleri (living building materials - LBMs) üretmek üzerine yapılan farklı bir çalışmada önceki çalışmalarda kullanılan çimento bazlı karışımların yerine kum-hidrojel karışımından oluşan bir malzeme kullanılmıştır. Fotosentetik siyanobakteri olan *Synechococcus* sp. kum-hidrojel iskelete aşılmıştır. Kalsiyum karbonat biyomineralizasyonu sayesinde hidrojel yapının dayanıklılığını artmıştır. En az %50 bağıl nemde 30 gün boyunca korunan LBM'lerde mikrobiyal canlılık %9-14 olmuştur. Bu oran, benzer süreler için çimento bazlı malzemelerde kullanılan mikroorganizmaların literatür değerlerinden (%0.1 – %0.4) çok daha yüksek çıkmıştır. Yapısal işlev iyi kurutulmuş malzemeler için daha yüksektir ancak kurutma mikrobiyal aktiviteyi tehlikeye attığı için uzun süre uygulanamamıştır. Geliştirilmeye

ihtiyacı olan bu denklemlere rağmen LBM'ler yapı malzemelerine algılama, tepki verme ve yeniden oluşturma işlevselliği kazandıran biyolojiyi kullanan bir teknolojiyi temsil etmektedir (Heveran ve diğer. 2020).



Şekil 3.4 Yaşayan yapı malzemesi (LBMs) (Ingham, b.t.); Kolon 21 (Hitti, 2019)

Biyomineralizasyon ile yapılarda kazanılması amaçlanan bir diğer fayda yapısal mukavemet/sertlik özelliğidir. Bu amaçla yürütülen Kolon 21 (Column 21) adlı projede normal koşullarda kendini taşıma imkanı olmayan jüt lifinden örülmüş bir kolona içinde *S. Pasteur* bakterisi karışımı olan bir kültür malzemesi uygulanmıştır. Bakterilerin ürettiği kalsit tabakası tekstil üzerinde bir sert bir katman oluşturmuştur. Böylece tekstil malzemeden üretilmiş kolon yapısal dayanım kazanmıştır (Şekil 3.4) (Beyer, Suarez ve Palz, 2019; Hitti, 2019).

### 3.3 Biyokonaklama

Bina kabuğunda canlı bitkilerin kullanıldığı uygulamalardan bölüm birde bahsedilmiştir. Binaların cephelerinde bitkilerin ikincil bir kabuk olarak yetiştirildiği yeşil duvar olarak adlandırılan bu sistemler, mekanik sistemle sulama ve bakım zorlukları sebebiyle yüksek yapı hayat süreci maliyetlerine sebep olmaktadır (Cruz ve Beckett, 2016). Yeşil yapı kabuğu fikrine yeni bir yaklaşım getiren Guillette, biyoreseptiviteyi ilk kez tanımlamış ve yapı kabuğunda kriptogam canlıların kullanımını önermiştir. Tezde, sıklıkla çevre mühendisliği alanında yapılan çalışmaları



tanımlamak için kullanılan biyoreseptivite terimi yerine, kelimeye Türkçe bir karşılık olacak biyokonaklama terimi kullanılmıştır.

Kriptogam canlılar, sporla çoğalan tohumusuz bitki veya bitki benzeri canlılar olarak tanımlanır. En çok bilinen kriptogam grupları algler (protista türü), likenler, yosunlar (bitki alt türü) ve eğrelti otlarıdır ancak mantar ve bakteri gibi organizmalar da bu gruba dahil edilmiştir (Wikipedi, 2023). Kriptogam canlıların binalara zarar verebilecek kök sistemleri yoktur. Bu türler konak yapıya zarar vermeden destekleyici substratlar üzerinde büyüyen canlılardır. Ortam koşullarına karşı dayanıklıdırlar ve hayatta kalmak için çok daha az bakıma ihtiyaç duyarlar (Cruz ve Beckett, 2016).



Şekil 3.5 Kriptogam canlı büyümesi örnekleri (Kişisel arşiv, 2022)

Guillette biyokonaklama (bioreceptivity) terimini, herhangi bir biyolojik bozulmaya uğramadan bir veya birkaç canlı organizma grubu tarafından bir malzemenin (veya herhangi bir başka cansız nesnenin) kolonize olma yeteneği olarak tanımlamıştır. Kolonileşme kelimesi barınma, gelişme ve çoğalma koşullarının yerine getirilmesini sağlayan bir malzemenin varlığına işaret eder. Bu da malzeme ile kolonileşen organizmalar arasında ekolojik bir ilişki olduğunu gösterir (Guillette, 1995).

Daha önceki dönemlerde kullanılan biyobozunma (biodegradation ya da biodeterioration), maddelerin biyolojik olarak bozulması olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin canlı organizmalar tarafından istilasına mutlaka fiziksel ve kimyasal bozulmaya yol açmaz. Bu tanıma karşılıklayan biyokonak kavramı olumlu fiziksel ve görsel faydalar sağlayabilir (Guillette, 1995). Bu canlılar yapıyı hava koşullarından koruyarak ısı ve ses yalıtımı sağlarlar. Bitki gövdesi üzerinde dolaşan suyun hareketi sıcak havalarda serinletme etkisi sağlar ve soğutma yüklerini düşürür. Fotosentez ile yılda 3,9 milyar tona kadar karbonu temizleyebilirler. Havadaki diğer toz ve yabancı maddeleri hapsederek ortam havasını temizlerler. Ve hepsinden önemlisi kendi kendileri idame ettiren sistemlerdir. Tipik yeşil duvar sistemleri gibi sulanma ve bakım ihtiyaçlarını yoktur (Mustafa, Prieto ve Ottele, 2021).

Bu tür bir büyümenin binalar üzerinde gözlemlenmesi, kolonileşmenin bazı malzemelerde diğerlerine göre daha fazla olduğunu ve bunun malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olduğunu açıkça görülmektedir. Araştırmalar pürüzlülüğün ve gözenekliliğin, sporların ve tozlarının yerleşmesi için ideal bir tutunma sistemi oluşturduğunu göstermiştir. Mineral bileşiminin ve yüzey pH'ının özellikleri de biyokolonizasyonu etkileyen temel özelliklerdir (Cruz ve Beckett, 2016).

2015 yılında Manso ve arkadaşları biyokonaklama özellikli yapısal malzeme geliştirmeye yönelik çalışmalarını başlatmıştır. Biyolojik bir substrat olarak magnezyum fosfat çimentolarıyla (MPC) üretilecek bloklar çalışılmıştır. İçerikleri farklı MPC karışımları ile bloklar hazırlanmıştır. Ayrıca farklı karışımların gözeneklilik ve pürüzlülük seviyelerinin etkisi gözlemlenmiştir. Blokların üzerinde algler kullanılmıştır. Sonuçta alglerin yanında düşük bakteri ve mantar varlığı da tespit

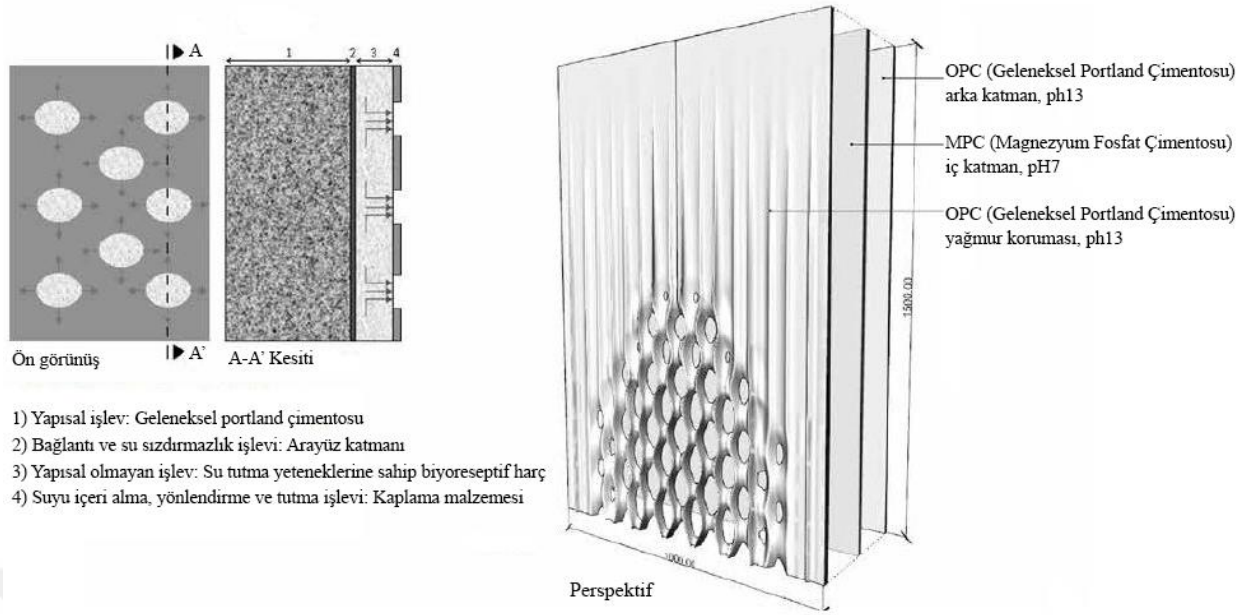


edilmiştir. Sonuç olarak, MPC bazlı malzemelerin biyolojik substrat olarak kullanılmasının mümkün olduğunu gözlemlense de, laboratuvar ve saha deneyleri arasındaki ilişki, yalnızca malzemenin içsel özelliklerini değil, aynı zamanda çevresel koşullarını dikkate alacak daha büyük bir deneysel program gerektirmektedir (Manso, Calvo, Aguado ve Belie, 2016).



Şekil 3.6 Biyokonak MPC (Magnezyum Fosfat Çimentosu) denemeleri (Manso, Calvo, Aguado ve Belie, 2016)

Manso'nun 2015 yılındaki doktora tezine ve önceki çalışmalarına dayanarak 2016 yılında Barlett Mimarlık Okulu'nda bir biyokonak panel uygulaması yapılmıştır. Panel 4 katmandan oluşmaktadır. Birinci katman, OPC (Geleneksel Portland Çimentosu) ile üretilmiş taşıyıcı nitelikte beton paneldir. İkinci katman, birinci katmanı sudan koruma özelliğine sahip bir yalıtım malzemesidir. Üçüncü katman, üzerinde canlıların kolonizasyonuna izin veren biyokonaklamaya sahip ve su tutma özelliği olan bir MPC (Magnezyum Fosfat Çimentosu) malzemedir. Dördüncü katman ise, suyu biyokonak katmana yönlendiren ve orada toplanmasını sağlayan ikinci OPC (Geleneksel Portland Çimentosu) paneldir (Şekil 3.6) (Manso, Calvo, Aguado ve Belie, 2016).



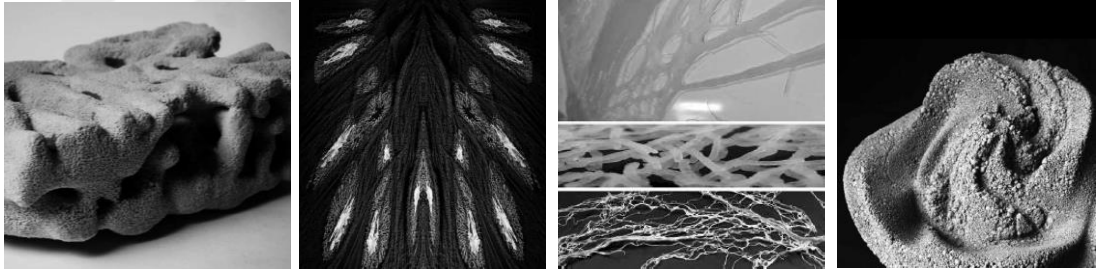
Şekil 3.7 Suyu yavaşlatmak ve kriptogamik büyüme için tutunma yüzeyleri oluşturmak için tasarlanan biyokonak cephe paneli çizimleri (Cruz ve Beckett, 2016)



Şekil 3.8 Biyokonak cephe paneli uygulaması (Cruz ve Beckett, 2016)

Mimaride biyokonaklama üzerine çalışan mimarlar olan Cruz ve Beckett, biyokonak strüktürlerin canlı organizmalar için bir iskele olma fikrini geliştirmektedir. Canlı hücrelerden mimariyi büyütmek ilgi çekici bir önerme olmasına karşın hücrelerin veya dokuların farklı geometrilerde nasıl büyütülebileceği sorununu gündeme getirirler. Buna bir çözüm olarak, genel geometrinin iskele geometrisi tarafından şekillendirileceği, hücrelerin içinde büyüyebileceği ve çoğalabileceği, gözenekli ve boşluklu yapıda olabilecek bir iskele fikrini önermektedirler. Bu durumda, biyomalzemeden yapılan yapı iskelesi, hücre bağlanması ve ardından doku gelişimi için mekanik destek sağlayan yapısal bir işleve sahiptir (Şekil 3.7), (Şekil 3.8) (Cruz ve Beckett, 2016).

Biyoiskeleler biyolojik olarak parçalanabilir veya sabit (bozunamaz) olabilirler. Biyobozunur olduklarında geçici iskeleler veya çok işlevli iskeleler olarak çalışabilirler. Biyoiskeleler, yaşam süresi boyunca yapının bir parçası olarak kalan, büyümeyi sağlayan faktörler için bir dağıtım sistemi görevi gören daha kalıcı bir sistem olabilir (Cruz ve Beckett, 2016).



Şekil 3.9 Biyokonak malzeme prototipleri 1. 2. 3. ve 4. proje (Cruz ve Beckett, 2016)

Birinci proje, yosun büyümesini desteklemek için biyokonak tuğlalara odaklanan bir projedir. Karmaşık üç boyutlu geometriler, canlıların tuğla hacmi içinde mikrobiyal büyüme için mevcut olan genel yüzey alanını arttırmıştır.

İkinci proje, selüloz bazlı malzemelerin mimari cephe panelleri üzerinde miselyumun büyümesi için fiziksel ve besleyici bir mimari iskele olarak robotik basım yoluyla üretimini araştırmıştır.

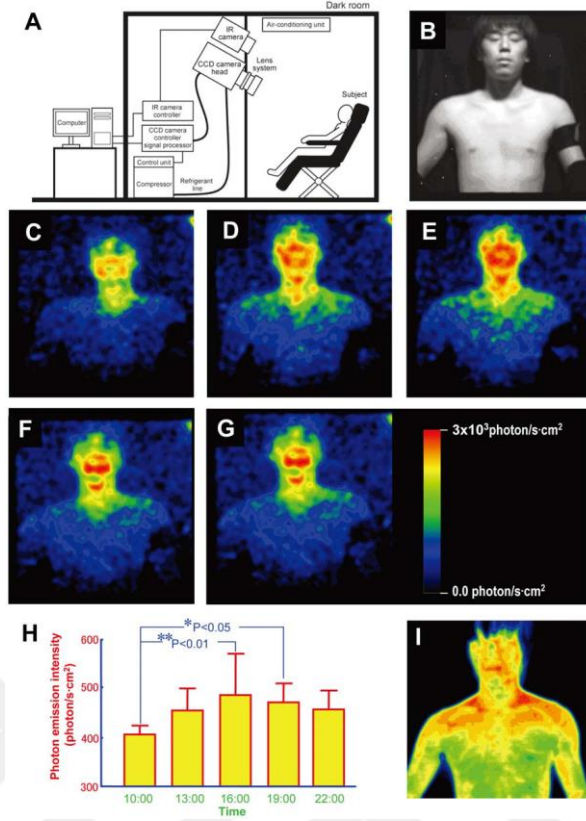
Üçüncü proje, *Chlorella Sorokiniana* türü algin büyümesini teşvik eden besin ve büyüme ortamını sağlayan mimari paneller üretmeyi amaçlamaktadır. Paneller, biyokütle üretimi ve atık su arıtımı için estetik ve işlevsel bir prototip örneğidir. BIQ binasında kullanılan biyoreaktör sistemleri, büyük miktarda su bulundurmaları nedeniyle ağırdır. Pompalama ve sirkülasyon açısından çok enerji harcar, çalıştırması ve bakımı pahalıdır. Önerilen hidrojel panellerde ise, su içinde yaşayan algler yerine karasal algler yetiştirilerek bir katı malzeme alternatifini önerilmektedir.

Dördüncü proje, fiziksel bir iskele görevi gören, üzerinde canlıların barındığı hafif agregalı beton cephe bileşenlerinin tasarımını araştırmaktadır. Yapıya 'takılabilir' cephe bileşenleri olarak tasarlanan proje, bir bina cephesi üzerine bileşenlerin mozaik şekilde döşenmesini önermiştir. Bu hafif bileşenler üzerinde canlılar yetiştirilerek binaya takılabilir, zamanla temizle ve değişim için kolayca çıkarılıp tekrar takılabilir (Şekil 3.10) (Cruz ve Beckett, 2016).

Biyokonaklama stratejisine ait çalışmalarda yosun (bitki alt türü), alg (protista), bakteri ve mantarların kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu canlıların kullanıldığı diğer çalışma örneklerine bölüm beşte detaylı olarak yer verilmiştir.

### 3.4 Biyoişıldama

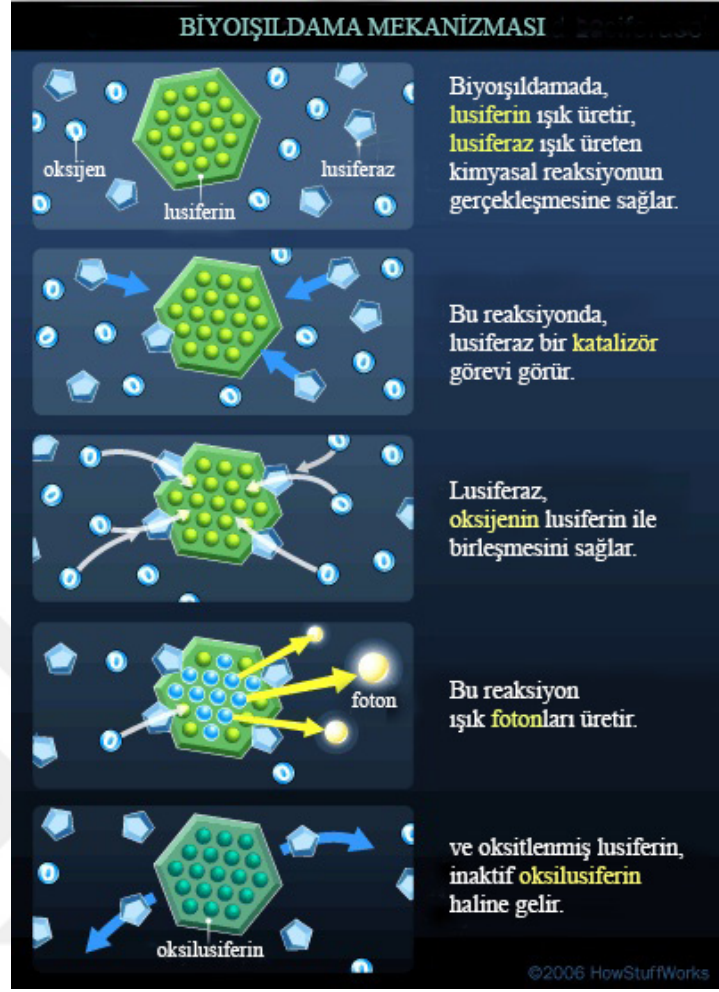
Biyoişıldama, bir organizma tarafından biyokimyasal bir reaksiyon sonucu görünür ışığın salınımıdır. Yüksek enerjili bir molekülün aniden düşük enerjili bir moleküle dönüşümü sırasında oluşan enerji farkı ışık fotonunun olarak salınması olarak gözlenmektedir (Manuel, 2013). Bakteriler, protistalar, mantarlar ve balıklar gibi geniş bir organizma grubu içerisinde biyoişıldama özelliğine sahip türler görülebilmektedir (Haddock, 2010). Bununla birlikte hemen hemen tüm canlı organizmalar kendiliğinden çok zayıf ışık yaymaktadır. Bu foton salınımı, biyoişıldamadan kaynaklanan farklı ışık salınımı türlerinden biridir. Bu ışık salınımının, biyoenerjik süreçler ile üretilen biyokimyasal reaksiyonların bir yan ürünü olduğu düşünülmektedir. İnsan vücudu da göz hassasiyetinin 1/1000'inden daha zayıf yoğunlukta ışık yaymaktadır (Şekil 3.10) (Kobayashi, Kikuchi ve Okamura, 2009).



Şekil 3.10 İnsan vücudunda foton salınımının bir gün içerisinde değişiminin hassas kameralar ile görüntülenmesi (Kobayasi ve ark. 2009)

Canlı organizmalar tarafından yapılan biyoişıldama birçok filozof ve bilim adamı tarafından antik çağlardan beri fark edilmiş ve araştırılmıştır. Aristoteles (MÖ 384-322) ilk olarak çürük ahşaptan ışık yayılımı tanımlamış ve bu canlı ışığı ateşten ayırt etmiştir (Desjardin, Oliveira ve Stevani, 2008). Biyoişıldamaya dair ilk modern çalışma ise 1885 yılında Fransız farmakolog Raphael Dubois tarafından yapılmıştır. Çalışmada biyoişıldamanın iki temel ögesi olan lusiferin proteinini ve lusiferaz enzimi belirlenmiştir (Lee, 2008).

Biyoişıldamada, lusiferin proteini lusiferaz enziminin katalizörlüğünde oksijen ile tepkimeye girer. Oksijen lusiferini oksitler, lusiferaz reaksiyonu hızlandırır ve ATP yeni bir maddeye dönüşüm için enerji sağlar. Fazla enerji ısı üretmeden ışık olarak serbest bırakılır (Şekil 3.11) (Gonzales Veron ve ark., 2013).

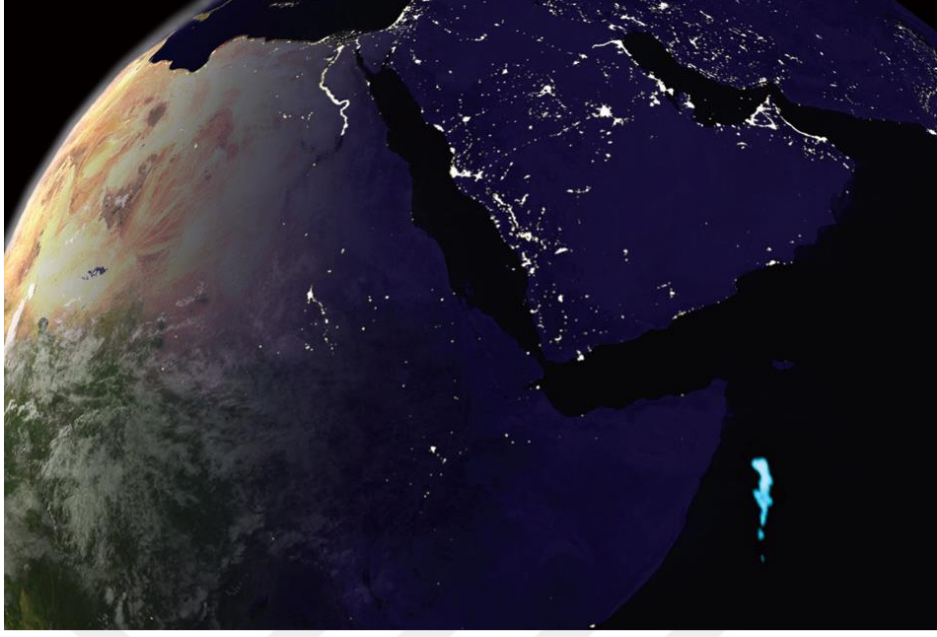


Şekil 3.11 Biyoışıldama mekanizmasının işleyişi (Wilson, 2021)

#### 3.4.1 Biyoışıldayan Bakteriler

Biyoışıldayan bakteriler yoğunlukla ılık iklimlerdeki okyanuslarda bulunmaktadır. Sahilde bulunan hemen hemen her taş veya doku parçası üzerinde ve bir süre pişirilmeden bırakılmış deniz ürünlerinden kültürlenebilirler. Biyoışıldayan bakteriler yeterince yüksek yoğunluğa ulaşana kadar ışık yaymazlar ancak yeterli yoğunluğa ulaştıktan sonra oksijen varlığında sürekli parlarlar. Biyoışıldayan bakteriler, okyanuslarda gerçekleşen “Milky Seas” adı verilen, büyüklüğü 300 km uzunluğa kadar ulaşabilen ve deniz suyunun parlak mavi renkte parladığı doğa olayına sebep olmaktadır (Şekil 3.12) (Haddock, 2010).



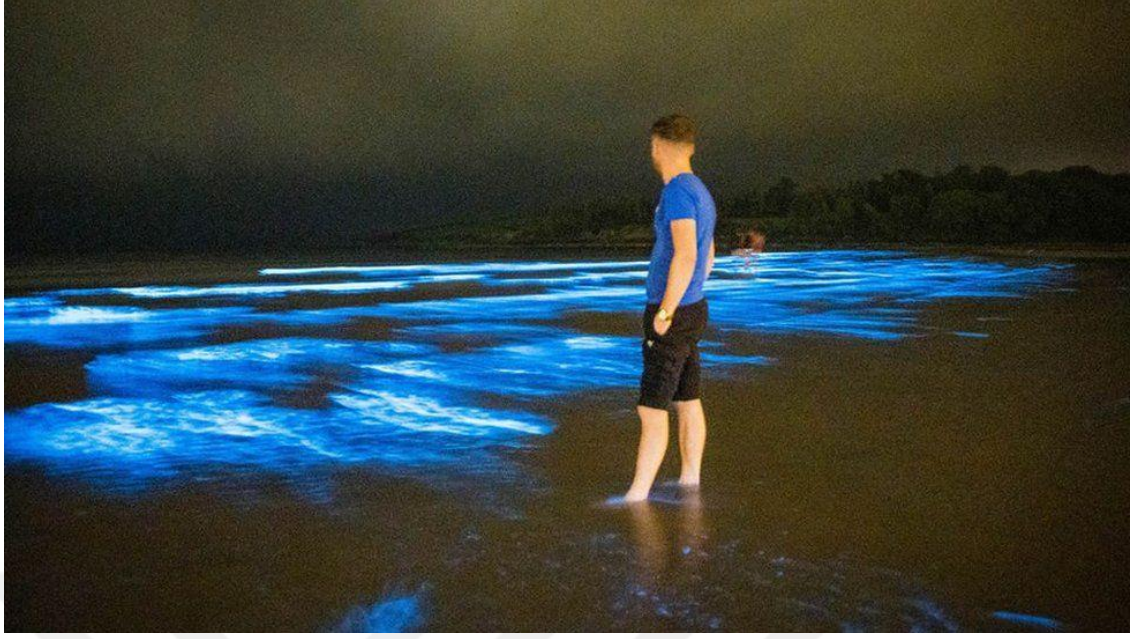


Şekil 3.12 Uzaydan kaydedilen bakteriler tarafından gerçekleştirilen bir biyoışıldama görüntüsü – (sağ alt köşe) (Haddock, 2010).

### 3.4.2 Biyoışıldayan Algler

Tek hücreli organizmalar olan dinoflagellatlar, ateş böceklerinden sonra en sık karşılaşılan biyoışıldama organizmadır. En az 18 ışıklı cins dinoflagellat vardır. Dinoflagetlar, fototrofik doğaları nedeniyle, yoğunlukla su yüzeyinde yaşarlar (Gonzales ve ark., 2013). Porto Riko ve Jamaika'daki "Biyoışıldama Koyları" bu canlıların suyun hareketleri ile oksijenlenerek parlaması ile meydana gelmektedir (Haddock, 2010). Dinoflagellatlarda biyoışıldama sirkadiyen ritimden kaynaklanır. Karanlığın olduğu saatlerde en büyük yoğunluğa ulaşır (Gonzales Veron ve ark., 2013).

Bakteriler dinoflagelatlarla nispeten hücre başına daha zayıf bir ışık yayarlar ancak ışık üretimleri sürekli. Uygun koşullar altında günler süren büyük ışık oluşumlarına sebep olabilirler. Bu ışık yayma şekilleri ile ışıldama tipleri dinoflagellatların ışıldamasından görsel olarak ayırt edilebilir (Şekil 3.13).

