MİMARLIKTA BİYOMALZEMELERİN KULLANIMI: SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOKLARIN PERFORMANSININ MİKORİZAL MANTAR KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ

Aydan Ataç

Lisansüstü Programlar Enstitüsü
Mimarlık Tarihi, Teorisi ve Eleştirisi
Yüksek Lisans Programı

İstanbul Bilgi Üniversitesi
2019

MİMARLIKTA BİYOMALZEMELERİN KULLANIMI: SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOKLARIN PERFORMANSININ MİKORİZAL MANTAR KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ

USE OF BIOMATERIALS IN ARCHITECTURE: IMPROVING THE PERFORMANCE OF RAMMED-EARTH BLOCKS USING MYCORRHIZAL FUNGI

AYDAN ATAÇ
117803005

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Fulya Akipek .....
(İstanbul Bilgi Üniversitesi)

Jüri Üyesi: Doç. Dr. A. Tuğrul Yazar .....
(İstanbul Bilgi Üniversitesi)

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Ayşen Ciravoğlu .....
(Yıldız Teknik Üniversitesi)

ONAYLANMA TARİHİ: 10.06.2019

TOPLAM SAYFA SAYISI: 79

ANAHTAR KELİMELER:
1) Biyomalzemeler
2) Ekoloji
3) Tasarım Araştırmaları
4) Sıkıştırılmış Toprak Tekniği
5) Mikoriza

KEYWORDS:
1) Biomaterials
2) Ecology
3) Design Research
4) Rammed Earth Technique
5) Mycorrhiza

TEŞEKKÜR

Tezin her aşamasında bilgilerini, yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, pozitif tavrıyla beni yüreklendiren tez danışmanım Dr. Fulya Akipek'e;

Disiplinler arası alan çalışması kapsamında bilgi ve deneyimlerini esirgemeyip sorularımı cevapsız bırakmayan, değerli vakitlerini benimle paylaşan İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümü Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hatice Gülen'e ve İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkan Yardımcısı Dr. Muammer Özbek'e;

Disiplinler arası alan çalışması kapsamında kullandığım mikorizal mantarı temin etmemi sağlayan Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü akademisyenlerinden Prof. Dr. İbrahim Ortaş'a;

Disiplinler arası alan çalışması kapsamında alker tekniği ile ilgili bilgi ve deneyimlerini aktaran Mimar Özgül Öztürk'e;

İstanbul Bilgi Üniversitesi Bitki Biyoteknolojisi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen deneylerde değerli vaktini ayırıp deneyleri tamamlamamda yardımcı olan İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümü lisans öğrencilerinden Ayşe Aydan Taşkınlar'a;

Hayatım boyunca attığım her adımda beni destekleyen, sabır ve anlayış gösteren canım babam Ahmet Ataç'a ve canım annem İlknur Ataç'a, anlayışı için canım kardeşim Nurdan Ataç'a çok teşekkür ediyorum.

ÖZET

MİMARLIKTA BİYOMALZEMELERİN KULLANIMI: SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOKLARIN PERFORMANSININ MİKORİZAL MANTAR KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ

Mimarlıkta ana akım ekolojik yaklaşımlar içinde biyomalzemeler, sürdürülebilir malzeme üretimi konusundaki tasarım araştırmalarının bir parçasıdır. Disiplinler arası çalışmaları gerekli kılan biyomalzeme araştırmaları temelde mimarlık ve biyoloji disiplinlerinin ara kesitinde bir çalışma alanıdır. Bu alan içinde ekolojik performans, canlı organizmaların biyolojik süreçlerinin mimari tasarıma entegre edilmesi yoluyla sağlanmaktadır. Ekolojik mimari tasarımda önemli bir bileşen olan sürdürülebilir malzeme üretimi için biyomalzemelerin kullanımı sayısal tasarım ve üretim teknolojileri bakış açısından ortak bir dil kurmaktadır. Tez kapsamında mimarlıkta ekolojik yaklaşımlar doğa – tasarım – teknoloji ilişkileri açısından ele alınmış; biyomalzemelere dayalı mimari üretim süreçleri incelenmiş; sıkıştırılmış toprak yapıların sayısal tasarım ve üretim teknolojileriyle entegre olduğu tasarım süreçleri incelenmiş ve sıkıştırılmış toprak tekniğinin mikorizal mantar ile ilişkilendirildiği bir alan çalışması yapılmıştır. Tezde yöntem olarak ön araştırma yapma, örnek proje inceleme ve disiplinler arası bir alan çalışması yapma adımları izlenmiştir. Çalışmanın ana hedefi, biyomalzemeler gibi disiplinler arası tasarım araştırmaları süreçlerinde biyomühendislik, inşaat gibi farklı disiplinlerin bir aradalığının mimari tasarım sürecini nasıl geliştirdiğini ortaya koymak ve sürecin bir örneklemesini gerçekleştirmektir. Sonuç olarak, alan çalışması sürecinin sağladığı deneyimler doğrultusunda biyomalzemeler üzerine yapılan mimari tasarım araştırmalarında sürecin doğası üzerine genel bir değerlendirme yapılmakta ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyomalzemeler, Ekoloji, Tasarım Araştırmaları, Sıkıştırılmış Toprak Tekniği, Mikoriza