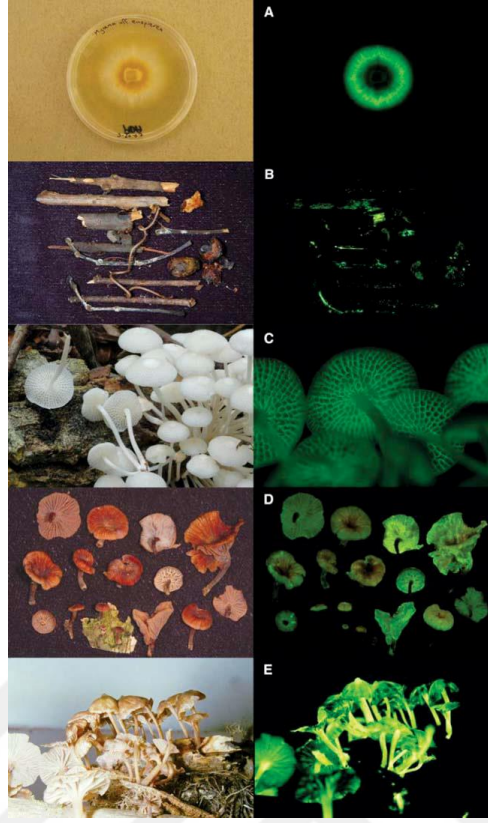


Şekil 3.13 Biyoışıldayan planktonların denizi aydınlatması (BBC, 2020)

### **3.4.3 Biyoışıldayan Mantarlar**

Doğada tanımlanmış 64 biyoışıldayan mantar türü bulunmaktadır. En bilinen mantar türlerinden biri *Mycena* cinsindeki çürük ayrıştırıcılarıdır. Mantarların ışık yaymaları yaşam döngüleri ve biçimleri ekolojik rollerine göre değişkenlik göstermektedir. Birçok türde miselyum ışık yayarken bazı türlerde topuzlar (bazidyum) ışık yaymaktadır. İkisinin birlikte ışık yaydığı türler de bulunmaktadır. Mantarların biyoışıldayan mekanizmalarına dair çok sayıda çalışma yapılmıştır ancak mantarın ışık salınımında yer alan biyokimyayı anlamada sınırlı ilerleme kaydedilmiştir (Desjardin, Oliveira ve Stevani, 2008).





Şekil 3.14 Biyoışıldayan mantarlar (Desjardin, Oliveira ve Stevani, 2008)

Yapılan bir araştırmada orman içindeki bitkisel atıklara biyoışıldayan mantarların varlığında daha çok eklem Bacaklının çekildiği gözlenmiştir (Şekil 3.14). Buna ek olarak biyoışıldayan mantarların rüzgar esintisinin ulaşmadığı yoğun ormanlık bölgelerde mantar sporlarının dağılabilmesi için böceklerin dikkatini çektiği tespit edilmiştir. Ayrıca gece mantar yiyen canlıları ve parazitleri uzaklaştırmak için de bir uyarı sinyali olarak hizmet edebileceği öne sürülmüştür (Desjardin, Oliveira ve Stevani, 2008).

#### 3.4.4 Biyoışıldayan Deniz Organizmaları

Biyoışıldayan özelliği 42 balık ailesine ek olarak bir köpekbalığı ailesinde bulunmaktadır. Solucan türleri, yumuşakçalar, kalamar, kabuklular, derisi dikenliler içinde de biyoışıldayan özelliğe sahip canlılar bulunmaktadır. Bu canlılarda bakteriyel simbiyotik yaşam sayesinde biyoışıldama görülebilir. Işık yayma yeteneği içsel ışıldama yeteneği ile de gerçekleşebilir (Şekil 3.15) (Haddock, 2010).



Şekil 3.15 Biyoışıldayan deniz organizmaları (Haddock, 2010)

Günümüzde en yaygın ışık kaynakları enerjilerini fosil yakıtların yakılmasından elde etmektedir. Bu hem yenilenemeyen kaynakların tükenmesine hem de iklim değişikliğine sebep olan etmenlerden biridir. 2010 yılındaki raporlara göre küresel elektrik üretiminin %67,6'sı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Geri kalan enerjinin sadece %3'ü yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiştir (Gonzales Veron ve ark.,2013). Buna bir çözüm arayışı içinde mimari alanlarda kullanılan aydınlatma elemanlarında biyoışıldayan canlılardan yararlanmanın imkanları araştırılmaktadır. Işıldayan canlıların biyolojik süreçlerinin bir ürünü olan ışık yayılımını mimaride kullanmak çevreye duyarlı ve sürdürülebilir mimari üretim yöntemi olacaktır.

Biyolojide bir organizmanın yaydığı ışık miktarı fotonlarla ölçülür ve herhangi bir ışık kaynağı tarafından yayılan foton miktarı üretilen enerji miktarıyla doğru

orantılıdır. Mimari için ise aydınlatmalarda kullanılan ve uluslararası ölçüm sistemlerinde bir kaynaktan çıkan ışık akısının birime lümen (lm) denilmektedir. Belirli bir alanda ışık akısı hesaplanırken lümen, aydınlatma kaynağının aydınlatmasını temsil eden lüks adı verilen bir birime dönüştürülür. Çoğu aydınlatma standardı planlanan faaliyete bağlı olarak lüks veya lümeni kullanır. Ölçüm standartlarındaki bu farklılıklar nedeniyle, biyolojik canlılardan ışık çıkışını yorumlamak için foton akışını ışık çıkışı ölçümlerine çevirmemiz gerekecektir (Gonzales Veron ve ark.,2013).

Algler biyoışıldama için potansiyel olarak iyi bir kaynaktır. Biyoışıldayan alglerin foto-biyoreaktörler aracılığıyla hem kentsel hem de mimari alanlarda kullanılması performans ölçümleri yapılarak geliştirilmesi üzerinde çalışılan bir alandır. Alglerden elde edilen ışık noktasal aydınlatmaya gerek duyulmayan yerlerde kullanılabilir. Elde edilen ışık için en iyi kullanım alanının kamusal aydınlatma elemanları olabileceği düşünülmektedir. İç mekanlarda dekoratif ya da işlevsel olarak kullanılabilir. Genel aydınlatma armatürleri şeklinde, loş mekanlarda, cephelerde, yollarda zemin aydınlatması olarak ve parklarda kullanılabilir (Gonzales Veron ve ark.,2013).

Bu alanlarda algler biyoışıldama ile gece saatlerinde doğal olarak ışık yayarlar ve bu yolla yapay ışık kaynaklarına göre enerji tasarrufu sağlarlar. Bu organizmaların doğal ortamlarına uygun koşullarda kullanımı onların yaşam döngüsünde yaşamasını sağlar ve bunun da bakım ve performans maliyetlerini azaltmaya yardımcı olacağı tahmin edilmektedir. Daha ileri çalışmalarda aydınlatma işlevinin yanında su arıtma, gıda üretimi ve biyoyakıt gibi işlevlerin bir arada elde edilmesi de amaçlanmaktadır (Gonzales Veron ve ark.,2013).

Canlı organizmalar ile çalışmanın zayıf noktaları da vardır. Bu mimari sistemlerin zamanla oluşturabileceği bakım maliyetleri bunlardan biridir. Habitatlarındaki küçük değişiklikler ile de canlıları etkileyebilir ve ışık yayılımını sekteye uğratabilir. Ayrıca canlılardan yararlanılan sistemlerde elde edilen ürünler mevsimsel ya da yerel olabilir (Gonzales Veron ve ark.,2013).

Biyoişıldayan bakterilerle bir aydınlatma elemanında yararlanmayı amaçlayan Philips Bio-light projesi, evde tipik olarak üretilen atıklarla çalışan bir aydınlatma sistemi oluşturmayı amaçlamaktadır (Şekil 3.16). Özel tasarlanmış cam bölmelerde bulunan bakterileri beslemek için, onun altında bulunan ve mutfaktaki sebze atıklarını çürüterek metan gazı oluşmasını sağlayan ünitelerden ince silikon borular ile metan gazı aktarılır. Biyoişıldayan bakteriler ile kurulan sistem, temel besinler sağlandığı sürece süresiz olarak çalıştırılabilir. Yayılan ışık henüz yapay ışığın yerini tamamen alacak kadar parlak olmasa da, insanların evsel enerji kaynaklarını düşünmesi açısından doğru yönde atılmış bir adımdır (Jonsson, 2011).



Şekil 3.16 Biyoişıldayan bakteriler ve metan gazı ile çalışan Philips Biolight aydınlatma elemanı (Jonsson, 2011)

Kazakistan Astana'da EXPO 2017'nin açılışı için ecoLogicStudio tarafından kurulan bir prototip çalışma olan konut projesi, Bio.Tech HUT'ın içinde birbirine akıcı bir şekilde bağlı olan odalardan oluşan ve konut içindeki enerjileri üretmek üzere içinde siyanobakterilerin ve migroalglerin bulunduğu tüplerden oluşan bir sistemdir (Şekil 3.17). Konutun içindeki bölümlerden biri karanlık bir oda olan Bio.light Odası'dır ve konutun iklimlendirme sistemi tarafından çalkalandığında ve

oksijenlendiğinde biyoışıldayan bakterilerin yaydığı ışıkla aydınlatılmaktadır (Ecologicstudio, 2017).

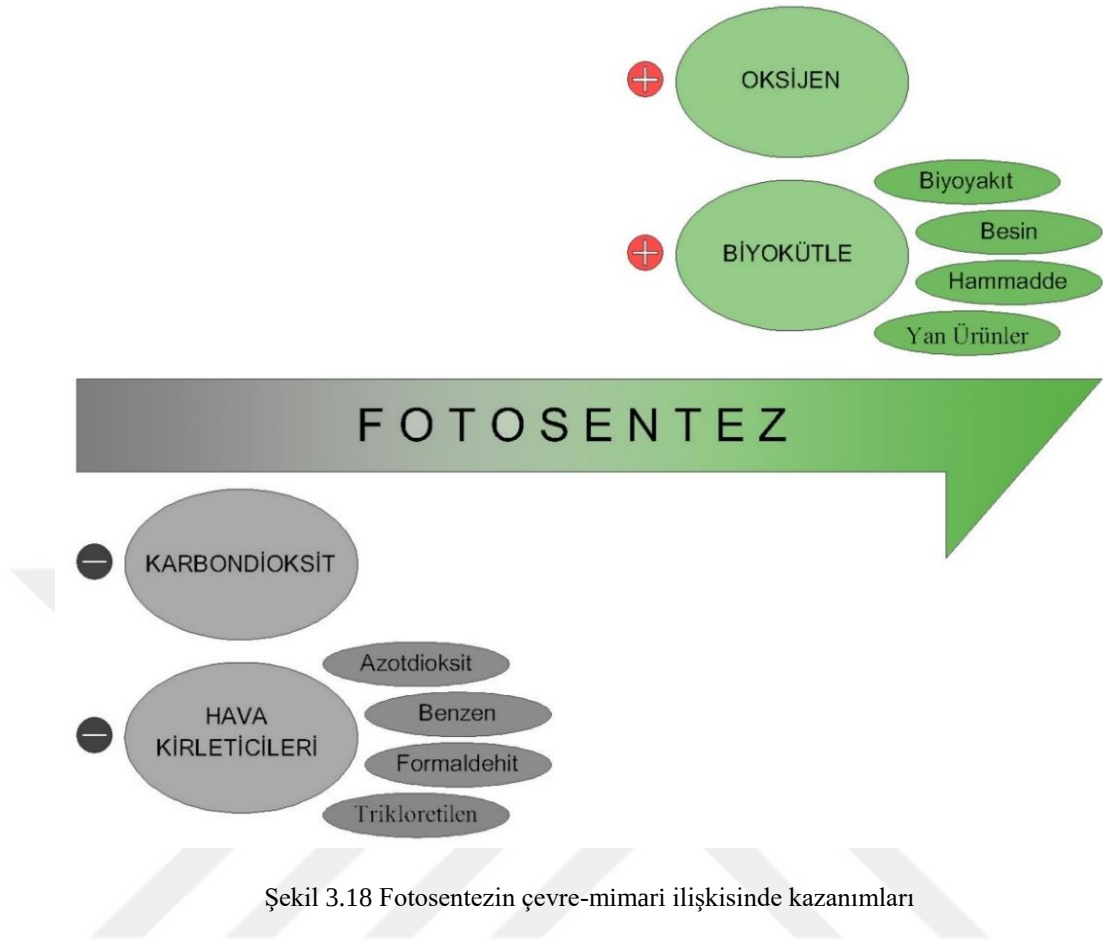


Şekil 3.17 Biyoışıldayan bakteriler ile ışık yayan Bio.light Odası (Ecologicstudio, 2017)

### 3.5 Fotosentez

Fotosentez stratejisi, mimari uygulama sahası içinde kapsadığı çalışmaları ifade etmek üzere ilk kez bu tez içerisinde tanımlanmıştır. Fotosentez yapan canlı organizmaların, fotosentez mekanizması sayesinde sağladığı kazanımlardan mimari yapım/kullanım süreçlerinde yararlanmayı tanımlayan bir biyoyararlanma stratejisi olarak sınıflandırmaya dahil edilmiştir.

Temel olarak fotosentez, canlılar tarafından ışık enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürülmesidir. Bu işlem ile organizmalar yaşamsal faaliyetleri için enerji sağlarlar. Birçok bitki, alg ve bakteri türü fotosentez yapma yeteneğine sahiptir. Atmosferdeki oksijenin üretilmesi ve korunması büyük ölçüde fotosentez mekanizması ile gerçekleşir. Kazanılan enerji dünyadaki yaşam döngüsü için gereklidir (Vikipedi, 2023b).



Şekil 3.18 Fotosentezin çevre-mimari ilişkisinde kazanımları

Fotosentezin bilinen en temel özelliği havadaki karbondioksiti emerek oksijen ve biyokütle üretmesidir. Fotosentetik canlıların çevremizde daha çok var olması ile atmosferdeki karbondioksit emilerek günümüzde üst sınırlara ulaşmış sera etkisinin azaltılması sağlanabilir (Şekil 3.18). NASA tarafından yapılan çalışmalarda bitkilerin fotosentez mekanizması ile karbondioksit emisyonunun yanı sıra benzen, formaldehit ve trikloretilen gibi birçok zararlı hava kirleticiyi temizleyebildiği gösterilmiştir (Wolverton, Johnson ve Bounds, 1989). Bitkilerin fotosentez sırasında azotdioksiti temizlediğini gösteren bir deneyde, azotdioksitin CO<sub>2</sub> veya O<sub>2</sub> ile eş zamanlı olarak yapraklarda bulunan su tarafından emilerek stoma yoluyla uzaklaştırıldığı gösterilmiştir (Şekil 3.19). Çalışmada kullanılan saksı bitkileri mekanik havalandırma veya filtreleme sistemleri gibi ek enerji gereksinimleri olmaksızın gece ve gündüz ölçülebilir miktarlarda NO<sub>2</sub>'yi temizlemiştir (Gubb, Blanus, Griffiths ve Pfrang, 2022).





Şekil 3.19 Fotosentez sırasında NO<sub>2</sub>'nin temizlediğini gösteren deney (Gubb, Blanus, Griffiths ve Pfrang, 2022)

Mimari tasarımlarda fotosentez yapabilen canlıların kullanılması hava kirleticiler elementlerin temizlenmesi ve oksijen miktarının artmasını sağlaması sebebiyle hava kalitesinin iyileştirilmesinde ve iklim sorunlarının çözümünde etkili bir katkı sağlayabilir. Fotosentez yapabilen canlılardan yararlanılan mimari çalışmalarda bir diğer kazanım süreç sonucunda üretilen biyokütledir. Biyokütle dediğimiz organik ürün mimaride yapısal eleman için hammadde, binanın ısıtma sistemi için yakıt, farklı ürünler ve hatta mikroalg sistemlerinde besleyici bir gıda maddesi olarak kullanılabilir. Bina yaşam döngüsüne dahil edilmiş fotosentetik canlılar yaşam sürecinde yapıda enerji verimliliği sağlayacaktır. Fotosentez yapabilen canlıların kullanılmasına ait mimari çalışmalardan bölüm ikide bitkiler, algler ve bakterilere ait bölümlerde ve bölüm beşte detaylı olarak bahsedilmiştir.

## BÖLÜM DÖRT

### MİMARİDE BİYOYARARLANMA KAZANIMLARI

Mimaride biyoyararlanma kazanımları, yapıların yaşam döngüsü boyunca atık ve kirliliği azaltmayı, hammadde, işgücü ve enerji kaynaklarının verimliliğini artırmayı ve yenilenebilir kaynaklarla doğal sistemleri canlandırmayı amaçlayan çevresel kazanımları tanımlamaktadır. Tez içerisinde incelenen canlı organizmalar ve onlardan yararlanma stratejileri incelendikten sonra elde edilen çevresel kazanımları tanımlayabilmek için süreç sonucunda elde edilen biyoyararlanma kazanımlarını tanımlamak gerekmektedir. Her çalışmanın çevresel faydaları daha iyi tanımlamak için bu grupta yapılmıştır. Süreçler sonucunda elde edilen çevresel kazanımlar incelendiğinde, biyoyararlanma kazanımları beş ana başlıkta sınıflandırılmıştır. Bunlar: Biyokütle kazanımı, enerji verimliliği, biyoçözünürlük, biyosağaltım ve kendini onarmadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Biyoyararlanma kazanımları

#### 4.1 Biyokütle Kazanımı

Biyoküteller bitkilerden, hayvanlardan ve mikroorganizmalardan kaynaklanan, fosilleşmemiş ve biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerdir. Güneş enerjisini kimyasal enerji olarak depolayan organik bir maddedir. Doğalgaz, petrol ve kömürden sonra biyokütle dünyanın en büyük dördüncü enerji kaynağıdır. Fosil yakıtların giderek azalması, fiyatlarının yükselmesi gibi olumsuz durumların yanında biyokütellerin sürdürülebilir yöntemler kullanılarak üretilmesi gibi olumlu sebepler ile de giderek daha fazla ilgi çekmektedir (Demirbaş, 2010). Biyokütle kazanımı, yapılarda kullanılan canlıların ürettiği biyokütlenin fazlasının sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılmasıdır. Bir başka yöntem, elde edilen biyokütlenin



doğrudan mimari alanda yapı malzemesi/yapı elemanı olarak kullanılmasıdır. Biyokütle kazanımının bu yönde kullanılması, bitki türlerinin büyümesi yoluyla elde edilen biyomalzemelerin yapılarda tuğla gibi yapı elemanı veya yapı kabuğu olarak kullanılmasını örneklemektedir.

#### **4.2 Enerji Verimliliği**

Enerji verimliliği, mimari formun, yapı malzemelerinin ve mühendislik sistemlerinin akıllıca birleşimidir (Shchepetkov, 2016). Yapılı çevre, Amerika Birleşik Devletleri'nde toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Bu, diğer tüm sektörlerden daha fazla enerji tüketim oranını göstermektedir (Jain, Taylor ve Peschiera, 2012). Bu tüketim oranı göz önünde bulundurulduğunda, mimaride enerji verimliliğini artırma çabaları, küresel enerji döngülerini önemli ölçüde etkileyecektir. Biyoyararlanma, yapının üretim, kullanım ve geri dönüşüm süreçlerinde kullanılan enerjiyi, geri dönüştürülemez enerji kaynaklarından elde etmek yerine canlı organizmaların yaşamsal yetenekleri aracılığıyla karşılamayı sağlar. Bu nedenle, yapı, var oluş döngüsünün tamamında veya bir kısmında dış enerji kaynaklarından bağımsız olarak kendi enerjisini kendi ikame edebilir ve böylece enerji tasarrufu sağlayabilir.

#### **4.3 Biyoçözünürlük**

Mikroorganizmaların karbon ve enerji üretmek için organik maddeleri parçalaması ve çürütmesi biyoçözünürlük olarak tanımlanmaktadır. Biyoçözünme mekanizması sonucunda oluşan karbondioksit ve su gibi ürünler doğal döngüye katılarak yeniden kullanılmaktadır. Mantar ve bakteriler, biyoçözünmeyi gerçekleştiren mikroorganizmalardır (Poznyak, Oria ve Poznyak, 2019). Biyoçözünürlük doğal döngü içerisinde yeni kaynak oluşumu ve atık yönetimi için kilit bir role sahiptir. Yapı sektöründe her gün, ekosisteme geri dönüşünün yüzyıllar süreceği tonlarca atık maddenin çevreye bırakılması ile mimaride biyoçözünürlük seçeneği giderek artan kritik bir ihtiyaca dönüşmektedir.

#### 4.4 Biyosağaltım

Kirlilik, toprak, su ve hava üzerinde zararlı etkileri olan zehirli ve kirlетici maddelerin çevredeki varlığıdır. İyileştirme ise, kirlenmiş alanların daha önceki sağlıklı haline dönmesini sağlamak üzerine yapılan uygulamalardır (Çelebi Toprak, Kara, Alan, Kara ve Toprak, 2014). Türkçe karşılığı bu çalışma ile biyosağaltım olarak yapılmış olan *bioremediation* ise, kirlenmiş ortamların bitkiler, mikroorganizmalar, enzimler veya genetiğı değiştirilmiş organizmalar kullanılarak temizlenmesidir. Bu süreçte bir bölgede doğal olarak bulunan organizmalar kullanılabilir veya tohumlama olarak bilinen bir yöntemle kirlenmiş bölgeye organizmalar eklenebilir (Coyne, 2023). Günümüzde çevre mühendisliğinin uygulama alanlarında canlı organizmaların biyosağaltım yeteneklerinden yararlanılmaktadır. Biyoyararlanma stratejilerinin uygulandığı mimari uygulamalarda da canlı organizmalardan yararlanmanın bir sonucu olarak, organizmalar sağaltım yeteneklerini kullanarak yapıların yaşam döngülerinin başından sonuna kadar çevresel kirliliğı azaltan metabolik faaliyetler gösterebilmektedir.

#### 4.5 Kendini Onarma

İnsan yapımı yapılar olası hasarlara karşı dayanıklılığın korunması prensibine göre inşa edilir. Hizmet ömrü boyunca yapısal bütünlüğü sağlamak için yapının kullanım süresine göre hesaplanmış büyük ve kalın yapı elemanları tasarlanır. Bu yapılar fazla miktarda taşıyıcı malzeme gerektirir ve bu da yalnızca yüksek maliyetlere değil fazla malzemenin üretiminden kaynaklanan çevresel sorunlara da sebep olabilir (Jonkers, 2017).

Kaynağını doğal sistemlerden alan ‘hasar yönetimi’ kavramı bugüne kadar yapılarda kullandığımız hasar önleme kavramına alternatif olarak sunulmaktadır. Yapıların kullanım sürecinde meydana gelen hasarların zamanla iyileştiğı sürece tolere edilebilir olduğu ilkesine dayanmaktadır. Kendini onarma (self-healing) kavramı, insan vücudunda ya da canlı bir organizmada yaralı bölgeye biyolojik ajanlar gönderilerek belli seviyedeki hasarların organizmanın kendi iç mekanizması

tarafından onarılması olarak tanımlanmaktadır (Gupta ve Kua 2016). Canlı organizmalardaki bu özellik, çevre koşullarına uyum sağlarken onların ince kesitli ve az malzeme kullanılmış yapılar olarak var olmasına imkân verir. Mimaride bu sistemin kullanılması ile de yapısal elemanların kesitleri incelebilir, kullanım ömürleri uzayabilir. Ekonomik olarak maliyetleri düşürmenin yanında çok daha çevreci bir yaklaşım sağlayacaktır (Jonkers, 2017).

Hasar yönetimine odaklanan kendini onarma mekanizmasının günümüzde mimaride çalışıldığı alan beton ve çimento esaslı ürünlerinde kullanılan biyomineralizasyon yöntemidir. Beton yapılarda hizmet ömrü boyunca yapıların dayanıklılığını ve bütünlüğünü etkileyen çatlamlar meydana gelmektedir. Beton yapıların onarımı ise emek ve maliyet bakımından yüksek olmaktadır. Bu durumda kendini onarma mekanizmasından bir çözüm olarak yararlanılabilir. Genel olarak, beton malzemede kullanılan kendini onarma yaklaşımında üç ana yöntem kullanılmaktadır.

#### **4.5.1 Otojen Kendini Onarma**

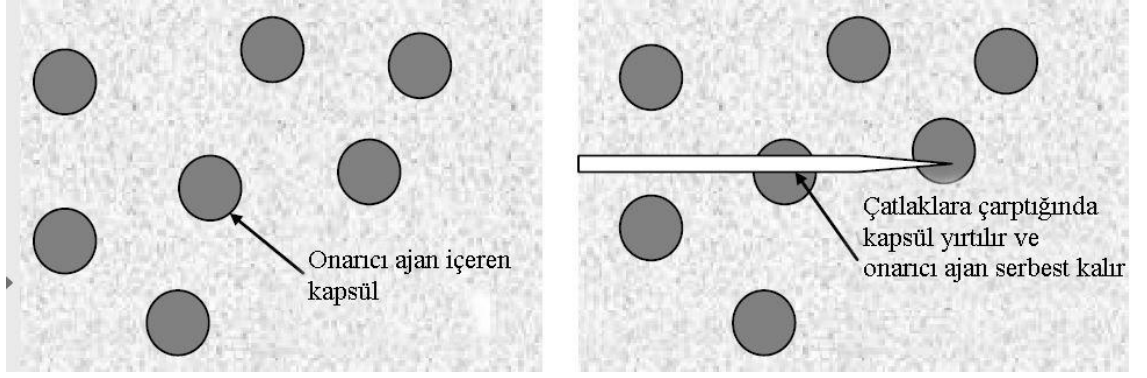
Otojen kendini onarma betonun bileşimine bağlıdır. Çimentolu ürünlerin içinde eklenen malzemelerin reaksiyona girmesi ile gerçekleşir.

#### **4.5.2 Vasküler (Damarsal) Kendini Onarma**

Vasküler kendini onarma yaklaşımı, insan vücudundaki dolaşım sistemini taklit eder. Çatlak oluşmuş/hasar görmüş bölgelere onarım ajanı önceden kurulmuş bir tüp ağı tarafından sağlanır.

#### **4.5.3 Kapsül Tabanlı Kendini Onarma**

Kapsül tabanlı kendini onarmada, onarım ajanı kapsüller tarafından korunarak beton malzemenin içerisinde saklanır. Çatlaklar sayesinde kapsülün yırtılması ile onarım ajanları serbest kalır ve kılcal damar hareketi ile çatlağın içine çekilir (Şekil 4.2) (Gupta ve Kua 2016).



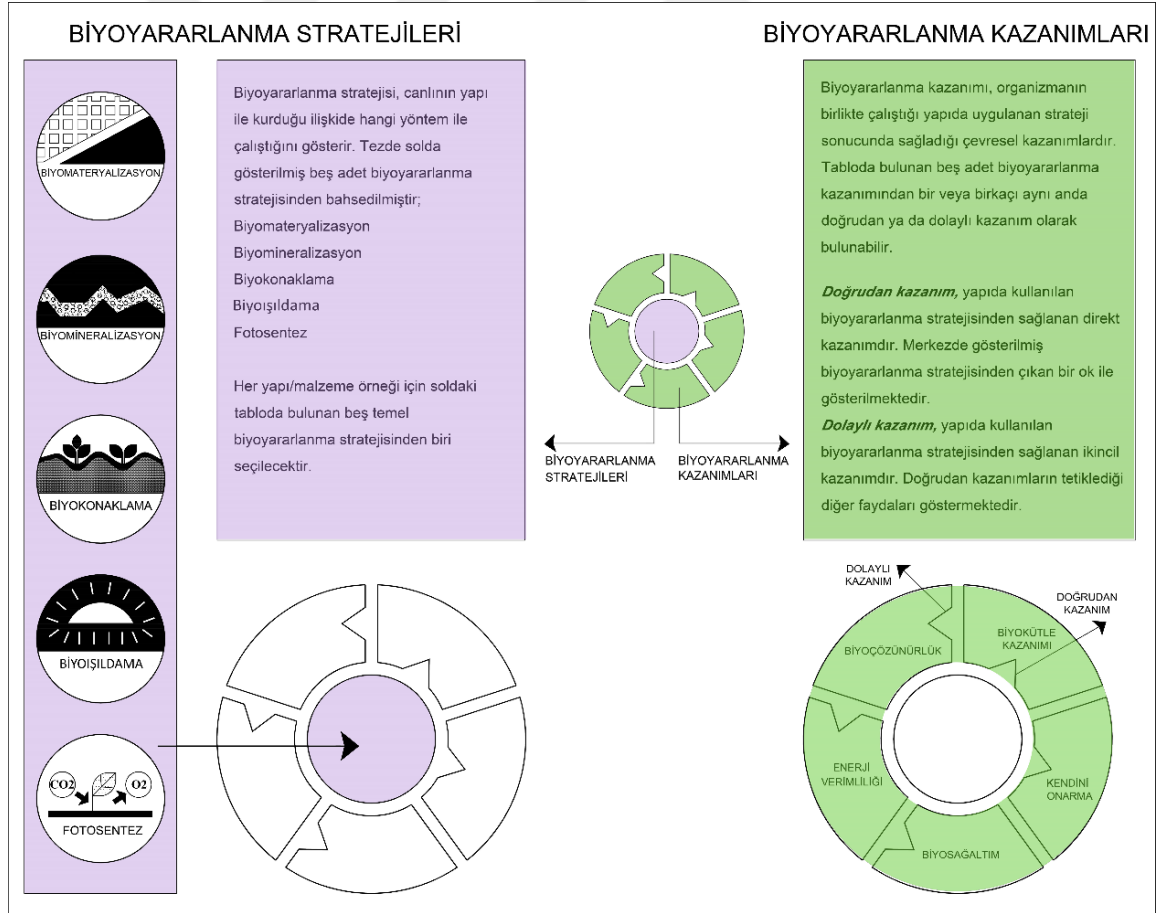
Şekil 4.2 Kapsül tabanlı kendi kendine iyileşme yaklaşımı şeması (Gupta ve Kua 2016)



## BÖLÜM BEŞ

### BİYOMALZEMELERİN KULLANILDIĞI YAPI VE MALZEMELERİN İNCELENMESİ

Bu bölümde biyomalzemelerin mimari alanda kullanılmasına ait çalışmalar incelenmiştir. Biyomalzemeler gelişim sürecinde bir alandır ve seçilen örnekler de malzeme prototipinden başlayarak yapı ölçeğine kadar genişlemektedir. İncelenen örnekler yapıda kullanılan organizma türüne göre sıralandırılmıştır. İncelenen yapılar sırasıyla mantarlar, bitkiler, hayvanlar, bakteriler ve alglere ait örneklerden oluşmaktadır. Her çalışmada kullanılan biyoyararlanma stratejisi ve onun sonucu olan biyoyararlanma kazanımları tablo içinde gösterilmiştir. Malzemenin yapıda kullanım yöntemi de tablo içerisinde ayrı bir bölümde görselleştirme yardımı ile ifade edilmiştir (Şekil 5.1).

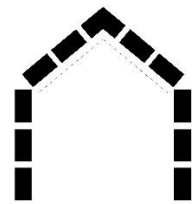
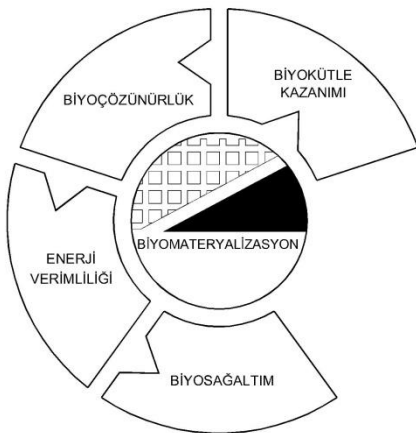


Şekil 5.1 Tablolarda kullanılan biyoyararlanma - biyokazanım grafiğini okuma yöntemi

### 5.1 Hy-Fi Kulesi (Hy-Fi Tower)

Hy-Fi Kulesi ile ilgili bilgiler Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1 Hy-Fi Kulesi ile ilgili bilgiler

| Hy-Fi Kulesi               |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2014<br>Yer: Hollanda<br>Mimari: Pascal Leboucq ve Known.bio                   |  |                                                                                                                |
|                            |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                |
| Organizma                  |  |                                                                                    |                                                                                                                |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                     | Yapıda Kullanımı                                                                   | <br>Yapı bileşeni (Tuğla) |
| BİYOMATERYALİZASYON        |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                |
| Biyoyararlanma Kazanımları |  | Malzeme Detayı                                                                     |                           |





Şekil 5.2 Hy-Fi Kulesi (Stevens, 2014)

2014 yılında David Benjamin and The Living tarafından tasarlanan Hy-Fi, MOMA PS1 Young Architects Program'ı kazanmıştır ve New York'taki MoMA PS1'in avlusunda sergilenmiştir. Pavyon dünyanın şu ana kadarki en büyük miselyum yapısı olarak kabul edilmektedir. 13 metre yüksekliğindeki yapının miselyum tuğlaları, ahşap ve çelikten oluşan bir destek strüktürünün üzerine inşa edilmiştir (Dessi-Olive, 2019).



Şekil 5.3 Hy-Fi Kulesi (Maloney, 2014)

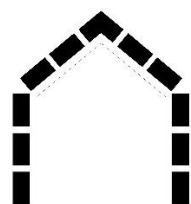
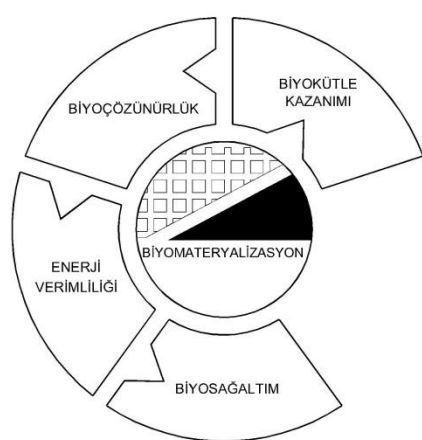


Tuğlalar tamamen organik maddelerden oluşmaktadır ve mısır saplarından oluşan tarımsal atıklara bağlanan lifli mantarlardan yapılmıştır. Prefabrik miselyum tuğlalar, plastik kaplarda el yapımı olarak üretilmiştir. Isıl işleme tabi tutularak formu sabitlenmiştir. Tuğlalar, miselyum için alternatif kullanım olanakları üretmek için kurulmuş olan Ecovative şirketi tarafından geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda mantar tuğlaların fiziksel özelliklerine göre, yapının rüzgara karşı dayanımının sağlayabilmesi için 3 bacaya ayrılan bir form türetilmiştir. Oluşturulan yapının rüzgar kuvvetini kendi başına taşıyabileceği belirtilse de, hareket miktarını sınırlamak için destek iskeleti yerinde bırakılmıştır (Maloney, 2014). Yapı söküldükten sonra tuğlalar kompostlaştırılarak yerel bahçelerde gübre olarak kullanılmıştır (Hebel, Wisniewska, ve Heisel, 2014).

## 5.2 MycoTree

MycoTree ile ilgili bilgiler Tablo 5.2 de verilmiştir.

Tablo 5.2 MycoTree ile ilgili bilgiler

| MycoTree                   |                                                                                                  |                  |                                                                                                                    |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | <p>Yıl: 2017</p> <p>Yer: Seul, Güney Kore</p> <p>Mimari: Dirk Hebel, Mühendis Philippe Block</p> |                  |                                 |
| Organizma                  |               |                  |                                                                                                                    |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                                  | Yapıda Kullanımı |  <p>Yapı bileşeni (Tuğla)</p> |
| BİYOMATERYALİZASYON        |                                                                                                  |                  |                                                                                                                    |
| Biyoyararlanma Kazanımları |               |                  | Malzeme Detayı                                                                                                     |
|                            |                                                                                                  |                  |                               |

MycoTree, kendi kendini destekleyen miselyum yapılar üretme fikri için geliştirilmiş bir yapı elemanı çalışmasıdır. 2017 yılında Seul Mimarlık ve Şehircilik Bienali'nde sergilenmiştir. Miselyum gibi zayıf bir taşıyıcı malzemenin mimaride kullanım potansiyelini göstermek için, malzemenin gücünden ziyade biçimi aracılığıyla yapısal kararlılık kazanımının önemine dikkat çekmeyi amaçlanmıştır (Frearson, 2017b).



Şekil 5.4 MycoTree (Frearson, 2017b)

MycoTree, bilgisayar programları ile taşıyıcılığı hesaplanmış, ağaç benzeri dallanma yapısına sahip bir geometridir. Yapı, yük taşıyan ayrı miselyum bileşenlerin bir araya getirilmesi şeklinde inşa edilmiştir. Malzeme mühendisliği ve yapı elemanların üretimi Endonezya'daki Mycotech şirketi ile işbirliği içinde yürütülmüştür. Substrat olarak şeker kamışı ve manyok kökü gibi bölgesel gıda endüstrisinden temin edilen talaş ve lifli atık ürünler kullanılmıştır. Miselyum için de Lingzi mantarı olarak bilinen *Ganoderma Lucidum* miselyum türü kullanılmıştır (Heisel ve diğer., 2017).



Şekil 5.5 Miselyum blokların hazırlanma aşamaları (Heisel ve diğer., 2017)



Şekil 5.6 Miselyum blokların hazırlanma aşamaları (Heisel ve diğer., 2017)

Başlangıçta besin karışımı ile miselyum, poşetler içinde birkaç gün içinde yoğun ve süngerimsi bir kütleye dönüşene kadar bekletilmiştir. Daha sonra bu süngerimsi yapı, yapıyı oluşturan her blok için özel olarak üretilmiş kalıplara doldurulmuş ve iki haftalık süreçte tamamen gelişmesi sağlanmıştır. Gelişme tamamlandığında organizmayı öldürmek ve büyüme sürecini durdurmak için bloklar kurutulmuştur (Frearson, 2017b; Heisel ve diğer., 2017).



Şekil 5.7 Blokların birbirine monte edilmesi (Frearson, 2017b)

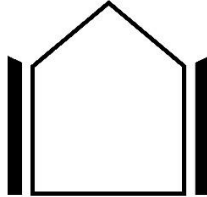
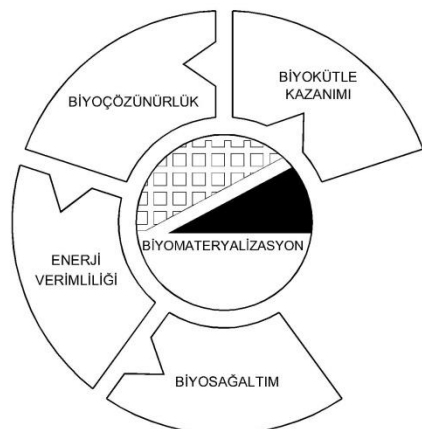
Son yapıda temiz bağlantılar ve bir elemandan diğerine yük aktarımları sağlamak için, her miselyum bloğun ucu bambu kompozit malzeme plakaları ile kaplanmıştır. Bu plakalar ayrıca miselyum karışımını kalıba sıkıştırmak için kullanılmış ve sonunda miselyuma bağlı bileşenlere çelik dübellere sabitlenmiştir. Bambu plaka ve çelik dübeller taşıyıcı bir özellik göstermemektedir. Bu sistem içinde tüm yükü taşıyan miselyum bloklardır (Frearson, 2017b; Heisel ve diğer., 2017).

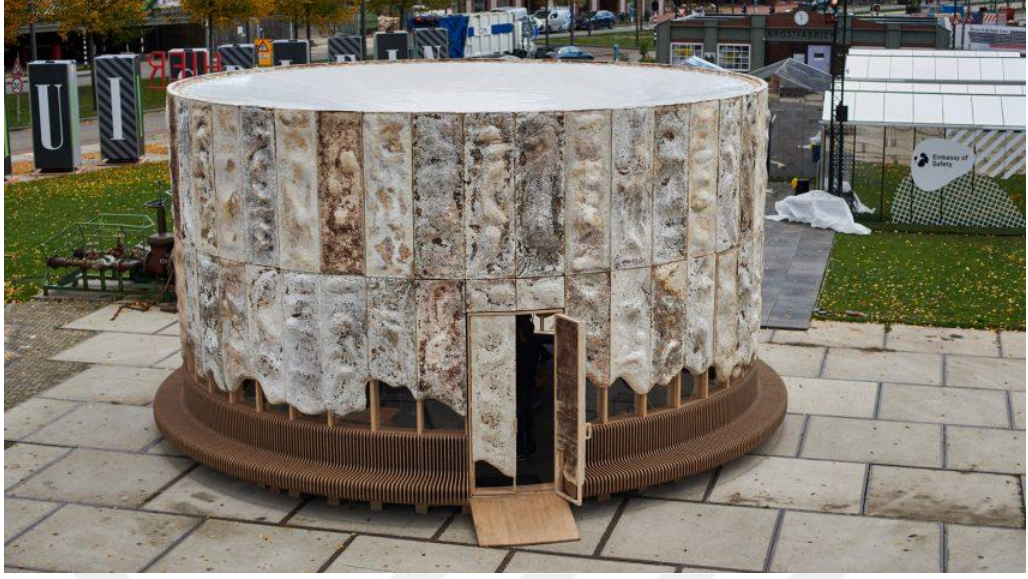


### 5.3 Büyüyen Pavyon (The Growing Pavilion)

Büyüyen Pavyon ile ilgili bilgiler Tablo 5.3 de verilmiştir.

Tablo 5.3 Büyüyen Pavyon ile ilgili bilgiler

| Büyüyen Pavyon             |                                                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                         |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2019<br>Yer: Hollanda<br>Mimari: Pascal Leboucq ve Known.bio                                                   |  |                                                                                                                         |
|                            | <div>Organizma</div> <div></div> |                                                                                    |                                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                                                     | Yapıda Kullanımı                                                                   | <br>Yapı elemanı<br>(Cephe paneli) |
| BİYOMATERYALİZASYON        |                                                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Kazanımları |                                  | Malzeme Detayı                                                                     |                                    |
|                            |                                                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                         |



Şekil 5.8 Büyüyen Pavyon (Pownall, 2019)

The Growing Pavillion, 2019 yılında Hollanda Tasarım Haftasında sergilenmiş mantar miselyumundan yetiştirilmiş cephe panelleri ile kaplanmış geçici bir etkinlik alanıdır. Yapının iskeleti tamamen ahşap elemanlardan inşa edilmiştir. Kullanılan tüm diğer yapı elemanları da biyo bazlı malzemelerden üretilmiştir (Pownall, 2019).



Şekil 5.9 Büyüyen Pavyon miselyum paneller (Pownall, 2019)



Kullanılan miselyum Reishi olarak bilinen Ganoderma mantarına aittir. Mantarlar Hollanda'daki tarım ve bahçecilik sektörü ile döngüsel bir bağlantı kurularak, tarımsal artık ürünlerden temin edilmiştir. Miselyum panellerin yetiştirilmesinde ahşap kalıplar kullanılmıştır. Bitki artıkları ile doldurulan panellerin içine miselyum tohumları eklenmiştir. Kalıplar minimum oksijen alacak şekilde kapatılmış ve karanlık bir odada dört ila beş gün süresince büyütülmüştür. Mantarların büyüme süreci, mantarlar gerçekten filizlenmeden önce durdurulmuştur. Miselyum ağları kalıpların içinde büyüüp tam bir yapışma sağladığında paneller kalıplardan çıkarılmış ve iki gün boyunca 80 derece fırınlarda pişirilmiştir (Berg ve Konings, 2019). Hazırlanan miselyum paneller önceden kurulumu tamamlanan ahşap iskeletin üzerine monte edilmiştir.



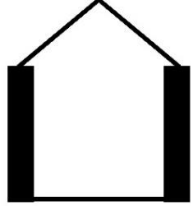
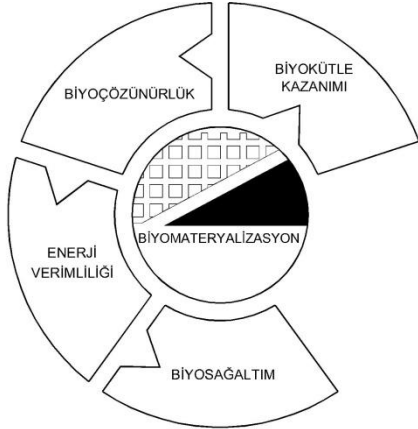
Şekil 5.10 Büyüyen Pavyon iç mekan (Pownall, 2019)

Tedarikçi Krown.bio tarafından yapılan hesaplamalarda, bir ton miselyum üretirken atmosferden iki ton CO<sub>2</sub> temizlendiğini göstermiştir. Bu nedenle miselyum üretiminin çevre sorunlarına çok olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Berg ve Konings, 2019).

## 5.4 Protomycokion

Protomycokion ile ilgili bilgiler Tablo 5.4 de verilmiştir.

Tablo 5.4 Protomycokion ile ilgili bilgiler

| Protomycokion              |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     |                                                                                                                           |                                                                                       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2021<br>Yer: İsveç<br>Mimari: Biodijital Matter                                                                                                                                                                                                         |  |                                                                                                                           |                                                                                       |
|                            | <div>Organizma</div> <div><div>Organizmalar</div><div><div>Makroorganizmalar</div><div>Mikroorganizmalar</div></div><div><div><div>Mantarlar</div><div>Bitkiler</div><div>Hayvanlar</div></div><div><div>Bakteriler</div><div>Algler</div></div></div></div> |                                                                                     |                                                                                                                           |                                                                                       |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                                                                                                                                                                                              | Yapıda Kullanımı                                                                    |  <div>Yapı elemanı<br/>(Kolon)</div> |                                                                                       |
| BİYOMATERYALİZASYON        |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     |                                                                                                                           |                                                                                       |
| Biyoyararlanma Kazanımları |                                                                                                                                                                           |                                                                                     | Malzeme Detayı                                                                                                            |  |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     |                                                                                                                           |                                                                                       |

Protomycokion, Biodijital Matter’ın 2020 yılında tasarlayarak bir prototip ürettiği mantar miselyumu ile geri dönüştürülmüş liflerden 3 boyutlu baskı teknolojisi ile üretilmiş yapısal kolon projesidir. Geri dönüştürülmüş kağıtlar, tarımlar atıklar, inşaat atıkları gibi lifli atık ürünler mantar miselyumunun bulunduğu bir solüsyon içinde karıştırılarak biyokompozit bir madde elde edilmiştir. Hesaplamalı tasarım ve 3 boyutlu baskı teknolojileri kullanılarak malzemeden karmaşık geometride bir 3 boyutlu sütun üretilmiştir. Canlı hamur, malzemeyi ekstrüde etmek için basınçlı hava ve dönen bir burgu kombinasyonuna dayanan Vormvrij Lutum v4 kullanılarak basılmıştır. Katmanlar 1,5 mm'lik bir yüksekliğe sahiptir. Miselyum kolonun içinde büyüyüp kolonu güçlendirmektedir. Ayrıca, miselyum yapı malzemesi su geçirmezlik ve ses emicilik özelliklerini kazandırmaktadır. Üretilen prototip şu an Venedik Mimarlık Bienali’nde sergilenmektedir. Green Project Award 2021’i kazanmıştır. 3D Pioneers Challenge 2021 finalistlerindendir. (Ndion, 2021; Green Product Award, 2021; Distributed Design, b.t.)

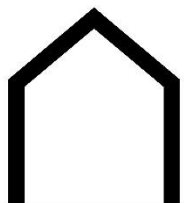
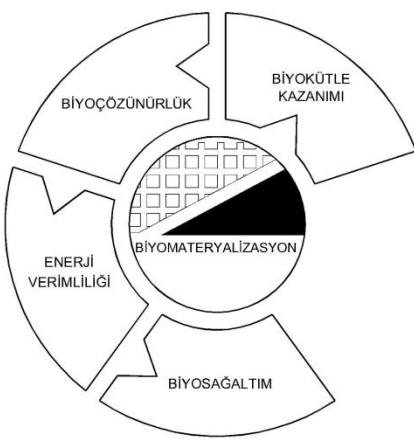


Şekil 5.11 Protomycokion (Distributed Design, b.t.)

## 5.5 Meghalaya Kök Köprüleri

Meghalaya Kök Köprüleri ile ilgili bilgiler Tablo 5.5 de verilmiştir.

Tablo 5.5 Meghalaya Kök Köprüleri ile ilgili bilgiler

| Meghalaya Kök Köprüleri          |                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                           |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                           | Yıl: -<br>Yer: Meghalaya, Hindistan<br>Mimari: -                                                            |  |                                                                                                           |
|                                  | <p><b>Organizma</b></p>  |                                                                                    |                                                                                                           |
| <b>Biyoyararlanma Stratejisi</b> |                                                                                                             | <b>Yapıda Kullanımı</b>                                                            | <br>Strüktür sistemi |
| <b>BİYOMATERİYALİZASYON</b>      |                                                                                                             |                                                                                    |                                                                                                           |
| Biyoyararlanma Kazanımları       |                          |                                                                                    | <b>Doku Detayı</b>                                                                                        |
|                                  |                        |                                                                                    |                                                                                                           |



Meghalaya Kök Köprüleri, bir kauçuk ağacı olan *Ficus elastica*'nın büyümesinin yönlendirilmesi ile özel bir ekipmana ihtiyaç duyulmadan üretilir. Bu ağaçlar tepelerin yamaçlarında gelişir ve güçlü köklenme sistemlerine sahiptir. Normalde her yöne büyüyebilecek olan ikincil köklerinin büyümesi, nehrin karşısına yerleştirilen bir a a  gövdesi üzerinden yönlendirilir. Yerleştirilen a a  gövdesi üzerinde ilerleyen ince kökler, yerel halkın yardımı ile toprağa tutunmaya teşvik edilir. Zamanla büyümeye devam eden ve yanına yeni ağaçların eklenmesiyle güçlendirilen bu köprüler yaklaşık 15 yıllık bir sürede tamamlanır. Bu a a  köprüler zamanla değişen ve hiçbir zaman tam olarak tamamlanmayan canlı yapıları oluştururlar. 30 m uzunluğuna kadar ulaşabilen bu köprülerin çoğu 500 ya ından büyüktür. Köprülerin varlığını tehdit eden en büyük tehlike yerel ekosistemin bozulması ve nehirlerin kirlenmesidir. Do adan beslenerek yaşama devam eden bu canlı köprüler sağlıklı beslenemedikleri durumda kurumaya ve bozulmaya mahkum olacaktır. (Myers, 2018)

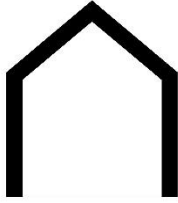
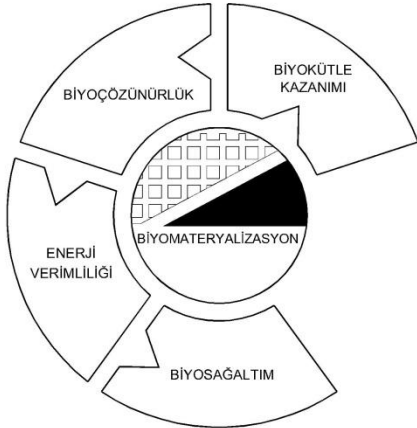


Şekil 5.12 Meghalaya Kök Köprüleri (Meyers, 2018)

## 5.6 Baubotanik Kulesi

Baubotanik Kulesi ile ilgili bilgiler Tablo 5.6 de verilmiştir.

Tablo 5.6 Baubotanik Kulesi ile ilgili bilgiler

| Baubotanik Kulesi          |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2009<br>Yer: Almaya<br>Mimari: Ferdinand Ludwig                                |  |                                                                                                           |
| Organizma                  |  |                                                                                     |                                                                                                           |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                     | Yapıda Kullanımı                                                                    | <br>Strüktür sistemi |
| BİYOMATERİYALİZASYON       |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                           |
| Biyoyararlanma Kazanımları |  |                                                                                     | Doku Detayı<br>      |

Almanya Stuttgart Üniversitesi'ndeki bir grup mimar tarafından Baubotanik olarak adlandırılan projenin temel fikri, ağaçların 'inşa zekası' (constructive intelligence) olarak adlandırdığı şeyden yararlanarak bitkileri yük taşıyan sistemler olarak mimaride kullanmasıdır. Bu çalışma araştırmacıları doğal büyümenin kontrol edilemezliği ile karşı karşıya bırakmaktadır. Canlı yapılar inşa etmek, geleneksel mimarinin istikrarlı, kalıcı ve kendi kendine yeterli olması fikrine karşı yeni bir fikir ortaya koymaktadır (Myers, 2018). Üç katlı kule 8 m<sup>2</sup> taban alanına ve 9 m yüksekliğe sahiptir. Altı farklı seviyede özel bitki kaplarındaki toprağa dikilen yaklaşık 400 adet salix alba türü bitkiden oluşmaktadır. Çelik borulu iskele ve çinko kaplı çelik ızgara ile desteklenmiş canlı ağaç yapısı ana taşıyıcıyı oluşturmaktadır.

İskelenin inşası ve ağaç dikiminin tamamlanmasından sonra geçen üç yıllık sürede, özellikle bitki kalınlığındaki büyümeler önemli ölçüde tahmin edilen aralıktaki seyretmiştir. Ancak ilerleyen yıllarda dolu fırtınaları, don, mantar enfeksiyonları ve su kalitesindeki sorunlar gibi planlanmayan faktörlerin ortaya çıkması ile büyümeyi durmuştur. Bunun üzerine teknik düzenlemeler yapılarak yeniden dikim gerçekleştirilmiş ve sorunun çoğu çözülmüştür. İlerleyen yıllarda canlı ağaç yapı yük taşıyacak sağlamlığa ulaştığında iskele kaldırılacaktır. Tasarımın işlevsel olarak aktif hala gelmesi için 5-10 yıl arası bir süre beklenmektedir (Ludwig, 2014).



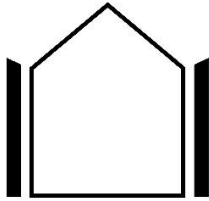
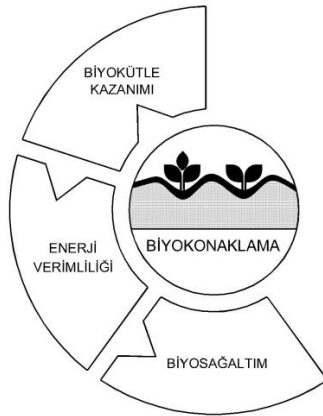
Şekil 5.13 Baubotanik Kulesi tamamlandıktan sonra-2009 (solda), ikinci büyüme döneminde-2012 (ortada) ve kendini destekleyen gelecekteki yapının modeli (Ludwig, 2014)



## 5.7 Biyokonak Beton Panel

Biyokonak Beton Panel ile ilgili bilgiler Tablo 5.7 de verilmiştir.

Tablo 5.7 Biyokonak Beton Panel ile ilgili bilgiler

| Biyokonak Beton Panel      |                                                                                                                              |                  |                                                                                                                      |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yapım yılı: 2021<br>Yapım yeri: Hollanda<br>Mimari: Kazi Fahriba Mustafa, Alejandro Prieto, Marc Ottele – Delft Üniversitesi |                  |                                    |
|                            |                                                                                                                              |                  |                                                                                                                      |
| Organizma                  |                                           |                  |                                                                                                                      |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                                                              | Yapıda Kullanımı | <br>Yapı elemanı (Cephe paneli) |
| BİYOKONAKLAMA              |                                                                                                                              |                  |                                                                                                                      |
| Biyoyararlanma Kazanımları |                                           |                  | Panel Detayı                                                                                                         |
|                            |                                         |                  |                                                                                                                      |

Geometrinin biyokonaklamada canlı büyümesine faydalarını araştıran çalışma aynı zamanda, biyokonak malzemenin sadece işlevsel yönünü değil aynı zamanda insanların biyokonaklama algısı üzerinde olumlu etkiye sahip olmasını sağlayacak estetik kalitesini de ele almak için bir girişimdir. Geometri, cephe panelleri üzerindeki yosunların sistematik büyümesini kolaylaştırmak için kullanılmıştır ve estetik olarak hoş ve fonksiyonel bir yüzey tabakası oluşturmuştur (Mustafa, Prieto ve Ottele, 2021).



Şekil 5.14 Yüzey geometrisinin biyoseptif büyümeye etkilerini gözlemlemek üzere hazırlanmış beton paneller (Mustafa, Prieto ve Ottele, 2021)

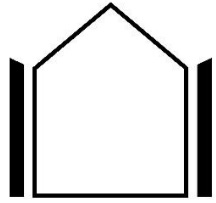
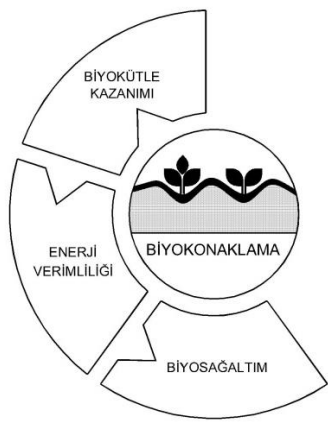
Suyun varlığı, taşlı yüzeylerde yosunların büyümesi ve gelişimi için hayati öneme sahiptir. Denemeler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü veya topografyanın, beton panellerin biyokonak özellikleri için istenen mikro iklimi oluşturmakta en önemli özellik olduğu bulunmuştur. Panellerin dikey uygulanması, derin mikro oluklar gibi geometrik özellikler, akış yolunu yönlendirmeye yardımcı olarak makro geometrilerle birlikte yüzeyde daha fazla su havzası alanları oluşturabilmektedir (Mustafa, Prieto ve Ottele, 2021).

Sonuçlar 4 aylık bir süre için nitel gözlemlere dayanmaktadır. Araştırma projesinin zaman kısıtlaması için, beton panellerdeki yosun büyümesini hızlandırmak için bir serada ideal koşullar sağlanmıştır. Biyokonaklama doğal bir süreçtir ve büyüme yıllar boyunca, öngörülemeden ve kendiliğinden bir şekilde gerçekleşir. Bu yüzden, panellerin doğal ortamda performansını kontrol etmek ve sağlamak için dış mekanda daha fazla test yapılması gerekmektedir (Mustafa, Prieto ve Ottele, 2021).

## 5.8 Biyokonak GRC Panel

Biyokonak GRC Panel ile ilgili bilgiler Tablo 5.8 de verilmiştir.

Tablo 5.8 Biyokonak GRC Panel ile ilgili bilgiler

| Biyokonak GRC Panel        |                                                                                                                                                            |                                                                                       |                                                                                                                         |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2020-2021<br>Yer: Londra, İngiltere<br>Mimari: Marcus Cruz, Richard Beckett, Sandra Manso, Chris Leung, Bill Watts, Brenda Parker, Alexandra Lacatusu |                                                                                       |                                       |
|                            |                                                                                                                                                            |                                                                                       |                                                                                                                         |
| Organizma                  |                                                                         |                                                                                       |                                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                                                                                            | Yapıda Kullanımı                                                                      | <br>Yapı elemanı<br>(Cephe paneli) |
| KONAKLAMA                  |                                                                                                                                                            |                                                                                       |                                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Kazanımları |                                                                         |                                                                                       | Panel Detayı                                                                                                            |
|                            |                                                                                                                                                            |  |                                                                                                                         |



Çalışma, Bartlett Mimarlık Okulu'nda biyokonak cephe panelleri geliştirmeye odaklanan bir araştırma projesidir. Çevre odaklı bir anlayışla geliştirilen paneller, doğrudan bina cephelerinde veya altyapı duvarlarında yosunların, likenlerin ve alglerin büyümesini teşvik etmeyi amaçlamaktadır (Cruz, 2017). Çimento karışımı panellerin yüzeyi, optimize edilmiş girintili çıkıntılı 3 boyutlu geometriler oluşturacak şekilde üretilmiştir. Yüzeydeki bu geometrilerin içerisine canlıların ekilmesinin ardından burada büyüebilecekleri bir ortamın sağlanması üzerine çalışılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Eylül 2020'de Güney Londra'daki St Anne's Katolik İlköğretim Okulu'na beton paneller yerleştirilmiştir (Şekil 5.15). Paneller; çimento, kum, kireç tozu, su, katkı maddeleri, sarı boya ve cam elyafından oluşan GRC (cam elyaf takviyeli beton) panellerdir. Panellerin karışımı, yüksek su tutuşu sağlama amacıyla fazla gözenekli bir yapı için özel olarak hazırlanmıştır. Ancak paneller karasal iklimde iyi performans gösterememiş ve yosunların büyümesi yeterli miktarda gerçekleşememiştir (Marsaglia, Brusa ve Paoletti, 2023).



Şekil 5.15 Biyokonak beton paneller (Marsaglia, Brusa ve Paoletti, 2023)

OPC'nin (Geleneksel Portland Çimentosu) kentsel ortamlardaki davranışı incelendiğinde, malzemenin başlangıçtaki yüksek alkaliliğe rağmen zamanla karbonlaşarak pH'ının düştüğü ve üzerinde belirli yosun türlerinin büyüebildiği gözlemlenmektedir. Böylece OPC'nin zamanla giderek daha biyokonak bir yapıya geldiği görülmektedir. İnşaat sektöründe ucuz ve kolay bulunabilen bir malzeme olan OPC'nin panellerde kullanımı ile karbon ayak izinin dengelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla çalışmanın Aralık 2020'de gerçekleştirilen bir sonraki kurulumda OPC ve mantar agregalarının karışımından yapılmış yeni GRC paneller kullanılmıştır. Amaç, likenlerin yanı sıra yosunların büyümesini teşvik etmek ve bitkilerin fotosentetik aktivitesi ile uzun vadeli karbon dengelemesini test etmektir. Önceki panellerdeki yavaş büyümeyle karşılaştırıldığında, Corkcrete örnekleri daha fazla biyo tepki vermiş ve tek bir kış döngüsünün ardından yosun ve likenlere ev sahipliği yapmaya başlamıştır (Marsaglia, Brusa ve Paoletti, 2023).



Şekil 5.16 Biyokonak panel üretim aşaması (University College London, b.t.)

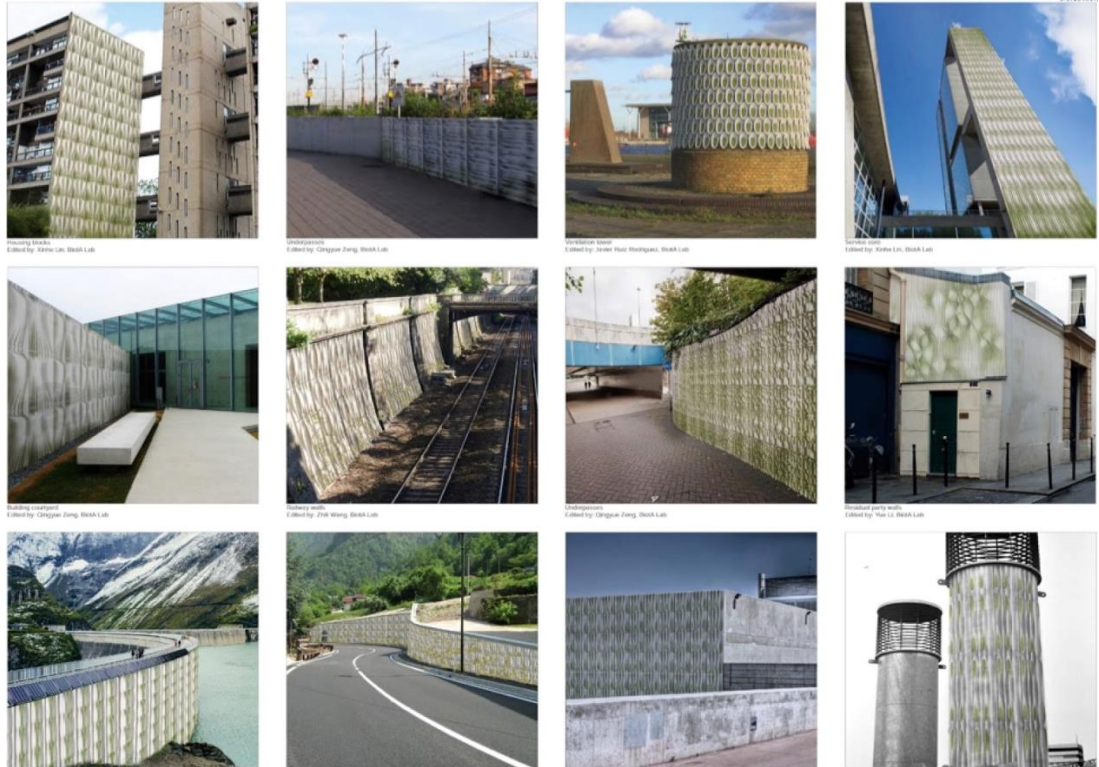
Gelecekte, özellikle yaz aylarında sıcaklığın ve radyasyonun yüksek, su miktarının ise az olduğu Akdeniz havzasında çölleşmenin artması beklenmektedir. Sıcak dönemlerde artan su ihtiyacı olan yeşil duvar ve çatı sistemlerine karşı poikilohidrik yapıları ile yosunlar, çevredeki su miktarına göre su kullanımlarını ayarlamakta, gerekli durumlarda kurumakta ve su miktarı arttığında rehidyasyonla yeniden iyileşmektedir. Bu yetenekleri sayesinde biyokonaklama yaklaşımı ile yosunların yapılarda kullanımı geniş çevresel potansiyeller barındırmaktadır (Marsaglia, Brusa ve Paoletti, 2023).





Şekil 5.17 Gözenekli betonda poikilohidrik büyüme (University College London, b.t.)

Biyokonak paneller büyük ölçekli istinat duvarları, altyapı projelerine ait geniş yapısal yüzeyler, kamusal alanlardaki kaldırımlar ve mobilyalar olmak üzere çeşitli kentsel elemanlarda uygulanma potansiyeline de sahiptir. Ayrıca, binaların boş cephelerini de bu sistem ile değerlendirmek çevreci olduğu kadar ve görsel açıdan da iyileştirme sunan bir çözüm olabilir (Cruz, 2017).



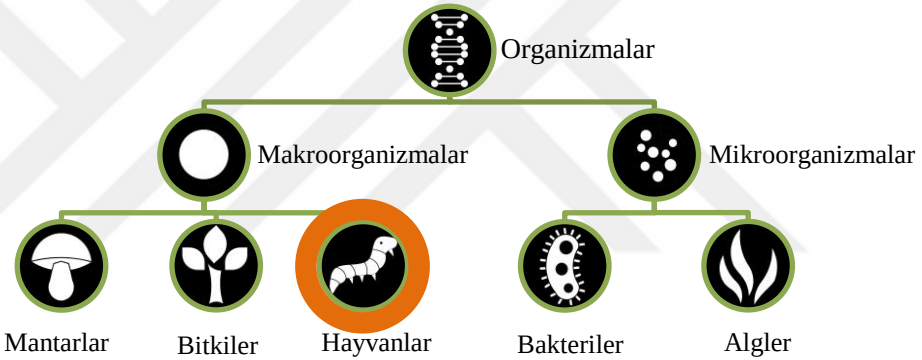
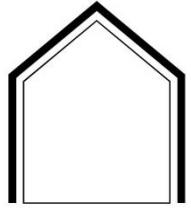
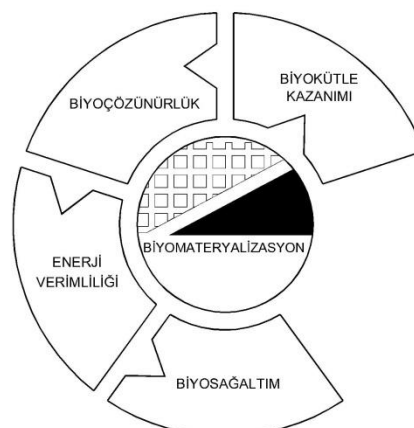
Şekil 5.18 Biyokonaklama uygulama potansiyelleri (Cruz, 2017)



## 5.9 İpek Pavyonu (Silk Pavilion)

İpek Pavyonu ile ilgili bilgiler Tablo 5.9 de verilmiştir.

Tablo 5.9 İpek Pavyonu ile ilgili bilgiler

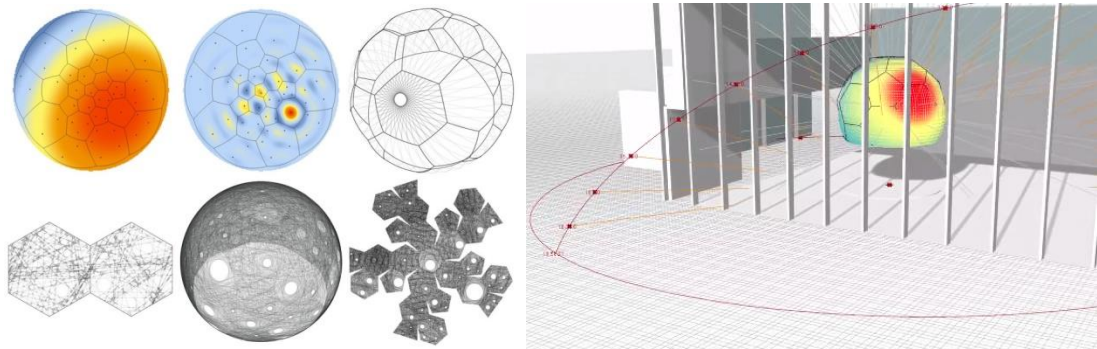
| İpek Pavyonu               |                                                                                     |                                                                                       |                                                                                                                     |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2013<br>Yer: ABD<br>Mimari: Neri Oxman - MIT Mediated Matter Grubu             |     |                                                                                                                     |
| Organizma                  |  |                                                                                       |                                                                                                                     |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                     | Yapıda Kullanımı                                                                      | <br>Yapı elemanı (Yapı kabuğu) |
| BİYOMATERİYALİZASYON       |                                                                                     |                                                                                       |                                                                                                                     |
| Biyoyararlanma Kazanımları |  |                                                                                       | Dokuma Detayı                                                                                                       |
|                            |                                                                                     |  |                                                                                                                     |

Neri Oxman'ın MIT Medya Laboratuvarı'nın Mediated Matter Grubu ile birlikte yürüttüğü İpek Pavyonu (Silk Pavilion) projesi ipek böceğinin ürettiği ipek ipliğini mimari ölçekte kullanmayı araştırmaktadır. Projede ipek böceğinin 3 boyutlu koza örme yeteneğinden esinlenilmiştir. Proje, CNC makineleri ve canlı ipek böceklerini bir araya getirerek dijital ve biyolojik üretimi bir bütün olarak ele almaktadır.

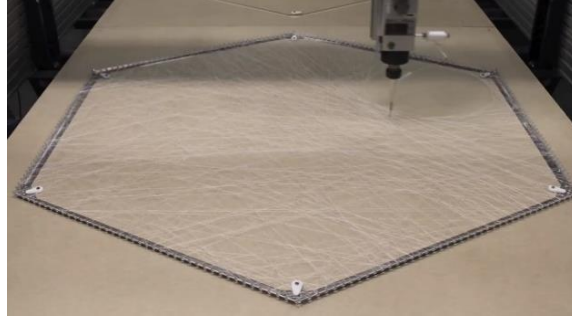


Şekil 5.19 İpek Pavyonu (MIT Media Lab, 2013)

Geometrinin tasarımı için ipek böceklerinin koza örme parametreleri incelenmiştir. Farklı yüzey tiplerindeki örme davranışları gözlemlenmiştir. Ortamın aldığı gün ışığı ve ısı miktarları hesaplanmıştır. Kesik ikosahedron parçalarının birleştirilmesi ile bir geometri elde edilmiştir.

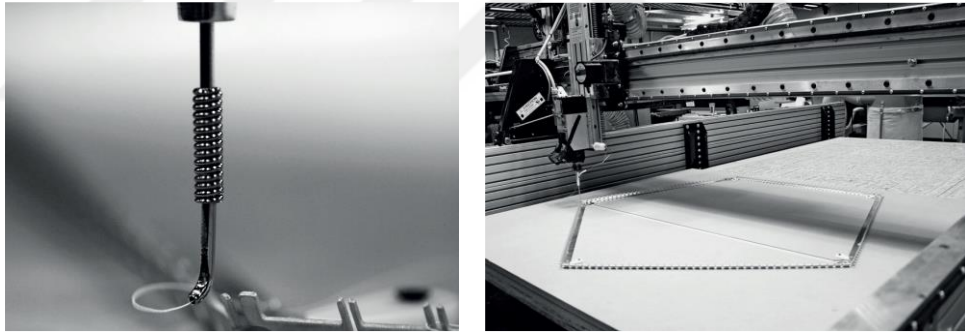


Şekil 5.20 İpek Pavyonu, geometrinin ve gün ışığı parametrelerinin hesaplanması (MIT Media Lab, 2013)



Şekil 5.21 Metal profillerin içine 3 boyutlu yazıcı ile ipek liflerinin örülmesi (MIT Media Lab, 2013)

Yapının üretiminde ilk aşamada 26 içi boş çokgen metal profil parçalar halinde üretilmiştir. Ardından 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak profillerin içine yapılan hesaplamalar doğrultusunda ipek böceği liflerinden bir dokuma örülmüştür. Üretilen çokgenler proje alanında birleştirilerek 3 boyutlu geometri oluşturulmuş ve bağlantı noktalarından tavana asılmıştır. Metal profiller, üretilen dokumadan yapı asıldıktan sonra ayrılmıştır (Oxman, Laucks, Kayser, Duroroyo ve Uribe, 2014).



Şekil 5.22 İpek Pavyonu, metal profillerden oluşan birincil yapı (Oxman ve ark. 2014)



Şekil 5.23 İpek Pavyonu, altıgenlerden profillerden oluşan birincil yapı (Scott, 2013)

3 boyutlu yazıcılar yardımı ile üretilen birincil strüktür katmanının tamamlanmasının ardından yapının üzerine koza örme dönemine erişmiş 6500 ipek böceği yapının alt kenarlarından bırakılmıştır. 10 günlük süre boyunca ipek böcekleri kendi kozalarını örmek yerine birincil strüktür üzerinde ilerleyerek ipek liflerini birincil yapıdaki ipliklerin üzerine örmeye başlamıştır. Yaklaşık 2 haftalık sürecin ardından ipek böcekleri ilk katmanın üzerini kendi ipek lifleri ile kaplayarak ikincil strüktürü oluşturmuştur. Oluşan ikincil yapının ortamın güneş ve ısı değerlerine göre farklı yoğunluklarda örüldüğü gözlemlenmiştir (Oxman ve ark. 2014).



Şekil 5.24 İpek Pavyonu, ipek böceklerinin toplanması (MIT Media Lab, 2013)

2 haftanın sonunda ipek böcekleri yapının üzerinden alınmıştır. Doğal başkalaşım süreçlerini sağlıklı bir şekilde tamamlayarak güveye dönüşen ipek böcekleri bu süreç sonunda yaklaşık 1,5 milyon yumurta üretmiştir. Bu yumurta adedi ile 250 yeni yapı inşa edilebileceği öngörülmektedir (Oxman, 2015).

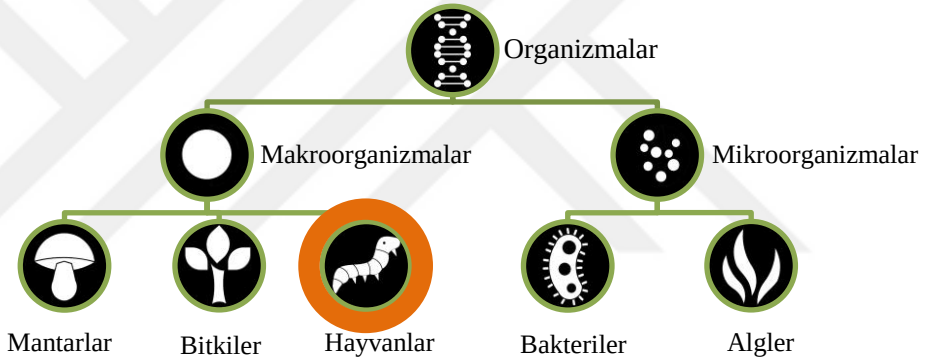
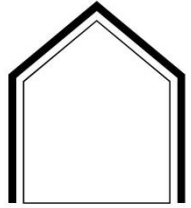
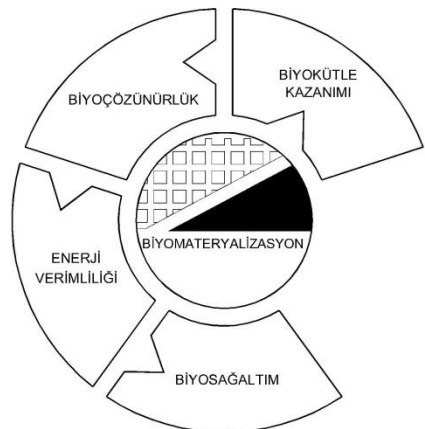


Şekil 5.25 İpek böceklerinin ağ örme aşaması (Oxman ve ark. 2014)

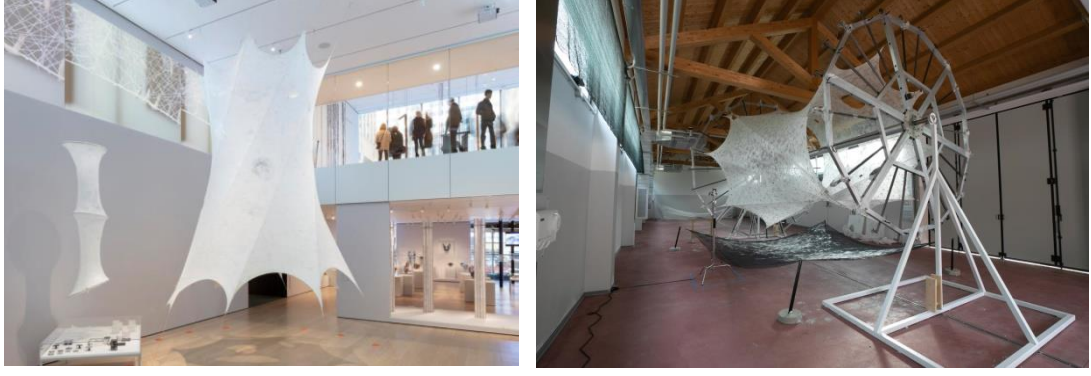
## 5.10 İpek Pavyonu II (Silk Pavilion II)

İpek Pavyonu II ile ilgili bilgiler Tablo 5.10 de verilmiştir.

Tablo 5.10 İpek Pavyonu II ile ilgili bilgiler

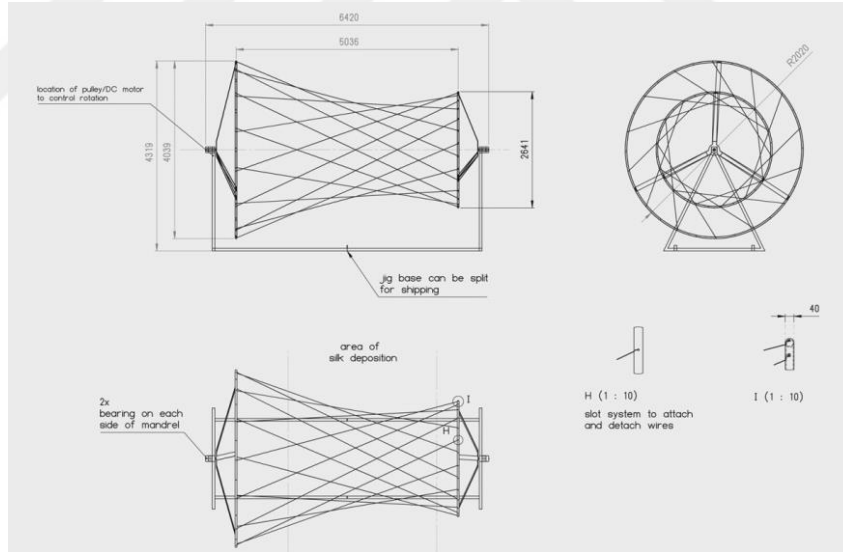
| İpek Pavyonu II            |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                        |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2020<br>Yer: ABD<br>Mimari: Neri Oxman - MIT Mediated Matter Grubu             |  |                                                                                                                        |
| Organizma                  |  |                                                                                    |                                                                                                                        |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                     | Yapıda Kullanımı                                                                   | <br>Yapı elemanı<br>(Yapı kabuğu) |
| BİYOMATERİYALİZASYON       |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                        |
| Biyoyararlanma Kazanımları |  |                                                                                    | Dokuma Detayı<br>                 |





Şekil 5.26 İpek Pavyonu II (MIT Media Lab, 2020)

Neri Oxman'ın 2020 yılında MIT Medya Laboratuvarı'nın Mediated Matter Grubu ile birlikte yürüttüğü İpek Pavyonu II (Silk Pavilion II), ipek böcekleri işbirliği ile yapı üretimi çalışmalarının ikinci projesidir. Proje kinetik üretim ile biyolojik üretimi birleştirerek inşa etme ve büyüme süreçlerinin aynı anda işlediği bir sistem tasarlamaktadır (MIT Media Lab, 2020).



Şekil 5.27 İpek Pavyonu II (Bader, 2020)

6 metre uzunluğunda ve 5 metre genişliğindeki kinetik strüktür hiperboloit formunda tasarlanmıştır. Yapı 3 ana katmandan oluşmaktadır. En içteki birinci katman, yapının iki ucunda dönme hareketini sağlayan mekanizma ve bu mekanizmaları birbirine bağlayan çelik kablolardan oluşmaktadır. İkinci katman, ipek böceklerinin üzerine yerleştirileceği iki boyutlu kumaş tabakasıdır. Üçüncü katman ise



17,532 adet ipek böceğinin ördüğü, liflerden oluşan üç boyutlu bir biyolojik örgü katmanıdır (MIT Media Lab, 2020).

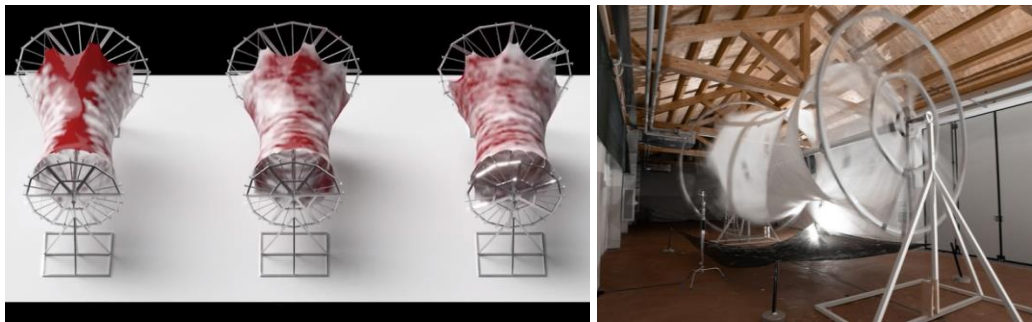


Şekil 5.28 kumaş katmanı ve çelik kablo bağlantı detayı (World Architecture, 2020)



Şekil 5.29 Kumaş katmanı ve ipek böceğinin üzerine ördüğü kendi ipek lifleri (World Architecture, 2020)

Dönme hareketinin ipek böceklerinin eğirme hareketine etkisi üzerine çalışmalar yapılmış, farklı dönme hareketlerinin örülen ağa etkisi karşılaştırılmıştır. Sürekli dönme hareketi ipek böceklerinin örme hareketini yönlendirmekte, kolaylaştırmakta ve ağın homojen bir görüntü vermesini sağlamaktadır. Sürekli dönme hareketi ısı ve ışığın yönü ve süresinden etkilenen ipek böceklerinin, yüzey alanı boyunca eşit lif yoğunluğuna sahip ipek tabakası örmelerini sağlamıştır (Oxman, 2020).



Şekil 5.30 Statik, kademeli ve sürekli hareketin lif eğirme düzeni üzerine etkisini araştıran simülasyon görseli ve uygulama (Oxman, 2020)



Şekil 5.31 İpek Pavyonu II (Oxman, 2020)

10 günlük süreç sonunda ipek böcekleri dünyanın çapından daha fazla uzunlukta lif eğirmiştir. Yapının üzerinden uzaklaştırılan ipek böcekleri güveye dönüştükten sonra hazırlanan kozalara konularak buraya yumurtalarını bırakması sağlanmıştır. Bırakılan yumurtalar gelecek döngü için soğuk hava deposunda muhafaza edilmektedir (Bader, 2020; Oxman, 2020).

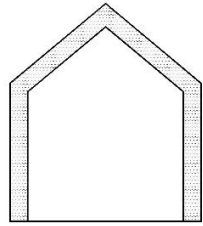
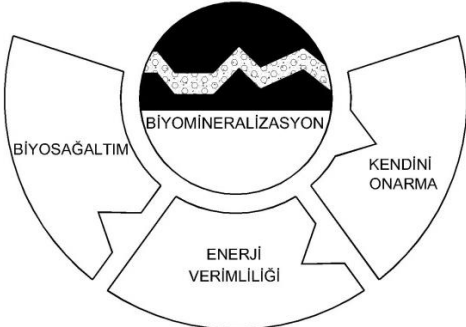
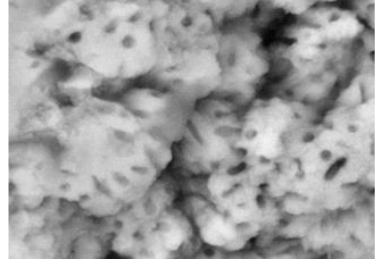


Şekil 5.32 Yumurta bırakan dişi güveler ve saklanan ipek böceği yumurtaları (Oxman, 2020)

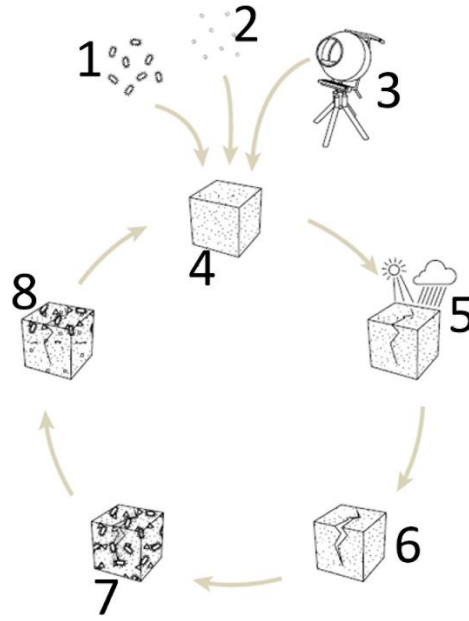
### 5.11 Kendini Onaran Beton (Self-Healing Concrete)

Kendini Onaran Beton ile ilgili bilgiler Tablo 5.11 de verilmiştir.

Tablo 5.11 Kendini Onaran Beton ile ilgili bilgiler

| Kendini Onaran Beton       |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                         |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2014 – devam ediyor<br>Yer: Hollanda<br>Mimari: Henk Jonkers                   |  |                                                                                                         |
| Organizma                  |  |                                                                                    |                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                     | Yapıda Kullanımı                                                                   | <br>Yapı malzemesi |
| BİYOMİNERALİZASYON         |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Kazanımları |  |                                                                                    | Doküman Detayı<br> |

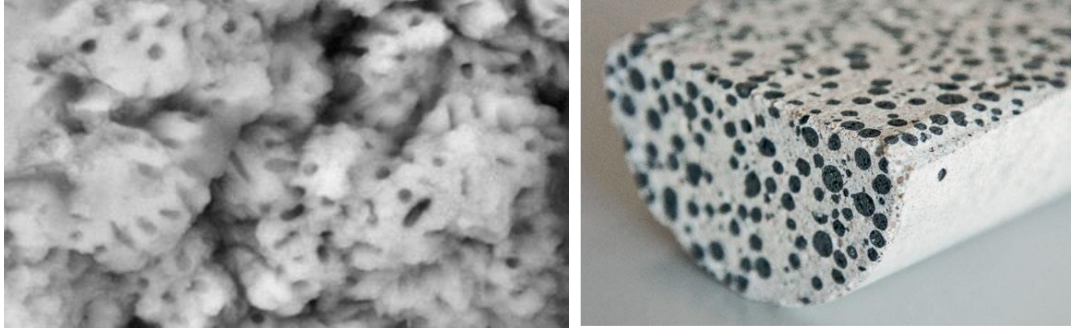
Hollanda'daki Delft Teknoloji Üniversitesi'nde doğadaki canlılardan yararlanan bir malzemenin yetiştirilmesine yönelik bir dizi çalışma gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, malzemenin kendi kendini iyileştirmesini sağlamak için belirli koşullar altında kireçtaşı üretebilen bakteriler geleneksel beton karışımına eklenmiştir. Ek olarak karışımın içine bakterilerin kullanacağı besin maddeleri de eklenmiştir. Zamanla çevresel faktörler sonucunda betonun içinde meydana gelen çatlaklar, içeri giren su ile aktive olan bakterilerin oluşturduğu kireçtaşı ile kapatılacaktır. Onarılan beton sayesinde, betonun içine sızarak çelik donatıyı korozyona uğratabilecek yağmur suyunun girişi de engellenmiş olacaktır. Mevcut yapılarda, karışım su bazlı bir sıvı şeklinde yapı elemanına eklenebilir ya da bir tamir harcının ile kaplama şeklinde uygulanabilir (Jonkers, 2017).



- |                         |                                                    |
|-------------------------|----------------------------------------------------|
| 1. Bakteri              | 5. Çevresel etkiler ile oluşan beton çatlakları    |
| 2. Besin                | 6. Çevreye maruz kalma yoluyla bakteri aktivasyonu |
| 3. Beton                | 7. Bakteri kaynaklı kireçtaşı oluşumu              |
| 4. Kendini onaran beton | 8. Onarılmış beton                                 |

Şekil 5.33 Betonun bakteriler ile onarılma aşamaları şeması (Jonkers, 2017)





Şekil 5.34 Kendi kendini onaran beton örnekleri (Jonkers, 2017)

Delft Teknoloji Üniversitesi, laboratuvar sonuçlarını gerçek ölçekte uygulamalarda test etmek için Waterboard Limburg ve prefabrik yapı üreticisi olan Bestcon işbirliği ile betonarme panellerden oluşan bir tank inşa etmiştir. Tank 2016 yılında inşa edilmiş ve hizmete açılmıştır. Tankın birkaç paneli kendi kendini iyileştiren betondan, geri kalanı geleneksel beton panellerden yapılmıştır. Bu projenin amacı, “bakteri bazlı betonun kendi kendini iyileştirme kapasitesini geleneksel betona kıyasla analiz etmek ve inşaatın hizmet ömrü boyunca fonksiyonel ve ekonomik performansı ölçmek” olarak belirtilmiştir (Jonkers, 2017).

Bu alanda yapılan başka bir örnek de Mimar Frank Marcus tarafından tasarlanmış mevcut bir yapının beton çatı kabuğunun üzerine su bazlı bir bakteri karışımının uygulanmasıdır. Betonda meydana gelmiş rötre çatlakları, bakterilerin ürettiği kireçtaşı ile etkin bir şekilde kapatılmıştır (Jonkers, 2017).

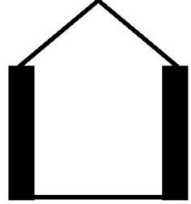
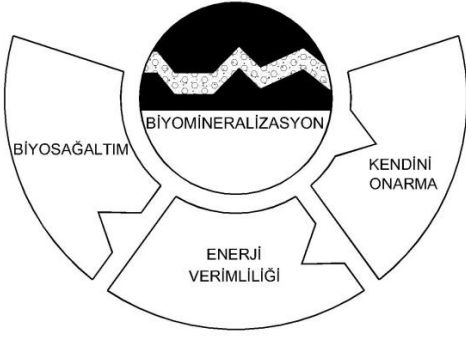


Şekil 5.35 Kendi kendini onaran beton kullanılan su tankı (Jonkers, 2017)

### 5.12 Kolon 21 (Column 21)

Kolon 21 ile ilgili bilgiler Tablo 5.12 de verilmiştir.

Tablo 5.12 Kolon 21 ile ilgili bilgiler

| Kolon 21                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                  |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2019<br>Yer: İngiltere<br>Mimari: Bastian Bayer                                |  |                                                                                                                  |
| Organizma                  |  |                                                                                     |                                                                                                                  |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                     | Yapıda Kullanımı                                                                    | <br>Yapı elemanı<br>(Kolon) |
| BİYOMİNERALİZASYON         |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                  |
| Biyoyararlanma Kazanımları |  |                                                                                     | Dokuma Detayı<br>           |



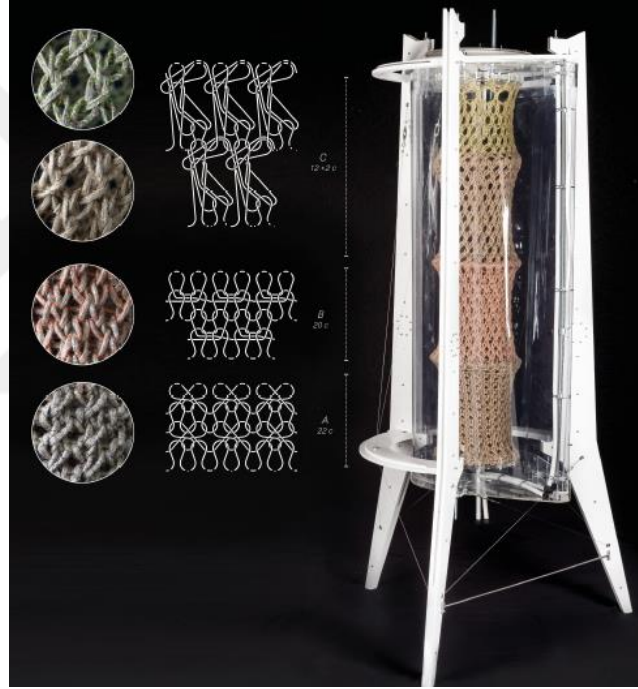
Mimar ve tasarımcı Bastian Bayer'in projesi olan Kolon 21, sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak katılaştırılmış örme tekstil yapı elemanın kullanım potansiyellerini araştırmaktadır. Avrupa çapında mimari, dijital tasarım, malzeme mühendisliği ve tekstil disiplinlerinin işbirliğinden ortaya çıkan bir projedir. Projede iki ana strateji uygulanmıştır. İlk olarak optimizasyon analizine dayalı yerel örgü modelleri çalışılmış ve yaklaşık %28 malzeme tasarrufu sağlanmıştır. İkinci strateji örülen jüt liflerinin üzerine *S. Pasteurii* bakteri türünü içeren bir kültür malzemesi uygulanmasıdır. Bu işlem ile tekstil üzerinde reaktif bir mikrobiyom oluşturulur. Bakteriyel kaynaklı kalsit, çökelme yoluyla mikroyapısal bir yapı oluşturur (Beyer, Suarez ve Palz, 2019; Hitti, 2019).



Şekil 5.36 Kolon 21 (Hitti, 2019)

Örgünün üretiminde sınırlı üretim paletine sahip endüstriyel örgü makinelerin yerine, manuel olarak ayarlanabilen bir örgü tezgahı kullanılmıştır. Böylece prototip oluşturma aşamasında istenilen kalınlık ve tipte farklı örgü çeşitleri çalışılabilmiştir. 160 cm boyundaki kolon, yapı boyunca beklenen basınç yüklerine göre konumlandırılan dört farklı örgü modelinden oluşur. Örne işlemi tamamlandıktan sonra dokuma tezgahı biyoreaktör modül ile değiştirilmiştir. İçinde *S. Pasteurii* bakteri türünü içeren kültür ortamı kontrollü bir sulama işlemi ile tekstil yapısına

uygulanmıştır. Ardından kalsit katılaşmasını tetiklemek için kalsiyum klorür ve üre solüsyonu içeren bir çözelti uygulanmıştır. Mikroorganizmalar, liflerin içine mikroskobik kalsit tabakaları bırakarak ve lifleri sürekli birbirine bağlayarak malzemenin mikro yapısını dönüştürmüştür. İşlemler dönüşümlü olarak üç günlük sürede 8 kez tekrarlanmıştır. Sonuç olarak örgü içinde yük taşıyabilen bir kalsit kütlesi oluşturulmuştur. Tasarımcılar, sonuçta ortaya çıkan malzemenin, mekansal bölücüler, gölgeleme elamanları, yapısal çatı veya duvar sistemleri ve güçlendirme potansiyelleri olarak mimari tasarım ve inşaatla kullanılabileceğini düşünmektedir (Beyer, Suarez ve Palz, 2019; Hitti, 2019).



Şekil 5.37 Kolon 21 püskürtme düzeneği ve örgü tipleri (Beyer, Suarez ve Palz, 2019)

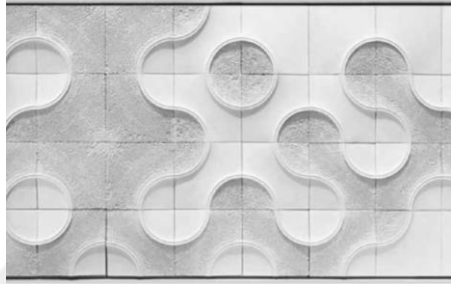
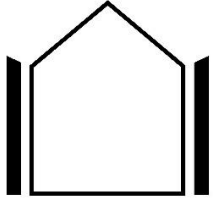
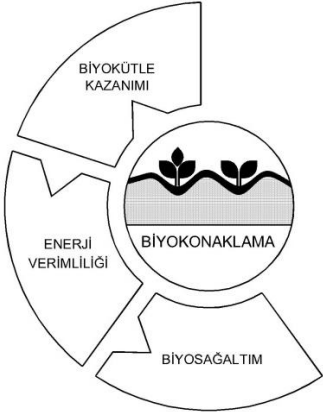
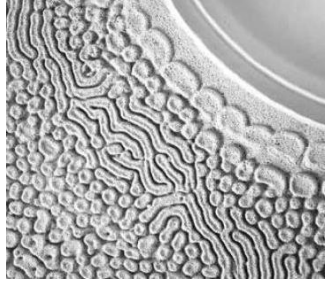


Şekil 5.38 Kolon 21, bakteriyel çözeltinin püskürtülmesi ve son ürün görüntüsü (Hitti, 2019)

### 5.13 Probiyotik Paneller

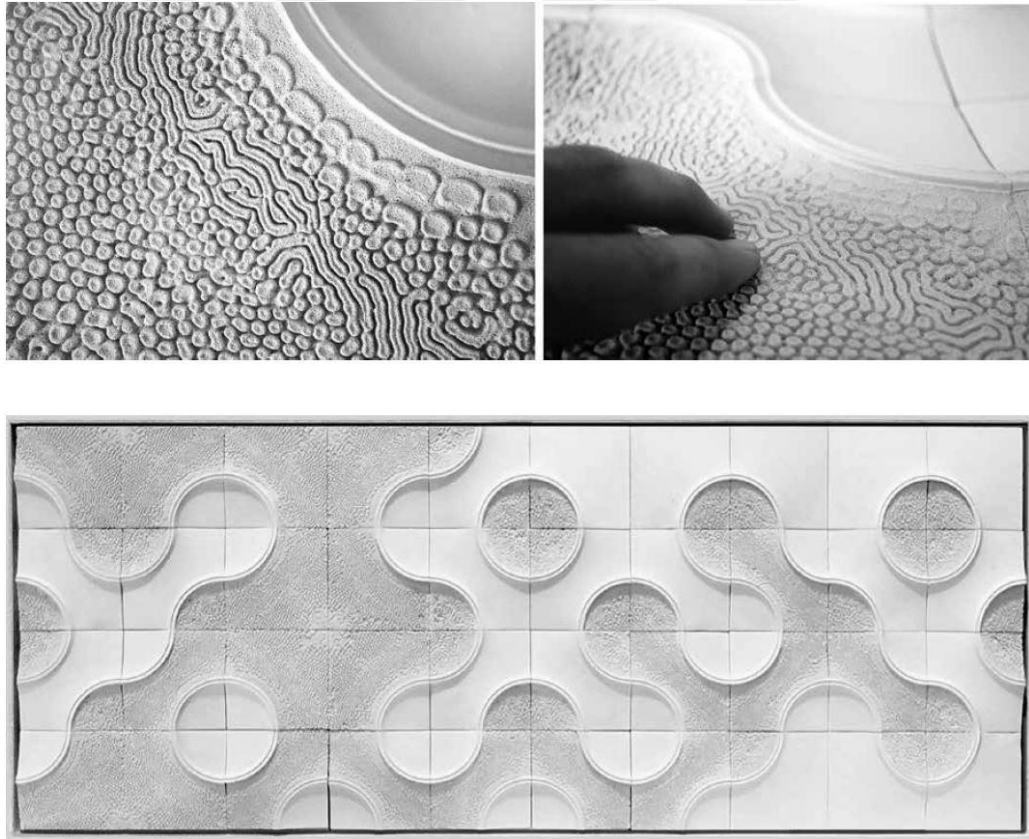
Probiyotik Paneller ile ilgili bilgiler Tablo 5.13 de verilmiştir.

Tablo 5.13 Probiyotik Paneller ile ilgili bilgiler

| Probiyotik Paneller        |                                                                                                    |                                                                                       |                                                                                                                          |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | <p>Yıl: 2019</p> <p>Yer: İngiltere</p> <p>Mimari: Carolina Ramirez-Figueroa ve Richard Beckett</p> |     |                                                                                                                          |
| Organizma                  |                 |                                                                                       |                                                                                                                          |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                                    | Yapıda Kullanımı                                                                      |  <p>Yapı elemanı (Cephe paneli)</p> |
| BİYOKONAKLAMA              |                                                                                                    |                                                                                       |                                                                                                                          |
| Biyoyararlanma Kazanımları |                 |                                                                                       | Panel Yüzey Detayı                                                                                                       |
|                            |                                                                                                    |  |                                                                                                                          |

Probiyotik yapı panelleri üzerinde çalışmalar gerçekleştiren Beckett, mimari tasarımın insan sağlığına etkilerini araştırmaktadır. Beckett, günümüzde her türlü bakteri/mikrop varlığını zararlı görerek hepsini öldürmeye dayanan mevcut yaklaşımdan uzaklaşarak yararlı bakterileri bilinçli olarak tasarıma dahil edecek stratejiler önermektedir. Bu sayede mimarinin insan mikrobiyomu ile etkileşime geçerek insan sağlığını etkilemesi ve sağlığa katkıda bulunabilecek bir araç haline gelmesini öngörmektedir.

2019 Yılında yürüttüğü çalışmada mikropları yapı malzemelerine entegre etmenin ve zaman içinde canlılıklarını korumanın zorluklarını araştırır. Londra'daki Barbican Centre'da düzenlenen 'Life Rewired Festival' (2019) kapsamında sergiledikleri 1:1 karo ilk prototip çalışmalarıdır. Probiyotik yapı elemanı kavramı, yapıda duvar ve zemin gibi farklı alanlarda kullanılarak yapı elemanı üzerinde mikrobiyal büyümeyi destekleyecek şekilde tasarlanabilecektir (Ramirez-Figueroa ve Beckett, 2020).



Şekil 5.39 Probiyotik seramikler (150 mm x 150 mm) ve bu panellerden oluşturulan probiyotik duvar paneli (Ramirez-Figueroa ve Beckett, 2020)

Probiyotik mimari karolara ait çalışma bakterilerin malzemeye gömüldükten sonra hayatta kalıp kalamayacağına dair yapılan testlerle başlamıştır. Bakterilerin mimari elemanlarda kullanılmasındaki en büyük sorunlardan biri sürekli besin ve su gereksinimi duymalarıdır. Bu sürekli bakım olmazsa, malzemenin canlı varlığının kısa sürede yok olması muhtemeldir. Su ve besin sağlayan yeşil duvarlar gibi pahalı veya yoğun sistemlerden kaçınmak bu araştırmanın temel amacıdır. Bunun yerine, bu yaklaşım, mikropların en beklenmedik ve en aşırı ortamlarda bile hayatta kalma stratejileri üzerine inşa etmeye yöneliktir. Çalışmada özellikle, uykuda düşük enerji durumu olan sporlara geçiş yaparak değişen iç mekan koşullarında hayatta kalma yeteneğine sahip bakteri türleriyle çalışılmıştır (Beckett, 2021).

Bakterilere konak olacak mimari eleman geleneksel bir malzeme olan seramik karolar, gözenekli yapıdaki farklı 3 boyutlu geometriler ile geliştirilmiştir. Malzeme gözenekliliği bakterilerin hayatta kalabileceği nişler oluşturmuştur ve kolonileşmesini arttırmıştır. Bu gözeneklerin optimizasyonu, hayatta kalma ve büyüme için daha elverişli koşullar sağlamıştır.

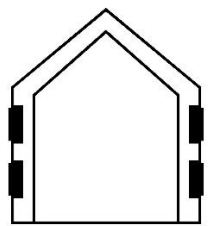
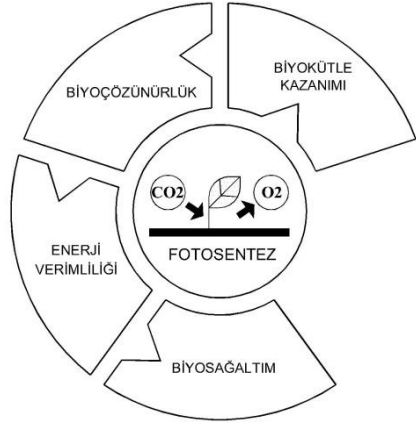
Geliştirilen çalışmanın bir sonraki aşaması, resim 5.39 de gösterilen seramik karoların çalışmanın gerçek bir ofis mekanına yerleştirilmesi ve 9 haftalık sürede test edilmesi olmuştur. Ofisin bir duvarına konumlandırılan probiyotik duvar panelinin üzerine kırsal alandaki biyoçeşitliliğe sahip bir bitki örtüsü kaynağından elde edilen toprak mikropları topluluğu ile aşılanmıştır.

9 haftalık süre boyunca, probiyotik kurulumunun iç mekan mikrobiyomu üzerinde bir etkisi olup olmadığını araştırmak üzere mekanın farklı bölgelerinden mikrobiyolojik numuneler toplanmıştır. Probiyotik karoların yaklaşık 1 m yarıçapı içindeki bir mesafeye kadar etkili olduğu görülmüştür. Bu da mekana probiyotik bir müdahalenin, yakın çevredeki mikropların varlığını artırarak bir alanın mikrobiyomunu değiştirebileceği hipotezini desteklemektedir (Beckett, 2021).

### 5.14 H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin.g

H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin.g ile ilgili bilgiler Tablo 5.14 de verilmiştir.

Tablo 5.14 H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin.g ile ilgili bilgiler

| H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin.g |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                  |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                        | Yıl: 2019<br>Yer: Paris, Fransa<br>Mimari: EcoLogicStudio                           |  |                                                                                                                  |
| Organizma                     |  |                                                                                     |                                                                                                                  |
| Biyoyararlanma Stratejisi     |                                                                                     | Yapıda Kullanımı                                                                    | <br>Yapısal dolgu malzemesi |
| FOTOSENTEZ                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                  |
| Biyoyararlanma Kazanımları    |  |                                                                                     | Doku Detayı<br>             |

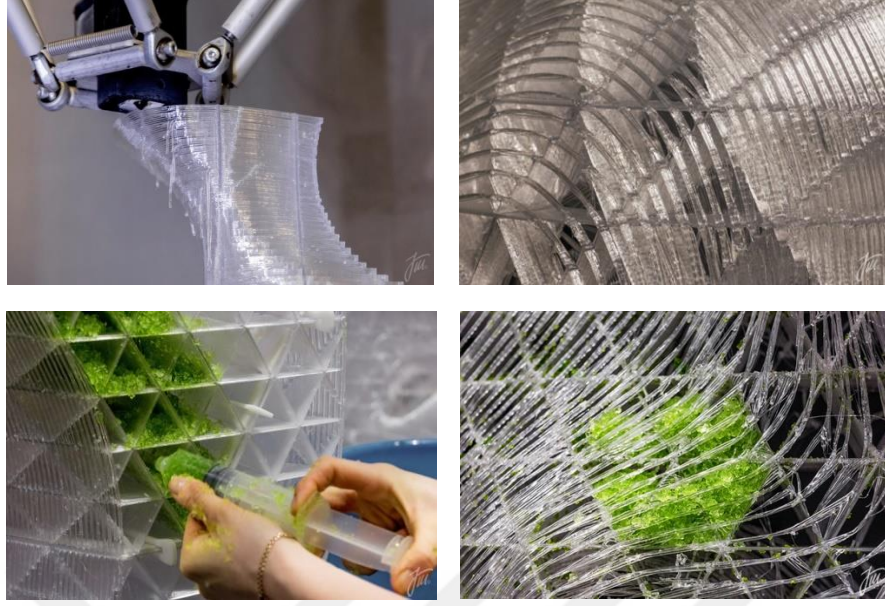


Ecologic Studio, mimariye farklı ölçeklerde hesaplamalı tasarım ve 3 boyutlu yazıcılar ile biyolojik sistemleri bir araya getirerek çalışan bir araştırma-uygulama grubudur. Projelerinde yoğun olarak 3 boyutlu yazıcılar ile uygulanmış içinde alg-yosun kültürlerinin yaşadığı ve mimari elemanlar ile etkileşim içinde olduğu sistemler tasarlamaktadır. 2019 yılında prototip olarak uygulanan HORTUS XL; EcoLogic Studio, Innsbruck Üniversitesi ve WASP ile birlikte geliştirilmiştir. Dünyanın ilk 3D baskılı biyodijital canlı yapısı yapı olarak tanıtılmıştır. Dijital bir algoritmayla, kolektif mercan gelişiminden esinlenen bir alt tabakanın büyümesini simüle edilmiştir (Ecologicstudio, 2019; Villa, 2019).



Şekil 5.40 HORTUS XL (3d Wasp, 2019)

HORTUS XL, 400 mikronluk katmanlar halinde biriktirilen ve 320 mm yüksekliğinde altıgen bir ızgara halinde yazılı özel yapım yapı blokları oluşturan, organik bir şeklin büyümesini geliştirmek için kullanılan dijital bir algoritma olarak tasarlanmıştır. 3D baskılı üniteler, her biri içine fotosentetik siyanobakterilerin biyojel süspansiyonunun aşılandığı 46 mm kenar uzunluğundaki üçgenlere bölünmüş yapıdadır. Fotosentez yapan bakteriler, radyasyonu oksijen ve biyokütleye dönüştürür. Sergide ziyaretçiler strüktürün etrafında dolaşarak yapının içindeki canlı gelişimlerini gözlemleyebilmektedir (Villa, 2019).

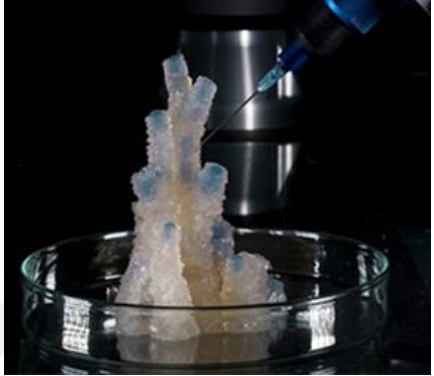
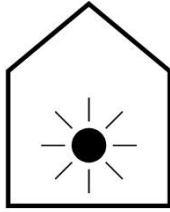
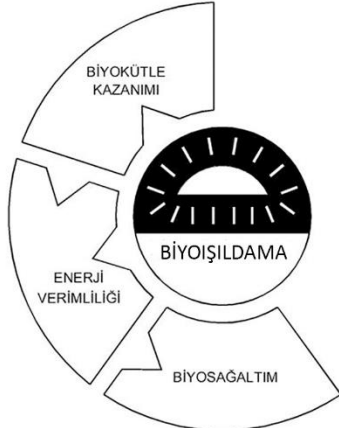
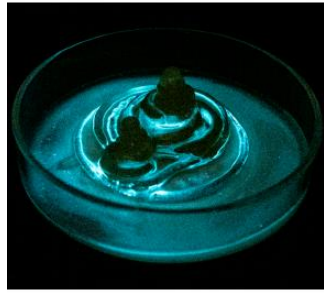


Şekil 5.41 HORTUS XL üretim aşamaları ve biyojel süspansiyonunun aşılınması (Magaraggia, 2019)

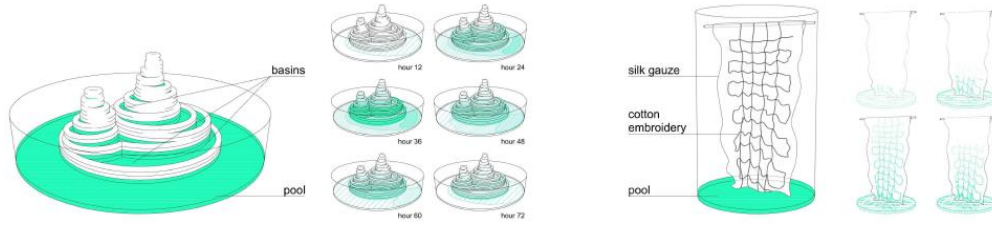
### 5.15 Imprimer La Lumiere

Imprimer La Lumiere ile ilgili bilgiler Tablo 5.15 de verilmiştir.

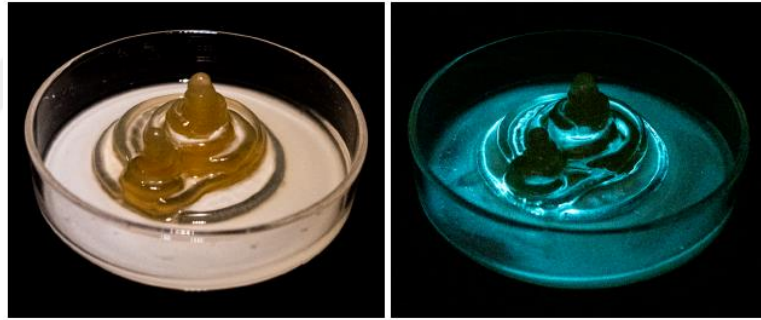
Tablo 5.15 Imprimer La Lumiere ile ilgili bilgiler

| Imprimer La Lumiere               |                                                                                                             |                                                                                       |                                                                                                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                            | Yıl: 2021<br>Yer: Danimarka<br>Mimari: Tamke Thomsan ve arkadaşları                                         |     |                                                                                                                     |
|                                   | <p><b>Organizma</b></p>  |                                                                                       |                                                                                                                     |
| <b>Biyoyararlanma Stratejisi</b>  |                                                                                                             | <b>Yapıda Kullanımı</b>                                                               | <br>Yapısal aydınlatma elemanı |
| <b>BİYOİŞİLDAMA</b>               |                                                                                                             |                                                                                       |                                                                                                                     |
| <b>Biyoyararlanma Kazanımları</b> |                          |                                                                                       | <b>Malzeme Detayı</b>                                                                                               |
|                                   |                                                                                                             |  |                                                                                                                     |

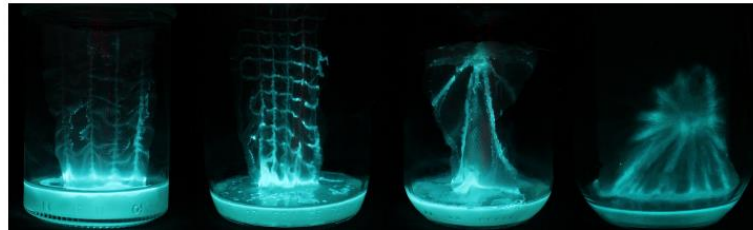
Imprimer la Lumiere, ışıldayan bakterilerin mimari malzeme olarak kullanımını araştıran disiplinler arası bir araştırma projesidir. Mikro mimari olarak tasarlanan projenin amacı, kamusal alan aydınlatmaları veya ev aydınlatmaları gibi bir mimari elemanı tasarlamak değil, bunun yerine yaşayan bir mimarinin ne anlama gelebileceğini araştırmaktır (Thomsen ve ark., 2021).



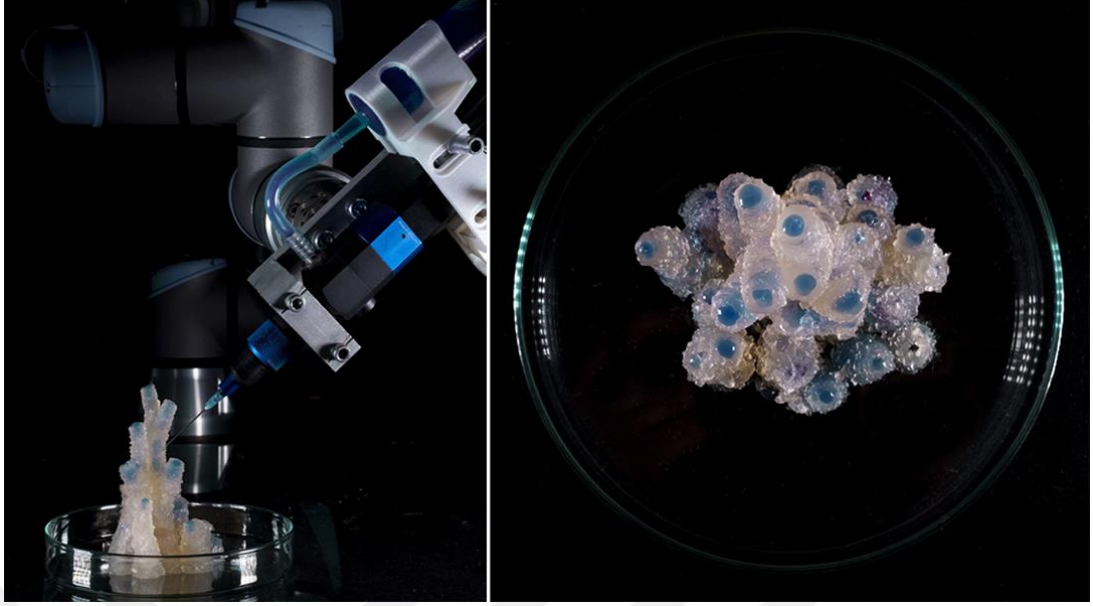
Şekil 5.42 Yaşayan bir mimarinin üretime ait araç ve yöntemlerin geliştirilmesine ait görselleştirme (Thomsan, Tamke ve ark., 2021)



Şekil 5.43 3D baskılı hidrojel yapı ve bakteri besin solüsyonu, biyoışıldamaandan önce ve sonra (Thomsan, Tamke ve ark., 2021)

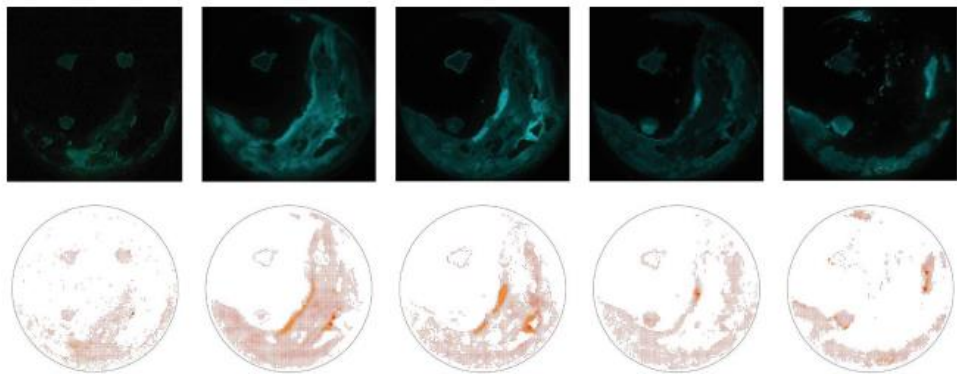


Şekil 5.44 Üzerinde bakterilerin çoğalmasını sağlayan besin ortamına batırılmış farklı tekstil örnekleri (Thomsan, Tamke ve ark., 2021)



Şekil 5.45 Imprimer La Lumière (Mosse, 2021)

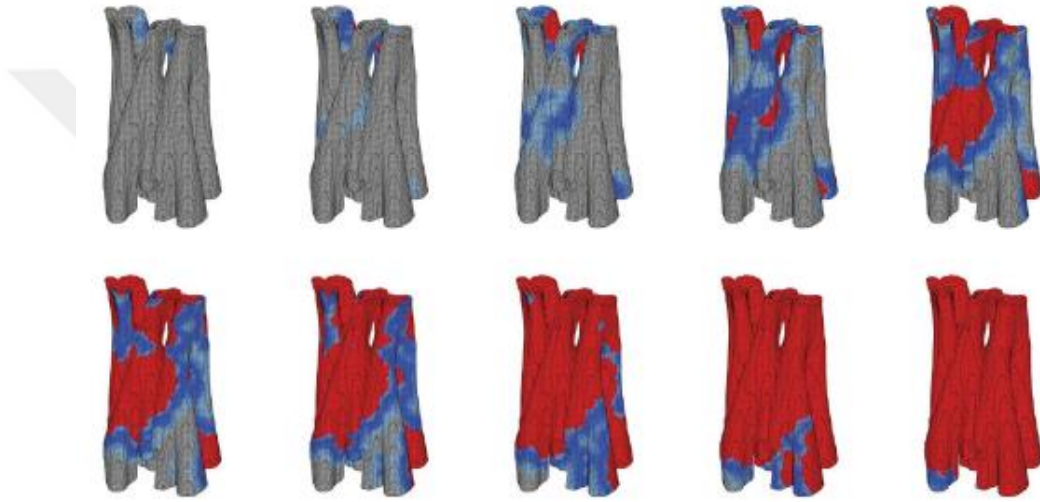
Projenin mikro mimarisi, bir diferansiyel eğri büyüme algoritması kullanır. Bu, yapının yüzey/hacim oranının en üst düzeye çıkarılmasını sağlar. Böylelikle bakteriler daha çok oksijene ulaşır ve daha iyi yayılır. Yayılan ışığın da algılanması kolaylaşır. Yapının tamamı, besin ve oksijenin teminini sağlayan bir karışımdan üretilmiştir. Karışım agar, jelatin, gliserin, besleyici ortam ve sudan oluşmaktadır. Bu akışkan karışım 3 boyutlu yazıcı ile basılmıştır (Thomsen ve ark., 2021).



Şekil 5.46 Işıldayans analizi ile zaman içinde dış ortamda büyüyen bakteri kültürü (Thomsen ve ark., 2021)



Projede, *Vibrio Fischeri* türü bir deniz bakterisi kullanılmıştır. Bakteriler öncelikle doğal besi ortamını taklit eden bir ortamda büyütülmüştür. Yeterli yoğunluğa ulaşan bakterilerin yapı üzerine aşılama işlemi için hassas konumlandırma sağlayan bir robot kullanılmıştır. Bakteriler 12 gün boyunca gözlemlenmiştir. Beslenme ve oksijen tüketildikçe bakterilerin yeni ortama yayıldığı gözlemlenmiştir. Herhangi bir canlı organizma gibi ışıldayan bakterilerin de sınırlı bir ömrü vardır. Bu nedenle onların yapılı çevreye uyumları biyolojik yaşama uyarlanmış yeni süreçleri de inşa eden bir mimarlık üretimine zamansal bir boyut getirmektedir (Thomsen ve ark., 2021).



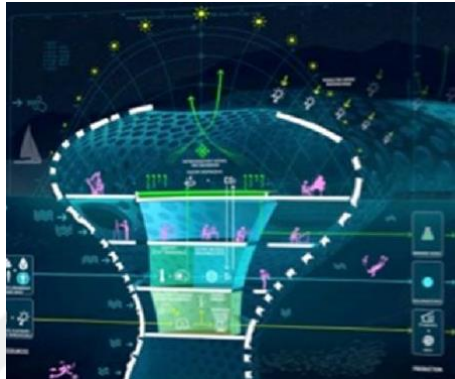
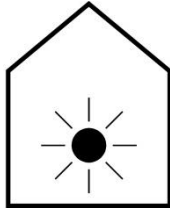
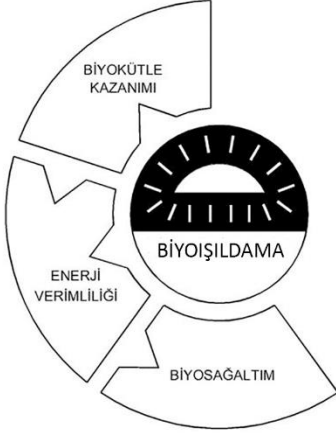
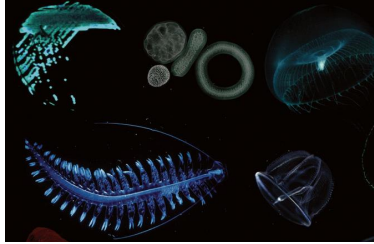
Şekil 5.47 Bakteri yayılımının ilerlemesinin simülasyonu (Thomsen ve ark., 2021)



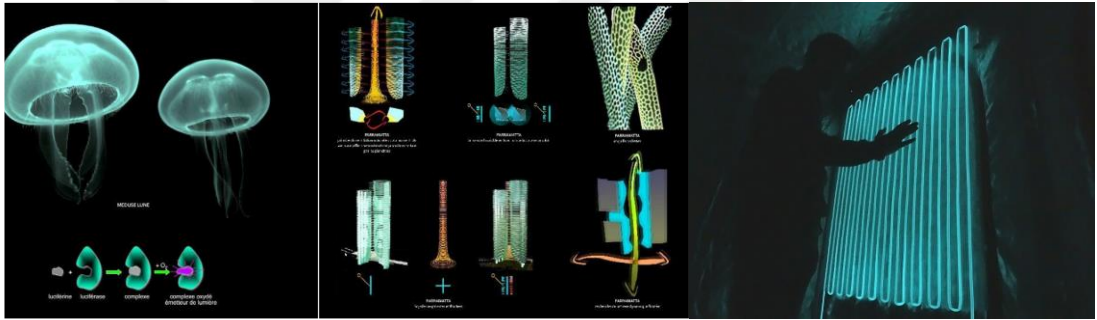
### 5.16 BiolumReef

BiolumReef ile ilgili bilgiler Tablo 5.16 de verilmiştir.

Tablo 5.16 BiolumReef ile ilgili bilgiler

| BiolumReef                 |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                       |                                                                                                                         |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2013<br>Yer: -<br>Mimari: Olivier Bocquet                                                                                                                                                                                             |     |                                                                                                                         |
| Organizma                  |  <p>Organizmalar</p> <p>Makroorganizmalar</p> <p>Mikroorganizmalar</p> <p>Mantarlar</p> <p>Bitkiler</p> <p>Hayvanlar</p> <p>Bakteriler</p> <p>Aglar</p> |                                                                                       |                                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                                                                                                                                                                            | Yapıda Kullanımı                                                                      |  <p>Yapısal aydınlatma elemanı</p> |
| BİYOİŞİLDAMA               |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                       |                                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Kazanımları |                                                                                                                                                         |                                                                                       | Canlı Detayı                                                                                                            |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                            |  |                                                                                                                         |

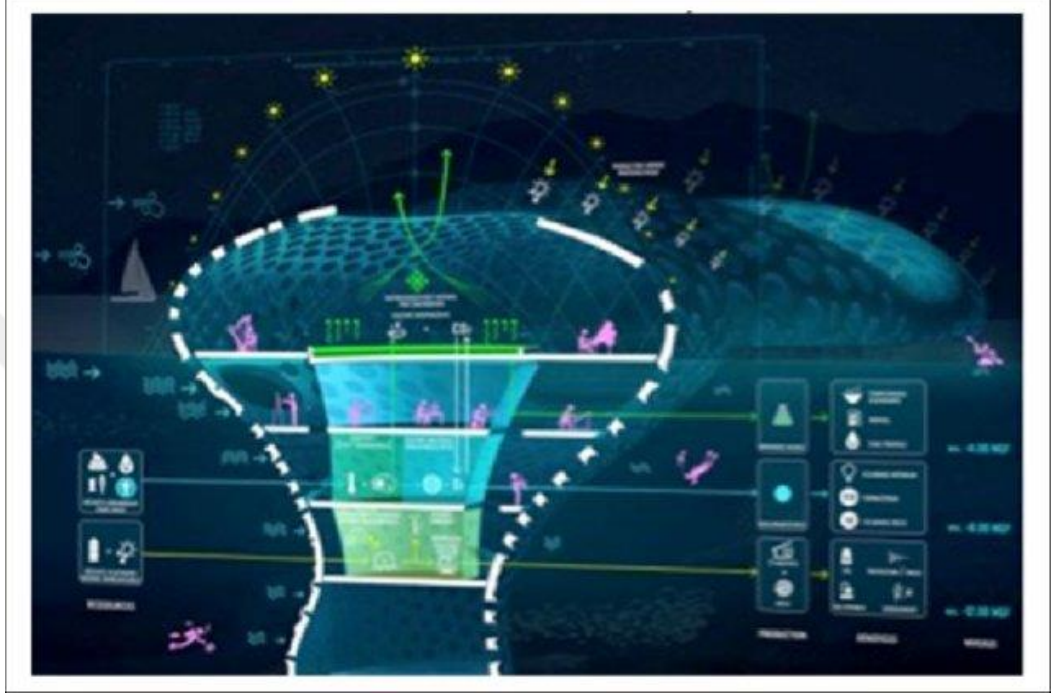
Tangram Lab, 2013 yılında Olivier Bocquet liderliğinde biyoesinlenmeli tasarımları çalışmak üzere kurulmuştur. İlk projeleri denizanasının biyoişıldayan özelliğini bir cam kuleye aktarma fikrinden yola çıkmıştır. Parramatta Tower adlı proje mimaride biyoişıldama üzerine araştırma çalışmalarının başlangıç noktası olmuştur. 2016 yılında mimari projelerdeki potansiyel uygulamalar için BIOLUMARCHI isimli araştırmayı başlatmışlardır. Araştırma projesi, mimari için otonom aydınlatma malzemeleri geliştirmek için çevre koşullarını ve biyoişıldayan bakterilerin gelişim parametrelerini anlamayı amaçlamaktadır. Aynı araştırma çerçevesinde 2018 yılında biyoişıldamanın farklı türlere yönelik bakteri ve mikroalglerin kültürleri üzerinde bir araştırma yapmak için laboratuvar MIO (Mediterranean Institute of Oceanology) ile işbirliği yapmış ve BiolumReef projesi başlatılmıştır (Chayaamor-Heil ve Vitalis, 2020).



Şekil 5.48 Parramatta Tower ve biyoişıldama malzeme prototipi çalışması (Chayaamor-Heil ve Vitalis, 2020)

BiolumReef, Tangram Architectes'den Olivier Bocquet tarafından hazırlanan ve biyoişıldamanın mimaride kullanıma örnek olacak bir denizaltı laboratuvarı projesidir. Mimari geri dönüştürülmüş plastiklerden 3D olarak basılacak şekilde tasarlanmıştır. Yapı kendi enerjisini üretecek, mercan resifi gibi davranacak ve deniz ekosistemlerine ev sahipliği yapacaktır. Laboratuvar çok katmanlı bir yapıdadır. Sadece çekirdek kısmı çevredeki su ve basınca geçirimsizdir ve içinde insan yaşamına izin verir. Dış katmanlar ise tesisin organik atıklarından yararlanabileceği türleri barındırır. Yapı 24 saatlik döngülerinin doğal ritimleriyle çalışan bakteri lambalarıyla aydınlatılır. Yapıdaki tüm yaşam biyoişıldayan sirkadiyen ritimler ve ışık yoğunluğu tarafından yapılandırılır. Dış katmanlarda da zaman içerisinde deniz akıntıları ile sürüklenerek

birikecek biyoışıldayan bakteriler ve mikroalgler için nişlerin oluşması beklenmektedir. Bunun sonucu olarak yapıya daha fazla biyolojik canlı çekilecek ve farklı canlıların kolonize olduğu ve simbiyotik yaşamın sağlandığı bir sistem kurulacaktır (Brugidou ve Clouette, 2018).

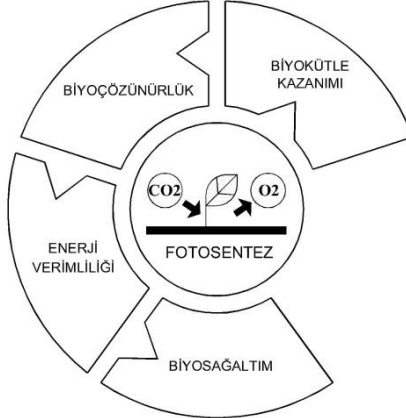


Şekil 5.49 BiolumReef projesi (Brugidou ve Clouette, 2018)

### 5.17 BIQ (Bio Intelligent Quotient)

BIQ ile ilgili bilgiler Tablo 5.17 de verilmiştir.

Tablo 5.17 BIQ ile ilgili bilgiler

| BIQ                        |                                                                                                                              |                                                                                       |                                                                                                                                         |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2013<br>Yer: Hamburg, Almanya<br>Mimari: Splitterwerk Mimarlık, ARUP, Colt Uluslararası ve Stratejik Bilim Danışmanlığı |     |                                                                                                                                         |
|                            |                                                                                                                              |                                                                                       |                                                                                                                                         |
| Organizma                  |                                           |                                                                                       |                                                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                                                              | Yapıda Kullanımı                                                                      | <br>Yapı elemanı<br>(Fotobiyoreaktör cephe paneli) |
| FOTOSENTEZ                 |                                                                                                                              |                                                                                       |                                                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Kazanımları |                                           |                                                                                       | Panel Detayı                                                                                                                            |
|                            |                                                                                                                              |  |                                                                                                                                         |

BIQ binası dünyada cephesinde fotobiyoreaktörlerin kullanıldığı ilk yapı örneğidir. 2013 yılında Almanya'nın Hamburg şehrinde inşası tamamlanan yapı Splitterwerk Architects , ARUP , Colt International ve Strategic Science Consult'un ortaklaşa çalışmaları sonucunda inşa edilen bir projedir. Yapı 5 katlı bir konut binasıdır ve binada 15 dairede bulunmaktadır. Binanın güneydoğu ve güneybatı cephelerine entegre edilmiş ikincil cephe sistemi, güneş enerjisinden yararlanılarak içinde alglerin yetiştirildiği modüllerden oluşmaktadır. Modüllerde üretilen alg biyokütlesi sayesinde yapı için enerji ve ısı üretimi, ısı ve ışık kontrolü sağlanmaktadır. Üretilen ısı daha sonra kullanılmak üzere depolanabilmektedir (Arup, 2015; Roedel ve Petersen, 2013; Wurm, b.t.).



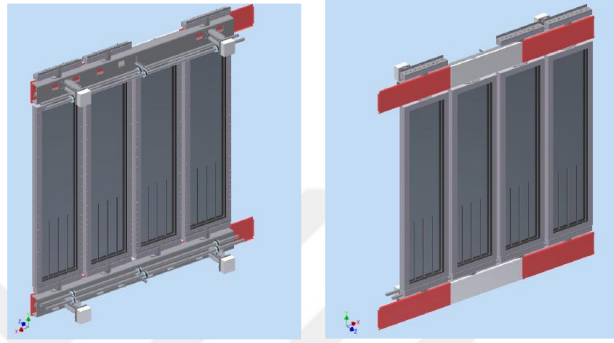
Şekil 5.50 BIQ Binası (Buildup, 2015)



Şekil 5.51 BIQ Binası, fotobiyoreaktör cephe panelleri (Buildup, 2015)



Fotobiyoreaktör cephe 129 modülden oluşmaktadır. Modüller 70 cm genişliğinde, 270 cm yüksekliğinde ve 8 cm kalınlığındadır. Panellerin içi alglerin yetişebilmesi için besinler ile zenginleştirilmiş içme suyu ile doludur. Su dolu bölümün her iki yüzünde argonla doldurulmuş katmanlar bulunur. Bu katmanlar ısı kaybını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Modüller içindeki ısı yazın 40 °C'nin altında, kışın ise 5 °C'nin üstünde tutulmaktadır. (Arup, 2015; Roedel ve Petersen, 2013).



Şekil 5.52 fotobiyoreaktör cephe panelleri (Roedel ve Petersen, 2013)

Her modül binanın su tesisatına entegre edilmiş girdi ve çıkıtlara sahiptir. Modülün tabanından 4 saniye aralıkla basınçlı hava verilmektedir. Ayrıca alglerin büyümeleri için bu giriş tüplerinde baca gazından sağlanan karbondioksit gazı verilmektedir.



Şekil 5.53 BIQ Binası, fotobiyoreaktör cephe panelleri (Wurm, b.t.)

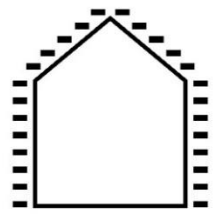
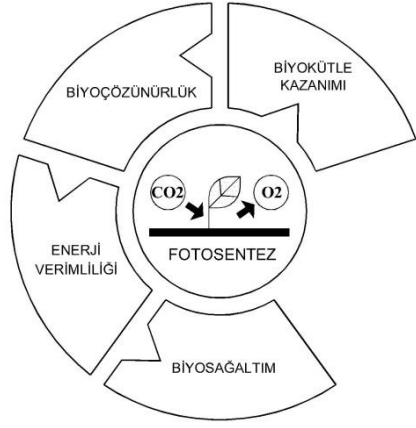
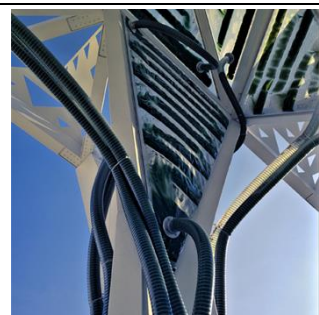




### 5.18 Urban Algae Folly

Urban Algae Folly ile ilgili bilgiler Tablo 5.18 de verilmiştir.

Tablo 5.18 Urban Algae Folly ile ilgili bilgiler

| Urban Algae Folly          |                                                                                       |                  |                                                                                                                              |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2015<br>Yer: Milano, İtalya<br>Mimari: EcoLogicStudio                            |                  |                                            |
|                            |                                                                                       |                  |                                                                                                                              |
| Organizma                  |    |                  |                                                                                                                              |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                       | Yapıda Kullanımı | <br>Yapı elemanı<br>(Gölgeleme elemanı) |
| FOTOSENTEZ                 |                                                                                       |                  |                                                                                                                              |
| Biyoyararlanma Kazanımları |    |                  | Yapı Detayı                                                                                                                  |
|                            |  |                  |                                                                                                                              |

EcoLogicStudio tarafından 2015 yılında tasarlanan Urban Algae Folly canlı mikro alg kültürlerin kullanıldığı insan etkileşimli bir pavyon yapısıdır. EXPO Milano 2015 *Future Food District*'in halka açık meydanında sergilenmiştir. Yapıda kullanılan mikro alg olan spirulina fotosentetik bir canlıdır ve yapısal olarak birçok mineral ve bitkisel proteini içerir. Atmosferdeki karbondioksiti ağaçlardan on kat daha fazla emebilir ve havaya oksijen verir (Ecologicstudio, 2015).



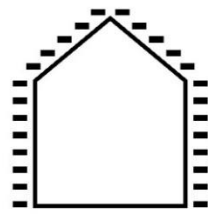
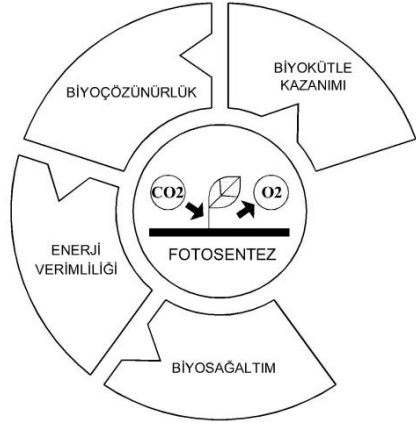
Şekil 5.55 Urban Algae Folly (Ecologicstudio, 2015)

Yapı 3 ayaklı bir çelik konstrüksiyonun piramidal çerçevelerinin arasında ETFE membranlardan oluşmaktadır. ETFE membranların arasında bir sıvı içerisindeki alg kültürü bulunmaktadır. Şeffaf ETFE malzeme gün ışığı alarak alglerin büyümesini teşvik etmektedir. Güneşli günlerde mikro alglerde hızla büyüyerek yapının gölgeleme potansiyelini artırmaktadır. Yapıya entegre edilen dijital sistem sayesinde ziyaretçiler akıllı telefonları Urban Algae Folly ile etkileşime geçebilmekte ve hasat etkinliklerine katılabilmektedir (Ecologicstudio, 2015).

### 5.19 Alg Kubbesi (The Algae Dome)

Alg Kubbesi ile ilgili bilgiler Tablo 5.19 de verilmiştir.

Tablo 5.19 Alg Kubbesi ile ilgili bilgiler

| Alg Kubbesi                |                                                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                              |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2017<br>Yer: Kopenhag, Danimarka<br>Mimari: Space 10                                                           |  |                                                                                                                              |
|                            | <div>Organizma</div> <div></div> |                                                                                     |                                                                                                                              |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                                                     | Yapıda Kullanımı                                                                    | <br>Yapı elemanı<br>(Gölgeleme elemanı) |
| FOTOSENTEZ                 |                                                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                              |
| Biyoyararlanma Kazanımları |                                  | Dokuma Detayı                                                                       |                                         |



Alg Kubbesi, 2017 yılında Kopenhag'ın CHART Sanat Fuarı'nda kurulmuştur. IKEA'nın harici inovasyon laboratuvarı Space10 tarafından geliştirilen proje "Gıda Üreten Mimari Pavyon" olarak tanımlanmıştır. 4 metre yüksekliğindeki ahşap kaburgalar ile oluşturulan kubbe üzeri mikro alglerin dolaşımının sağlandığı sıvı ile dolu tüpler ile çevrelenmiştir (Morris, 2017).



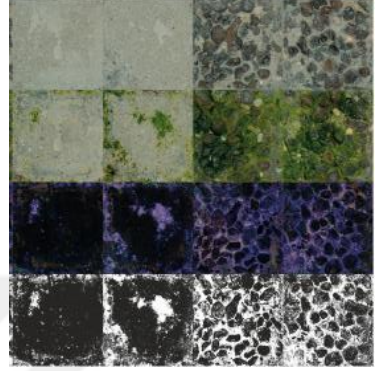
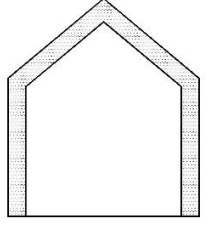
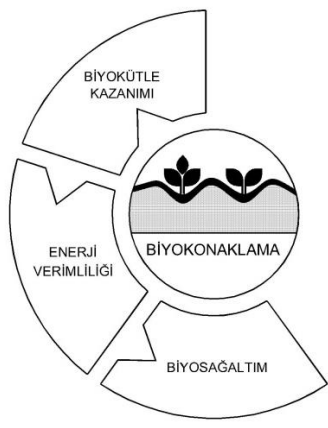
Şekil 5.56 Alg Kubbesi (Morris, 2017)

Mikroalglerle doldurulmuş 320 metrelik sarmal boruya sarılan fotobiyoreaktör kubbe, üç günlük fuar boyunca 450 litreden fazla mikroalg üretmeyi başarmıştır. Space 10'ın biyomühendisliğini yapan Keenan Pinto projenin amacını şöyle özetlemiştir: “Alg Kubbesi, büyük miktarlarda besleyici gıda yetiştirmeyi, gezegen üzerindeki etkimizi nasıl azaltabileceğimizi ve dünyanın en büyük sorunlarından bazılarını çözmek için biyolojiyi nasıl kullanabileceğimiz hakkında konuşmaları tetiklemeyi hedefliyor.” (Morris, 2017).

## 5.20 Biyokonak Beton

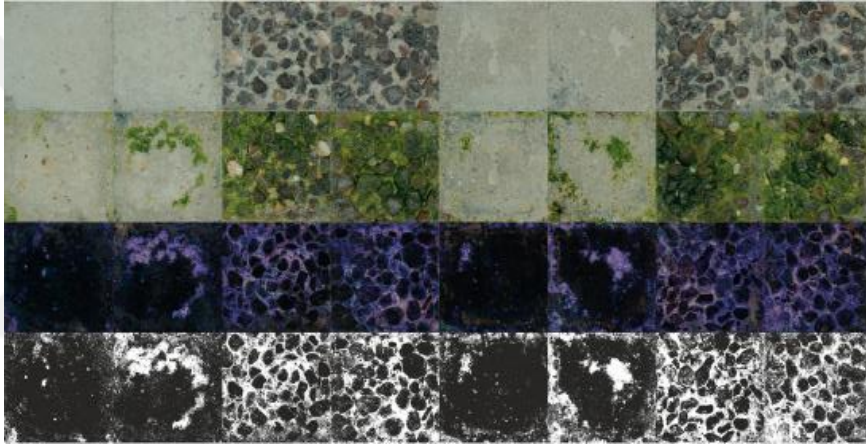
Biyokonak Beton ile ilgili bilgiler Tablo 5.20 de verilmiştir.

Tablo 5.20 Biyokonak Beton ile ilgili bilgiler

| Biyokonak Beton            |                                                                                                                    |                                                                                     |                                                                                                         |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yapım yılı: 2021<br>Yapım yeri: Hollanda<br>Mimari: Max Veeger, Marc Ottele, Alejandro Prieto – Delft Üniversitesi |  |                                                                                                         |
|                            |                                                                                                                    |                                                                                     |                                                                                                         |
| Organizma                  |                                 |                                                                                     |                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                                                    | Yapıda Kullanımı                                                                    | <br>Yapı malzemesi |
| BİYOKONAKLAMA              |                                                                                                                    |                                                                                     |                                                                                                         |
| Biyoyararlanma Kazanımları |                                 | Malzeme Detayı                                                                      |                    |



Veeger, Ottele ve Prieto 2021 yılındaki çalışmalarında biyokonak beton üzerine deneyler yapmıştır. Beton yapı endüstrisinde en çok kullanılan malzemedir. Aynı zamanda fizyolojik yapısı doğal taşa benzemektedir. Ancak üzerinde biyolojik büyümenin gerçekleşmesi için yeterli besin gereksinimleri karşılamaz. Bu nedenle, yapılı çevrede biyokonak beton olarak yaygın olarak uygulanabilmesi için yeni bir beton karışımının geliştirilmesi gerekmektedir. Bir biyokonak malzemenin cephe elemanı olarak kullanılması durumunda, malzemenin kendisi ek bir teknik sisteme ihtiyaç duymadan, bir yapısal eleman olarak biyolojik büyümeyi destekleyebilir. Bu, yeşil çatı ve cephe sistemlerinin büyük ölçüde basitleştirebileceği anlamına gelir ve maliyetlerini düşürme potansiyeli barındırmaktadır (Veeger, Ottele ve Prieto, 2021).



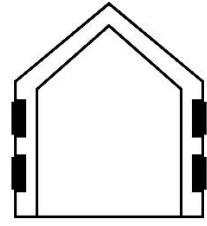
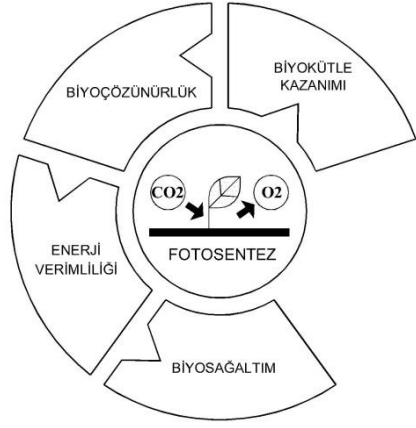
Şekil 5.57 Biyokonak beton örnekleri (Veeger, Ottele ve Prieto, 2021)

Yapılan deneylerde betonu daha biyokonak hale getirmek için dört olası yol test edilmiştir. Bunlar; agregayı CEC (Ezilmiş Genişletilmiş Kil) ile değiştirmek, karışıma kemik külü eklemek, WCF'yi (u çimentosu faktörü) artırmak ve beton üzerinde bir yüzey geciktirici kullanmaktır. Deneyde her karışımdan  $50 \times 50 \times 30$  mm ölçülerinde 4 numune üretilmiştir. Numunelerin üzerine mevcut bir biyofilm eklenmiştir ve üzerlerindeki alg gelişmeleri gözlemlenmiştir. Araştırma deney ortamında uygulanmıştır ancak gelecekteki araştırmaların biyokonak betonun doğal koşullar altında performansına odaklanması uygulama açısından daha gerçekçi sonuçlar verecektir (Veeger, Ottele ve Prieto, 2021).

## 5.21 AirBubble

AirBubble ile ilgili bilgiler Tablo 5.21 de verilmiştir.

Tablo 5.21 AirBubble ile ilgili bilgiler

| AirBubble                  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                  |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mimari                     | Yıl: 2021<br>Yer: Glosgow, İskoçya<br>Mimari: EcoLogicStudio                        |   |                                                                                                                  |
|                            | Organizma                                                                           |  |                                                                                                                  |
| Biyoyararlanma Stratejisi  |                                                                                     | Yapıda Kullanımı                                                                    | <br>Yapısal dolgu malzemesi |
| FOTOSENTEZ                 |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                  |
| Biyoyararlanma Kazanımları |  | Dokuma Detayı                                                                       |                             |



Şekil 5.58 Air Bubble (Ecologicstudio, 2021)

Air Bubble, ecoLogicStudio'nun eko-makine olarak adlandırılan ve havayı temizleyen ilk pnömatik biyoreaktörüdür. Toplam 200 litre canlı Chlorella türü mikroalg kültürünün bulunduğu 24 fotobiyoreaktör tüp ve zeminde onu destekleyen çift katman arasındaki 6.000 litre suyun bulunduğu destek bölümü bulunmaktadır. Dakika 100 litre kirli şehir havasını filtreleyebilmektedir. Yapı 0,5 mm kalınlığındaki termoplastik poliüretan (TPU) membran malzemeden üretilmiştir. Yapının imalatı CNC makinesi ile kesilmiş yaklaşık 100 ayrı parça membranın proje alanında birbirine kaynaklanması ile gerçekleştirilmiştir. Yapının hafifliği nakliye, kurulum ve sökme gibi yapım ve yıkım süreçlerinde çok düşük karbon salınımına neden olmaktadır. (Ecologicstudio, 2021).

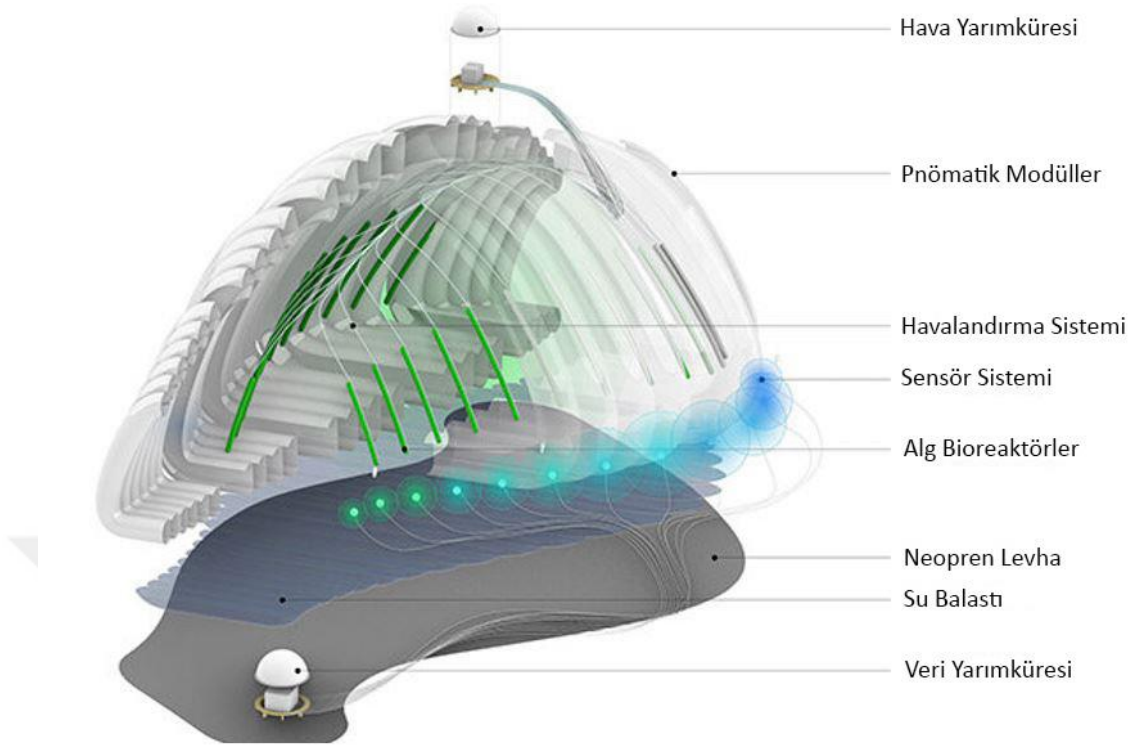


Şekil 5.59 Air Bubble, gece hareket ile aydınlanma görüntüsü (Ecologicstudio, 2021)



Şekil 5.60 Air Bubble, mikroalg fotobiyoreaktör tüpleri (Ecologicstudio, 2021)

Membran bir dizi sensör tarafından gerçek zamanlı olarak izlenir. Rüzgar algılanır ve pnömatik yapıda oluşan titreşimler indüklenir. Bu sensörler, alg fotosentezini sağlayan aydınlatma dizisini etkinleştirir. Alglerin fotosentezi ile hava temizlenir. Biyo-dijital yapıda daha fazla insan oynar ya da hareket ederse hava daha temiz hale gelir ve bu da yeni bir tür ortak yaşam geliştirir (Ecologicstudio, 2021).



Şekil 5.61 Air Bubble çalışma şeması (Ecologicstudio, 2021)

## **BÖLÜM ALTI**

### **DEĞERLENDİRME VE SONUÇ**

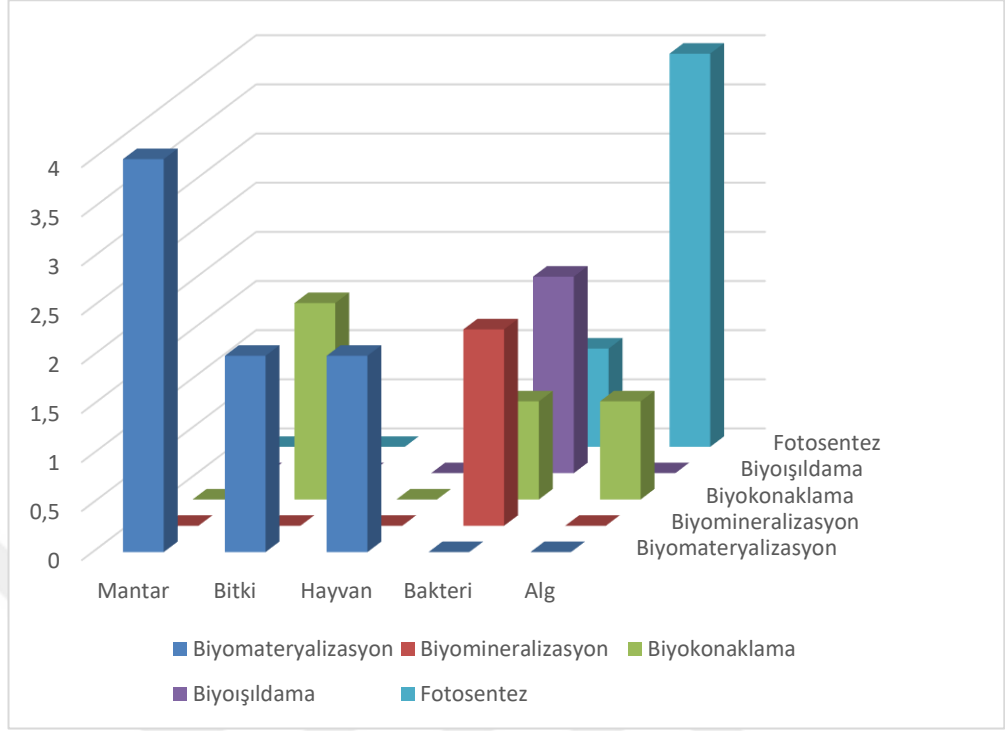
Tez kapsamında mimaride biyoyararlanma stratejileri ile yapım ve kullanım süreçlerinde yapıya fayda sağlayacak biyomalzeme üretimi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde canlı organizmalara ait bilgiler verilmiştir. Ardından canlı organizmalardan mimaride yararlanırken kullanacağımız temel yaklaşımlar, teorik bilgiler ve mimari örnekler üzerinden anlatılmıştır. Çalışmanın sonraki bölümünde canlı organizmalardan yararlanma üzerine tanımlanan biyoyararlanma stratejileri ve biyoyararlanma kazanımları sınıflandırılmıştır. Bölüm beşte 21 adet çalışma örneği incelenmiş ve her örnek belirli kriterlere göre kendine ait bir tablo üzerinde değerlendirilmiştir. Bu kriterler: yararlanılan canlı organizma türü, malzemenin yapıda kullanım olanağı, uygulama sürecinde kullanılan biyoyararlanma stratejisi ve elde edilen biyoyararlanma kazanımlarıdır. Bu incelemeler doğrultusunda tüm örneklerle ait bilgilerin karşılaştırılmasına ait bilgiler Tablo 1 de verilmiştir (Tablo 6.1).

Makroorganizmalardan yararlanılan 10 adet çalışmanın 4 tanesinde mantar, 4 tanesinde bitki, 2 tanesinde hayvan (ipek böceği) kullanılmıştır. Mikroorganizmalardan yararlanılan 11 adet çalışmanın 6 tanesinde mantar, 5 tanesinde ise algler kullanılmıştır. Mantarlardan ve hayvanlardan yararlanılan çalışmaların tamamında biyomateryalizasyon stratejisi kullanılırken, bitkilerden yararlanılan çalışmaların 2 tanesinde biyomateryalizasyon, 2 tanesinde ise biyokonaklama stratejisi kullanılmıştır. Bakterilerden yararlanılan çalışmaların 2 tanesinde biyomineralizasyon, 1 tanesinde biyokonaklama, 2 tanesinde biyoışıldama ve 1 tanesinde fotosentez stratejisi kullanılmıştır. Alglerden yararlanılan çalışmalarda ise 4 fotosentez ve 1 biyokonaklama stratejisi kullanılmıştır (Şekil 6.1). Canlı organizma ve stratejilerin dağılımı incelendiğinde bakterilerden yararlanılan çalışmaların en fazla strateji çeşidine uygulama alanı sağladığı görülmektedir. Mantarlar ve hayvanlardan yararlanılan strateji alanı ise sadece biyomateryalizasyon stratejisi ile sınırlı kalmıştır. Bitki ve alglerden yararlanılan çalışmalarda iki farklı stratejinin uygulama alanı tespit edilmiştir.

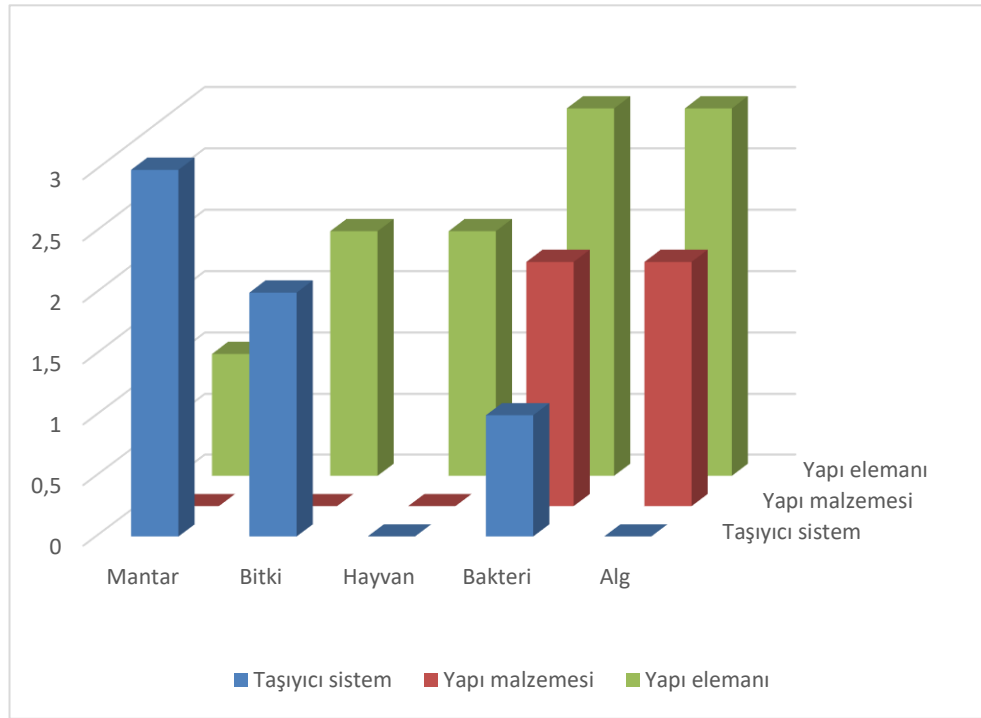


Tablo 6.1 Bölüm beşte incelenen tüm örneklerin canlı organizma türü, malzemenin yapıda kullanım olanağı, biyoyararlanma stratejisi ve biyoyararlanma kazanımları açısından karşılaştırılması

|                |         |                                                                                     | TAŞIYICI SİSTEM |                         |               | YAPI MALZEMESİ |                         | YAPI ELEMANI  |                   |              |                               |                            | Biyoyararlanma Stratejisi |                    |               |             |            | Biyoyararlanma Kazanımı |                |                    |             |                |
|----------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|----------------|-------------------------|---------------|-------------------|--------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------|-------------|------------|-------------------------|----------------|--------------------|-------------|----------------|
| Organizma Türü | Tablo   | Yapı                                                                                | YAPI ELEMANI    | STRÜKTÜR SİSTEMİ        | YAPI BİLEŞENİ | Yapı malzemesi | Yapısal dolgu malzemesi | CEPHE ELEMANI |                   |              |                               | AYDINLATMA ELEMANI         | Biyomateryalizasyon       | Biyomineralizasyon | Biyokonaklama | Biyosıldama | Fotosentez | Biyokütle Kazanımı      | Biyoçözünürlük | Enerji Verimliliği | Biyosagıtım | Kendini Onarma |
|                |         |                                                                                     | Kolon           | Tüm Strüktür            | Tuğla         |                |                         | Yapı kabuğu   | Gölgeleme Elemanı | Cephe Paneli | Fotobiyo-reaktör cephe paneli | Yapısal aydınlatma elemanı |                           |                    |               |             |            |                         |                |                    |             |                |
| Makroorganizma | Mantar  |    | 5.1             | Hy-Fi Kulesi            | X             |                |                         |               |                   |              |                               |                            | X                         |                    |               |             |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.2             | MycoTree                | X             |                |                         |               |                   |              |                               |                            | X                         |                    |               |             |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.3             | Büyüyen Pavyon          |               |                |                         |               |                   | X            |                               |                            | X                         |                    |               |             |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.4             | Protomycokion           |               | X              |                         |               |                   |              |                               |                            | X                         |                    |               |             |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                | Bitki   |   | 5.5             | Meghalaya Kök Köprüleri |               | X              |                         |               |                   |              |                               |                            | X                         |                    |               |             |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.6             | Baubotanik Kulesi       |               | X              |                         |               |                   |              |                               |                            | X                         |                    |               |             |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.7             | Biyokonak Beton Panel   |               |                |                         |               |                   | X            |                               |                            |                           |                    | X             |             |            | X                       |                | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.8             | Biyokonak GRC Panel     |               |                |                         |               |                   | X            |                               |                            |                           |                    | X             |             |            | X                       |                | X                  | X           |                |
|                | Hayvan  |  | 5.9             | İpek Pavyonu            |               |                |                         | X             |                   |              |                               |                            | X                         |                    |               |             |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.10            | İpek Pavyonu II         |               |                |                         | X             |                   |              |                               |                            | X                         |                    |               |             |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
| Mikroorganizma | Bakteri |  | 5.11            | Kendini Onaran Beton    |               | X              |                         |               |                   |              |                               |                            |                           | X                  |               |             |            |                         |                | X                  | X           | X              |
|                |         |                                                                                     | 5.12            | Kolon 21                |               | X              |                         |               |                   |              |                               |                            |                           | X                  |               |             |            |                         |                | X                  | X           | X              |
|                |         |                                                                                     | 5.13            | Probiyotik Paneller     |               |                |                         |               |                   | X            |                               |                            |                           |                    | X             |             |            | X                       |                | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.14            | H.O.R.T.U.S. XL         |               |                | X                       |               |                   |              |                               |                            |                           |                    |               | X           |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.15            | Imprimer La Lumiere     |               |                |                         |               |                   |              |                               | X                          |                           |                    |               | X           |            | X                       |                | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.16            | BiolumReef              |               |                |                         |               |                   |              |                               | X                          |                           |                    |               | X           |            | X                       |                | X                  | X           |                |
|                | Alg     |  | 5.17            | BIQ                     |               |                |                         |               |                   |              | X                             |                            |                           |                    |               | X           |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.18            | Urban Algae Folly       |               |                |                         |               | X                 |              |                               |                            |                           |                    |               | X           |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.19            | Alg Kubbesi             |               |                |                         |               | X                 |              |                               |                            |                           |                    |               | X           |            | X                       | X              | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.20            | Biyokonak Beton         |               | X              |                         |               |                   |              |                               |                            |                           |                    | X             |             |            | X                       |                | X                  | X           |                |
|                |         |                                                                                     | 5.21            | AirBubble               |               |                | X                       |               |                   |              |                               |                            |                           |                    |               | X           |            | X                       | X              | X                  | X           |                |



Şekil 6.1 İncelenen örneklerde yararlanılan canlı organizmaların kullanılan biyoyararlanma stratejilerine göre dağılımı



Şekil 6.2 İncelenen örneklerde yararlanılan canlı organizmaların biyomalzeme üretim olanaklarına göre dağılımı

Örnekler yapıda kullanımlarına göre incelendiğinde; taşıyıcı sistem, yapı malzemesi ve yapı elemanı olarak farklı kullanım olanakları görülmektedir (Şekil 6.2). Mantarlardan yararlanılarak üretilen yapı bileşenlerinin (tuğla, blok) bir araya gelerek kendini taşıma özelliği kazandığı uygulama örnekleri taşıyıcı sistem içinde değerlendirilmiştir. Mantar ve bakterilerin kullanıldığı, yapısal kolonu doğrudan üretme veya malzemeyi geliştirerek yapısal dayanım kazandırma çalışmaları da bu alana dahil edilmiştir. Bitkilerden üretilmiş kök köprüleri ve bitki kuleleri ise canlı organizmanın tüm strüktürü kendisinin meydana getirdiği taşıyıcı sistemlere örnek olmaktadır.

Canlı organizmalar aracılığıyla yapı malzemesi üretiminde; malzeme karışımına bakterilerin eklenmesi ile betona kendini onarma özelliği kazandırılmış, alglerin eklenmesiyle ise biyokonaklama özelliği kazandırılmıştır. Böylece malzemelerin üretim, kullanım ve geri dönüşüm süreçleri çevreye karşı daha duyarlı bir hale getirilmiştir. Bakteri ve algler ile üretilen yapısal dolgu malzemeleri ise yapı elemanlarının içinin fotosentez yapabilen canlılar ile doldurulması ve bu sayede mekanın iç hava kalitesinin artırılmasının sağlanması amacıyla geliştirilmiştir.

İncelenen örneklerle göre değerlendirildiğinde biyomalzemelerin yapı elemanı olarak kullanılma ihtimalleri daha geniştir. Burada özellikle cephe elemanı olarak kullanımları yoğunlaşmıştır. Hayvanların (ipek böceği) kullanıldığı iki çalışmada da üretilen malzemenin yapı kabuğu işlevinde kullanılması öngörülmektedir. Cephe paneli üretiminde mantarlar, bitkiler ve bakterilerden yararlanılmıştır. Bu üretim yönteminde canlı organizma organik veya inorganik başka bir malzeme ile etkileşime girerek malzeme üzerinde çoğalmış, büyümüş ve malzeme niteliğini geliştirmiştir. Cephe elemanı olarak bir başka kullanım olanağı olan gölgeleme elemanı üretiminde ise alglerden yararlanılmıştır. Alglerin çoğalarak arttırdıkları biyokütleleri yapı üzerindeki boş hacimleri doldurarak gölgeleme elemanına dönüşmüştür. Bakterilerin biyoyıstılama yeteneğinden yararlanılarak üretilmek üzere geliştirilen yapısal aydınlatma elemanı projeleri ise canlı organizmaların yapı elemanı olarak kullanıma diğer örnekler olmuştur.

Tez içerisinde mimaride biyoyararlanma yaklaşımı ile mimari uygulamalara geçiş sürecinde;

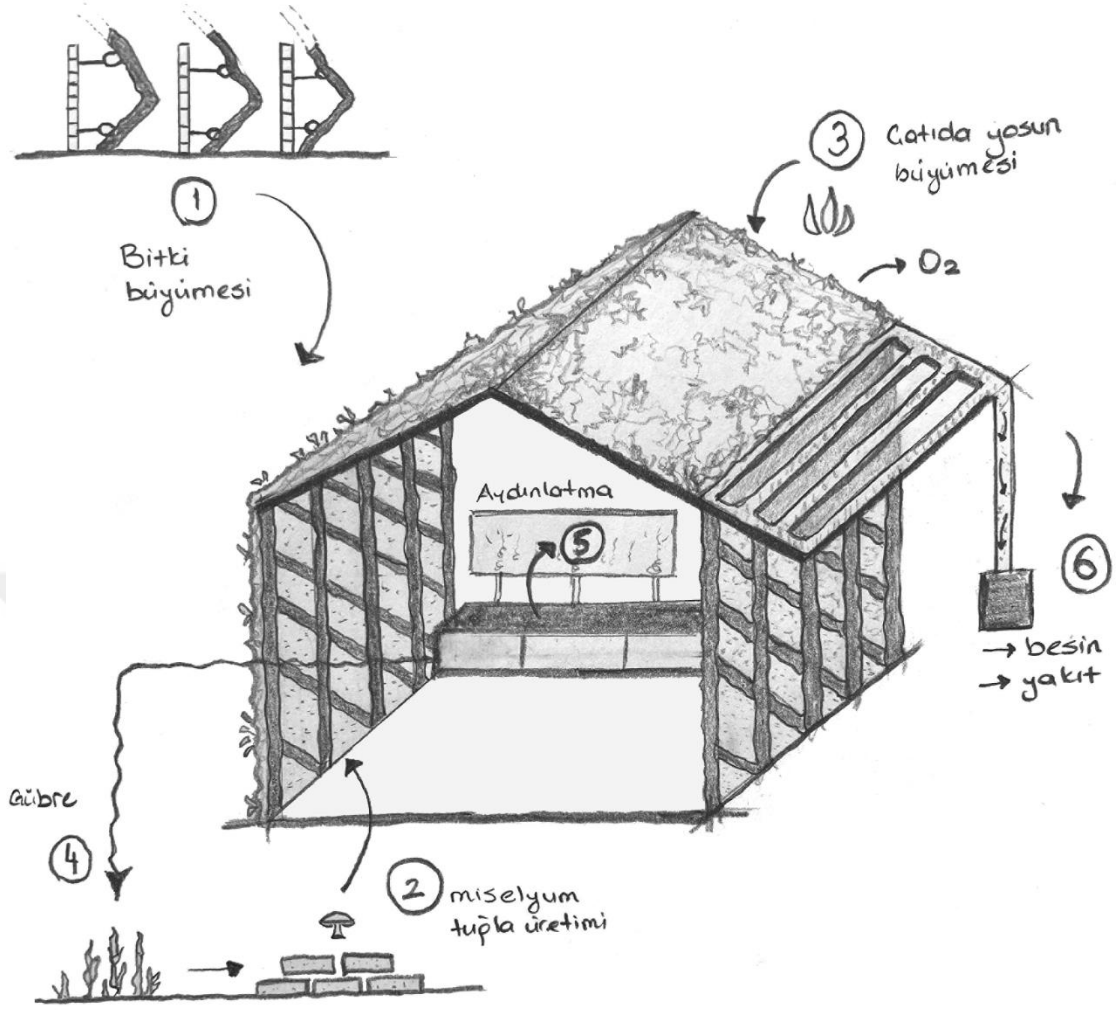
- canlı organizmalar ile çalışmanın detayları
- izlenecek stratejiler
- üretilebilecek yapı elemanı/malzemesi olanakları
- bu süreçler sonucunda sağlayacağımız çevresel kazanımları

kapsayan bir çalışma yapılmıştır.

Değerlendirme tez kapsamında incelenmiş çalışmalar ile sınırlıdır. Ancak canlı organizmalar ile çalışmak sınırları ve ihtimalleri çok geniş bir çalışma alanıdır. Canlı organizmaları mimariye dahil eden farklı güncel uygulamalar da bulunmaktadır. Tez içerisinde incelenemediğimiz kentsel tarım (urban farming) örnekleri gelecekte yaygınlaşması beklenen uygulamalardandır. Bu uygulamalar bina çatılarında ve cephelerinde yapılan tarım uygulamaları, bu sistemlerin binanın atık su/yağmur suyu ve biyokütle enerjisi kullanımı sistemleri ile entegre edilmesi gibi seçenekleri barındırmaktadır. Buna ek olarak mimaride canlı organizmalardan yararlanma konusu dünyanın yaşam dengelerinin tamamen değiştiği, doğal kaynakların büyük ölçüde tahrip edildiği ve yeni bir yaşama ve inşa etme düzenine gitmek zorunda kalacağımız gelecek senaryoları için de bir çözüm yolu olabilir. Bu sebeple çalışma şu ana kadar yapılmış çalışmalar üzerinden bir sınıflandırma belirlemiş olsa da gelecekte keşfedilen yeni stratejilerin ve yeni yapısal kullanım olanaklarının olacağı muhtemeldir.

Gelecekte bir yapının yapım sürecinden başlayarak tüm kullanım süreci boyunca canlı organizmalardan yararlanılacak sistemler geliştirilebilir. Bu fikir ile üretilcek bir binanın taşıyıcı sistemi tamamen bitki gövdelerinden meydana gelebilir. Bitki gövdelerini, taşıyıcılık hesapları önceden yapılmış bir taşıyıcı sisteme dönüştürme işlemi robotik sistemlerin bitki büyümesini yönlendirmesi ile gerçekleştirilebilir (Şekil 6.3 (1)).

Yakın çevredeki bir tarım arazisinde temin edilecek tarımsal atıklar ile yapının taşıyıcı sistemi arasındaki boşlukları dolduracak miselyum bloklar üretilebilir (Şekil 6.3 (2)).



Şekil 6.3 Canlı organizm alardan yararlanma ile kurgulanmış bir yapı önerisi

Organik malzemelerden oluşmuş bu yapının bu yapının yüzeyleri yosun gibi kriptogam canlıların yaşaması için elverişlidir. Yapı kabuğu üzerinde bu canlıların büyümesi çeşvik edilerek doğal bir yalıtım katmanı oluşması sağlanabilir (Şekil 6.3 (3)).

Evsel atıkların gübreye dönüşmesinde bakterilerden yararlanılan bir sistem kurularak oluşan gübreler ile bahçede tarım yapılabilir. Yapılan tarım ile oluşacak tarımsal atıklar da yakındaki başka bir yapının miselyum bloklarını üretmek için kullanılabilir (Şekil 6.3 (4)). Ek olarak yapıdaki evsel atıkların metan gazından beslenen biyoşıldayan bakterilerden yararlanılan bir mekan aydınlatma sistemi kurulabilir (Şekil 6.3 (5)).

Yapının güney cephesinde kullanılan mikroalg tüpleri güneşli günlerde mikroalg kütlesini  o altarak bir gölgeleme elemanına dönüőecektir. Gün sonunda kazanılan biyokütle, gıda maddesi olarak t k tilebilir ya da yapıda yakıt olarak kullanılabilir (Şekil 6.3 (6)).

Tüm çalışmanın sonucunda unutmamamız gereken őey, canlı organizmalar ile çalışırken yapılacak küçük müdahalelerin bile beklenmeyen büyük sonuçları olabileceğidir. Yine de canlı organizmalardan küçük ölçekte ya da tasarımın tamamını kapsayacak büyük ölçekte yararlanmak, her ihtimalde mimari süreçlerimizin çevreye etkisini olumlu yönde etkileyecektir.





## KAYNAKLAR

- Adamatzky, A. (2016). Slime Mould Approximates Longest Roads in USA and Germany: Experiments on 3D Terrains. *Advances in Physarum Machines, Emergence, Complexity and Computation 21*. Springer International Publishing Switzerland 2016, 311-335.
- Adamatzky, A., Ayres, P., Belotti, G. ve Wösten, H. (2019). *Fungal architecture*. Reseachgate.
- Adamatzky, A. ve Ilachinski, A. (2012). Slime Mold Imitates the United States Interstate System. *Complex Systems*, March 2012.
- Alemu, D., Tafesse, M. ve Mondal, A. K. (2022). Mycelium-based composite: The future sustainable biomateria. *International Journal of Biomaterials*, 2022.
- Amiri, A. ve Başaran Bundur, Z. (2019). Kimyasal katkı malzemelerinin biyomineralizasyon ile kendiliğinden iyileşen çimento-esaslı malzemelerin performansına olan etkisi. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 2019, 2(1), 38-49.
- Aparicio, C. (Ed.) ve Ginebra, P. (Ed.). (2015). *Biomineralization and biomaterials: Fundamentals and applications*. Woodhead Publishing.
- Arup, (2015). *SolarLeaf. Worldwide first façade system to cultivate micro-algae to generate heat and biomass as renewable energy sources*. 24 Mayıs 2021, <https://www.arup.com/projects/solar-leaf>.
- Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., ve Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246. 1 Nisan 2022, Elsevier.
- BBC, (2020). *Fountainstown Beach: Bioluminescent plankton light up Cork beach*. 21 Mayıs 2021, <https://www.bbc.com/news/world-europe-53814226>.

- Beckett, R. (2021). Probiotic design. *The Journal of Architecture*, 26, 1, 6-31, doi: 10.1080/13602365.2021.1880822
- Bader, C. (2020). *Silk Pavilion II*. 23 Aralık 2021, <https://www.behance.net/gallery/100474999/Silk-Pavilion-II>.
- Berg, J. ve Konings, B. (2019). The growing pavillion. *Material atlas*. Amsterdam: Company New Heroes.
- Beyer, B., Suarez, D. ve Palz, N. (2019). Microbiologically activated knitted composites. *Reimagining a column for the 21st century. Matter – Material Studies and Innovation*, 2, 541-552.
- Boyer, M. (2014). *Philip Ross Molds Fast-Growing Fungi Into Mushroom Building Bricks That Are Stronger than Concrete*. 1 Nisan 2022, <https://inhabitat.com/phillip-ross-molds-fast-growing-fungi-into-mushroom-building-bricks-that-are-stronger-than-concrete/>.
- Brugidou, J. ve Clouette, F. (2018). ‘AnthropOcean’: Oceanic perspectives and cephalopodic imaginaries moving beyond land-centric ecologies. *Social Science Information* 57(3), 359-385.
- Chayaamor-Heil, C. ve Vitalis, L. (2020). Biology and architecture: An ongoing hybridization of scientific knowledge and design practice by six architectural offices in France. *Frontiers of Architectural Research*. 22 Aralık 2022, ScienceDirect.
- Coyne, M. (2023). Bioremediation. Salem Press Encyclopedia, 2023, Research Starters.
- Cruz, M. (2017). *Bioreceptive concrete facades*. 09 Eylül 2023, <https://marcoscruzarchitect.blogspot.com/2017/10/bioreceptive-concrete-facades-design.html>.
- Cruz, M. ve Beckett, R. (2016). Bioreceptive design: a novel approach to biodigital materiality. *Arq*, 20 (1), 51-64.

- Çelebi Toprak, F., Kara, Y., Alan, A. R., Kara, İ. ve Toprak, S. (2014). Eco-biyoteknoloji akademik ders biyoremediasyonda gelişmeler. *Eco-Center*, 2014-1-BG01-KA204-001645.
- Dade-Robertson, Ramirez-Figueroa ve Hernan, (2017). Biomaterialism: Experiments in biological material computation. *Proceedings of the 3rd Biennial Research Through Design Conference, 22-24 March 2017, Edinburgh, UK, Article 19*, 292-307.
- Demirbaş, A. (2010). Biorefineries for biomass upgrading facilities. *Green energy and technology. Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-721-9>
- Desjardin, Oliveira ve Stevani, (2008). Fungi bioluminescence revisited. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2008, 7, 170–182.
- Dessi-Olive, J. (2019). Monolithic mycelium: growing vault structures. *18th International conference on non-conventional materials and technologies “Construction Materials and Technologies for Sustainability”*.
- Distributed Design, (b.t.). *Protomycokion*. 14 Nisan 2022, <https://distributeddesign.eu/awards/entries/protomycokion/>.
- Doğru, M. (2022). *Yeşil Cepheler, Dikey Bahçeler ve Çatılar Nedir?* 26 Aralık 2022, <https://www.ecobuild.com.tr/post/ye%C5%9Fil-cepheler-dikey-bah%C3%A7eler-ve-%C3%A7at%C4%B1lar-nedir>.
- Ecologicstudio, (2015). *Algae Folly: BioCities / algae / architecture / cyber-Gardens / food / responsive systems / soft cladding*. 15 Mart 2022, <http://www.ecologicstudio.com/v2/project.php?idcat=3&idsubcat=71&idproj=147>
- Ecologicstudio, (2017). *Bio.Tech HUT*, 10 Eylül 2023, <https://www.ecologicstudio.com/projects/biotechhut>.
- Ecologicstudio, (2019). *H.O.R.T.U.S. XL: algae / architecture / bio-computation / cyber-Gardens*. 16 Mart 2022, <http://www.ecologicstudio.com/v2/project.php?idcat=7&idsubcat=59&idproj=177>

- Ecologicstudio, (2021). *Air Bubble: Air-Purifying Eco-Machine*. 13 Şubat 2022, <https://www.ecologicstudio.com/projects/air-bubble-air-purifying-eco-machine>.
- Ecovative, (b.t.). 13 Nisan 2022, <https://ecovative.com/>.
- Elcik, H. ve Çakmakcı, M. (2017). Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (3) (2017), 795-820.
- Encyclopaedia Britannica, (2020). *Fungus*. 12 Nisan 2022, <https://www.britannica.com/science/fungus>.
- Frearson, A. (2017a). *Fungus used to build arching pavilion in Kerala*. 12 Nisan 2022, <https://www.dezeen.com/2017/08/26/shell-mycelium-fungus-pavilion-beetles-3-3-yassin-arredia-design-kerala-india/>.
- Frearson, A. (2017b). *Tree-shaped structure shows how mushroom roots could be used to create buildings*. 4 Nisan 2022, <https://www.dezeen.com/2017/09/04/mycotree-dirk-hebel-philippe-block-mushroom-mycelium-building-structure-seoul-biennale/#/>.
- Gonzales Veron, A. C., Ibarria, M. M. ve Lopez, E. G. (2013). Bioluminescent algae and possible implications in architectural design. *PLEA2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, Münih, Almanya 10-12 Eylül 2013*.
- Green Product Award, (2021). *Mycelium biomaterials for sustainable construction*. 16 Haziran 2021, <https://www.gp-award.com/en/produkte/protomycokion>.
- Grundhauser, E. (2016). 8 Extraordinary Pieces of Architecture Grown From Living Trees. *Atlas Obscura*, 20 Aralık 2022, <https://www.atlasobscura.com/articles/8-extraordinary-pieces-of-architecture-grown-from-living-trees>.
- Gubb, C., Blanusa, T., Griffiths, A. ve Pfrang, C. (2022). Potted plants can remove the pollutant nitrogen dioxide indoors. *Air Quality, Atmosphere & Health* (2022) 15, 479–490.

- Guillette, O. (1995). Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies. *The Science of the Total Environment* 167 (1995) 215-220.
- Gupta, S. ve Kua, H. (2016). Encapsulation Technology and Techniques in Self-Healing Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Temmuz 2016.
- Haddock, S. H. D., Moline, M. A. Ve Case, J. F. (2010). Bioluminescence in the Sea. *Annual Review of Marine Science*, Ocak 2010.
- Hebel, E. D., Wisniewska, M. H. ve Heisel, F. (2014). *Building from Waste: Recovered Materials in Architecture and Construction*. Almanya: Birkhauser Verlag GmbH.
- Heinrich, M. K., Mammen, S. V., Hofstadler, D. N., Wahby, M., Zahadat, P., Skrzpczak, T., Soorati, M. D., Krela, R., Kwiatkowski, W., Schmickl, T., Ayres P., Stoy, K. Ve Hamann, H. (2019). Constructing Living Buildings: A Review of Relevant Technologies for a Novel Application of Biohybrid Robotics. *Journal of The Royal Society Interface*, Temmuz 2019.
- Heisel, F., Lee, J., Saedi, N., Hebel, D. E., Schlesier, K., Rippmann, M., Javadian, A. Ve Block, P. (2017). Design of a load-bearing mycelium structure through informed structural engineering: The MycoTree at the 2017. *Seoul Biennale of Architecture and Urbanism*.
- Heveran, C. M., Williams, S. L., Qiu, J., Artier, J., Hubler, M. H., Cook, S. M., Cameron, J. C. ve Srubar III, W. V. (2020). Biomineralization and successive regeneration of engineered living building materials. *Matter* 2, Şubat 5 2020, 481–494.
- Hitti, N., (2019). *Bastian Beyer uses bacteria to calcify knitting into construction materials*. 12 Temmuz 2021, <https://www.dezeen.com/2019/01/16/bastian-beyer-knitted-design-material/>.
- Ingham, L. (b.t.). *Living architecture: growing buildings from bacteria*. 13 Haziran 2023, [https://designbuild.nridigital.com/design\\_build\\_review\\_feb20/living\\_architecture\\_growing\\_buildings\\_bacteria#headline](https://designbuild.nridigital.com/design_build_review_feb20/living_architecture_growing_buildings_bacteria#headline).

- Jain, R., Taylor, J. E. ve Peschiera, G. (2012). Assessing eco-feedback interface usage and design to drive energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*, 48, 2012, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.033>
- Joachim, M. (2015). *Terreform One* [Video]. *Institute for Advanced Architecture in Catalonia Lecture Series*. 22 Aralık 2021, <https://www.youtube.com/watch?v=6tNaGkfGdd4&list=PL7D76FBDFCD373C5A&t=9s>.
- Jonkers, H. M. (2017). Limestone-producing Bacteria: Self-healing Concrete. D. E. Hebel (Ed.), F. Heisel (Ed.), *Cultivated building materials: industrialized natural resources for architecture and construction* (1. Baskı) içinde (141-147). Almanya: Birkhäuser Verlag GmbH.
- Jonsson, R. (2011). *Philips Bio-light concept lights the home using bacteria*, 10 Eylül 2023, <https://newatlas.com/philips-bio-light-concept-taps-bioluminescence-for-home-use/20632/>.
- Kale, İ., Akyol Altun, D., Özbakan, F., Köktürk, G. Tokuç, A., Can, İ. D., Şendimir, A. Ve Andıç Çakır. Ö. (2019). Cıvık mantarların kentsel tasarımda kullanımı.4. *Uluslararası Mühendislik ve Tasarım Kongresi*.
- Kaynarkaya, S. ve Çağdaş, G. (2020). Sürü Zekâsı Yaklaşımı İle Metro Hatlarının Değerlendirilmesi. *JCoDe*, 1 (3), 17-48.
- Keskin, T., Deniz, İ., Arıç, A., Yılmazsoy, B. T., Andıç-Çakır, Ö., Erdoğan, A., Altun, D., Tokuç, A., Demirci, B. F., Sendemir-Ürkmez, A., Köktürk, G. ve Özbakan, F. (2019). Development of Ecological Biodesign Products by Bacterial Biocalcification. *EJENS*, 3 (1), 17-25.
- Kırbaş Akyürek, B. (2021). *In-between living and manufactured: An exploratory study on biobuilding components for building design*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kıyan, M. (b.t.). Bakterilerin metabolizması izolasyon (üretme) ve identifikasyon (tanımlama) yöntemleri. *Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri*. 27 Şubat



2023,

<https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=24416&forceview=1>.

Kobayashi, M., Kikuchi, D. ve Okamura, H. (2009), Imaging of ultraweak spontaneous photon emission from human body displaying diurnal rhythm. *PLoS ONE*, 4(7).

Lee, (2008). Bioluminescence: the First 3000 Years (Review). *Journal of Siberian Federal University. Biology* 3 (2008 1), 194-205.

Ludwig, F. (2014). *BAUBOTANIK - Designing Growth Processes*. Symposium "Form-Rule | Rule-Form 2014", 17. & 18.01.2014 University of Insbruck.

Magaraggia, F. (2019). *H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin.g*. 15 Mart 2022, <https://www.behance.net/gallery/77719763/HORTUS-XL-Astaxanthin.g>.

Maloney, R. (2014). *Hy-Fi reinvents the brick*. 23 Aralık 2021, <https://www.arup.com/news-and-events/hyfi-reinvents-the-brick>.

Manso, S., Calvo, M. A., Aguado, A. ve Belie, N. (2016). Sustainable cements in construction: magnesium phosphate cements to stimulate colonization by photosynthetic organisms of building materials. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*. 6(2), 139-148.

Manuel, K. (2013). *Bioluminescence: the visible creation of light by an organism through a biochemical reaction*. 06 Ocak 2022, <http://materiability.com/bioluminescence/>.

Marsaglia, V., Brusa G. ve Paoletti, I. (2023). Moss as a multifunctional material for technological greenery systems. *The Plan Journal*, 8, 1, 85-144.

Media Mit Edu, (2013). *Silk Pavilion*. 23 Aralık 2021, <https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion/overview/>.

Media Mit Edu, (2020). *Silk Pavilion II*. 23 Aralık 2021, <https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion-ii/overview/>.

- Menges, A. (2015). Fusing the Computational and the Physical: Towards a Novel Material Culture. *Architectural Design*, 85(5), 9-15.
- Montana-Hoyos, C. ve Fiorentino, C. (2016). Bio-utilization bio-inspiration and bio-affiliation in design for sustainability: Biotechnology, biomimicry and biophilic design. *The International Journal of Designed Objects*, 10 (3).
- Montjoy, V. (2022). *Can Exterior Green Walls Contribute to a Carbon Neutral Architecture?* 26 Aralık 2022, <https://www.archdaily.com/978695/can-exterior-green-walls-contribute-to-a-carbon-neutral-architecture>.
- Morris, A. (2017). *IKEA lab Space10 creates algae-producing pavilion in Copenhagen*. 15 Mart 2022, <https://www.dezeen.com/2017/09/10/ikea-space10-algae-producing-pavilion-copenhagen/>.
- Mosse, A. (2021). *Imprimer La Lumière*. 18 Şubat 2022, <https://jpo.ensad.fr/imprimer-la-lumiere-soft-matters-aurelie-mosse/>.
- Mustafa, K. F., Prieto, A. ve Ottele, M. (2021). The role of geometry on a self-sustaining bio-receptive concrete panel for facade application. *Sustainability* 2021, 13, 7453.
- Myers, W. (2018). *Biodesign: Nature + science + creativity*. Londra: Thames&Hudson.
- Mykoworks, (b.t.). 14 Nisan 2022, <https://www.mycoworks.com/>.
- Ndion, (2021). *3d pioneers challenge. finalists announced*. 14 Nisan 2022, <https://ndion.de/en/3d-pioneers-challenge-finalists-announced/>.
- Oxman, N. (2015). Templating design for biology and biology for design. *Architectural design*, 85 (5), 100–107.
- Oxman, N. (2020). *Silk Pavilion II*. 23.12.2021, <https://oxman.com/projects/silk-pavilion-ii>.
- Oxman, N., Laucks J., Kayser, M., Duroroyo J. Ve Uribe G. (2014). *A case study in fibre-based digital fabrikation*. Fabricate 2014, UCL Press, sf 248-255.

- Pownall, A. (2019). *Pavilion grown from mycelium acts as pop-up performance space at Dutch Design Week*. 4 Nisan 2022, <https://www.dezeen.com/2019/10/29/growing-pavilion-mycelium-dutch-design-week/>.
- Poznyak, Oria ve Poznyak, (2019). Biodegradation. *Ozonation and Biodegradation in Environmental Engineering Dynamic Neural Network Approach*, 2019, 353-388. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812847-3.00023-8>.
- Pragya, N., Pandey, K. K. ve Sahoo, P. K. (2013). A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae. *Renewable and sustainable energy reviews*, 24 (2013), 159–171.
- Ramirez-Figueroa, C. ve Beckett, R. (2020). Living with buildings, living with microbes: probiosis and architecture. *Arq*, vol 24, no 2, 2020. 155-168. doi: 10.1017/S1359135520000202.
- Rashid, N., Rehman, M. S. U., Sadiq, M., Mahmood, T. ve Han, J. (2014). Current status, issues and developments in microalgae derived biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40 (2014), 760–778.
- Roedel, C. ve Petersen, J.P. (2013). *IBA-Hamburg. Smart Material House-BIQ*. 24 Mayıs 2021, [https://www.ibahamburg.de/fileadmin/Mediathek/Whitepaper/130716\\_White\\_Paper\\_BIQ\\_en.pdf](https://www.ibahamburg.de/fileadmin/Mediathek/Whitepaper/130716_White_Paper_BIQ_en.pdf).
- Scott, R. (2013). *Silk Pavilion / MIT Media Lab*. 23 Aralık 2021, [https://www.archdaily.com/384271/silk-pavilion-mit-media-lab?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab&ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.archdaily.com/384271/silk-pavilion-mit-media-lab?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all).
- Shchepetkov, N. (2016). Energy efficiency in architecture – a Technical obstacle or a chance to find new forms? *MATEC Web of Conferences* 7, 06002 (2016) TPACEE-2016. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20167306002>

- Speck, T., Knippers, J. ve Speck, O. (2015). Self-X Materials and Structures in Nature and Technology: Bio-inspiration as a Driving Force for Technical Innovation. *Architectural Design*, 85(5), 34-39.
- Stevens, P., (2014). *MoMA PS1: Hy-Fi by the living*. 11 Temmuz 2021, [//www.designboom.com/architecture/hy-fi-the-living-davidbenjaminmoma-ps1-young-architects-program](http://www.designboom.com/architecture/hy-fi-the-living-davidbenjaminmoma-ps1-young-architects-program).
- Thomsen, M. R., Tamke, M., Mosse, A. ve Tyse, G. (2021). Designed substrats for living architecture performance. imprinter la lumiere. *International Conference Construction, Energy, Environment and Sustainability, 12-15 October 2021, Portugal*.
- Thomsen, M. R., Tamke, M., Mosse, A., Sieder-Smelitsch, J., Bradshaw, H., Buchwald, E. F. ve Mosshammer, M. (2021). *Imprimer La Lumiere – 3D Printing Bioluminescence for Architectural Materiality*. Proceedings of the 2021 DigitalFUTURES, 305–315, 2022.
- Tonevitskaya, S. (2018). *When mushrooms go in the lab: growing design*. 13 Nisan 2022, <https://medium.com/@stonev/when-mushrooms-go-in-the-lab-growing-design-882bff633aa8>.
- Tziviloglou, E., Wiktor, V., Jonkers, H. M. ve Schlangen, E. (2016). Experimental Techniques Applied on Bio-Based Self-Healing Mortar to Assess Material Performance and Healing Efficiency. *HealCON-conference, 28-29 November, 2016, Delft, The Netherlands*.
- University College London, (b.t.). *Building greener cities with poikilohydric living walls*, 10 Eylül 2023, <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/architecture/about-us/innovation-enterprise/building-greener-cities-poikilohydric-living-walls>.
- Vallas, T ve Courard, L. (2017). Using nature in architecture: Building a living house with mycelium and trees. *Frontiers of architectural research*, 6 (3), 318-328.

- Veeger, M., Ottele, M. ve Prieto, A. (2021). Making bioreceptive concrete: Formulation and testing of bioreceptive concrete mixtures. *Journal of Building Engineering*.
- Vikipedi Özgür Ansiklopedi, (2022a). *Bakteri*. 23 Şubat 2023, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Bakteri> (10:20, 25 Ocak 2023).
- Vikipedi Özgür Ansiklopedi, (2022b). *Bitki*. 19 Aralık 2022, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Bitki> (23:56, 3 Aralık 2022).
- Vikipedi Özgür Ansiklopedi, (2023a). *Canlı*. 19 Aralık 2022, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Canlı> (08:42, 25 Ocak 2023).
- Vikipedi Özgür Ansiklopedi, (2023b). *Fotosentez*. 23 Şubat 2023, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Fotosentez> (5:17, 26 Ocak 2023).
- Vikipedi Özgür Ansiklopedi, (2023c). *Mineralize dokular*. 13 Haziran 2023, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Mineralize\\_dokular](https://tr.wikipedia.org/wiki/Mineralize_dokular) (09.32, 2 Nisan 2023).
- Villa, D. (2019). *The world's first 3D Printed biodigital living sculputers featuring at the Centre Pompidou in Paris*. 16 Mart 2022, <https://www.3dwasp.com/en/the-worlds-first-3d-printed-biodigital-living-sculputers-featuring-at-the-centre-pompidou-in-paris/>.
- Wikipedia The Free Encyclopedia, (2021). *Materialization*. 02 Mart 2023, <https://en.wikipedia.org/wiki/Materialization> (08:16, 30 Aralık 2021).
- Wikipedia The Free Encyclopedia, (2023) *Cryptogam*. 08 Haziran 2023, [https://en.wikipedia.org/wiki/Cryptogam#:~:text=A%20cryptogam%20\(scientific%20name%20Cryptogamae,spores%2C%20without%20flowers%20or%20seeds](https://en.wikipedia.org/wiki/Cryptogam#:~:text=A%20cryptogam%20(scientific%20name%20Cryptogamae,spores%2C%20without%20flowers%20or%20seeds) (17:01, 26 Şubat 2023).
- Wilson, T. V., (2021). *How Bioluminescence Works*. 26 Ocak 2022, <https://animals.howstuffworks.com/animal-facts/bioluminescence3.htm>.

- Wolverton, B. C., Johnson, A. ve Bounds, K. (1989). Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. *NASA John C. Stennis Space Center Science and Technology Laboratory Stennis Space Center*.
- World Architecture, (2020). *Neri Oxman's Mediated Matter Group Releases The Process Of Silk Pavilion II Spun By 17,532 Silkworms*. 23 Aralık 2021, <https://worldarchitecture.org/architecture-news/effnz/neri-oxman-s-mediated-matter-group-releases-the-process-of-silk-pavilion-ii-spun-by-17-532-silkworms.html>.
- Wurm, J. (b.t.). Summary Report. Research Report. Ventilated facade system with integrated photobioreactors. *Project Management - Schneider, C. (Editor.)*, [https://www.irbnet.de/daten/kbf/kbf\\_e\\_F\\_2856.pdf](https://www.irbnet.de/daten/kbf/kbf_e_F_2856.pdf), 23 Mayıs 2021.
- Yılmaz, O., Ertürk, Y. E., Coskun, F. ve Ertuğrul, M. (2015). Biology of Silkworm (Bombyx Mori) in Turkey. *International Symposium for Agriculture and Food. Ohrid, Macedonia, October 2015*.
- Zhu, L. (2015). Biorefinery as a promising approach to promote microalgae industry: An innovative framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41 (2015), 1376–1384.