ABSTRACT

USE OF BIOMATERIALS IN ARCHITECTURE: IMPROVING THE PERFORMANCE OF RAMMED-EARTH BLOCKS USING MYCORRHIZAL FUNGI

In main ecological approaches in architecture, biomaterials are part of design research on sustainable building materials production. Biomaterials research, which requires interdisciplinary studies, is basically a field of study in the cross-section of the disciplines of architecture and biology. The ecological performance of buildings is achieved through the integration of biological processes of living organisms into architectural design. The use of biomaterials for sustainable building materials production, an important component in ecological architectural design, establishes a common language with digital design and production technologies. Ecological approaches in architecture within the scope of the thesis were studied in terms of nature — design — technology relations; architectural production processes based on biomaterials were investigated; design processes that rammed-earth structures are integrated with digital design and production technologies were investigated, and a field study was carried out in which rammed-earth technique was associated with mycorrhizal fungi. As a method in thesis preliminary research, case study analysis and interdisciplinary field studies were followed. The main goal of the study is to demonstrate how a coexistence of different disciplines like bioengineering and construction in interdisciplinary design research processes. As a result, a comprehensive evaluation of the architectural design research on biomaterials is performed in line with the experience of the field study process and suggestions are presented for the future.

Keywords: Biomaterials, Ecology, Design Research, Rammed Earth Technique, Mycorrhiza

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR....iii
ÖZET....iv
ABSTRACT....v
İÇİNDEKİLER....vi
ŞEKİL LİSTESİ....viii
TABLO LİSTESİ....x
SEMBOLLER/KISALTMALAR....xi
1. GİRİŞ....1
2. DOĞA – MİMARİ TASARIM İLİŞKİLERİNDE ÇEŞİTLİ YAKLAŞIMLAR....9
2.1. MİMARLIK VE BİYOLOJİ İLİŞKİSİ....9
2.2. MİMARLIKTA BİYOMİMİKRİYE DAYALI YAKLAŞIMLAR....11
2.3. MİMARLIKTA BİYOTASARIMA DAYALI YAKLAŞIMLAR....15
3. BİYOMALZEMELER ÜZERİNE MİMARİ TASARIM ARAŞTIRMALARI....20
3.1. BİYOMALZEMELERİN EKOLOJİK MİMARİ TASARIM AÇISINDAN POTANSİYELLERİ....20
3.2. BİYOMALZEMELERİN MİMARİ ELEMAN ÜRETİMİ AÇISINDAN POTANSİYELLERİ....22
3.3. BAKTERİ ÇEŞİTLERİ İLE YAPILAN BİYOMALZEME ARAŞTIRMALARI 24
3.4. ALG VE YOSUN ÇEŞİTLERİ İLE YAPILAN BİYOMALZEME ARAŞTIRMALARI....28
3.5. MANTAR ÇEŞİTLERİ İLE YAPILAN BİYOMALZEME ARAŞTIRMALARI 32
3.6. BİYOMALZEMELERE DAYALI MİMARİ TASARIM ARAŞTIRMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ....35

4. SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK YAPILAR VE SAYISAL TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİYLE ENTEGRASYONU ÜZERİNE DENEMELER 39
4.1. SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK YAPILAR: KERPİÇTEN ENDÜSTRİYEL BLOKLARA 39
4.2. SAYISAL TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ İLE SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK YAPILAR ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR 42
5. SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOKLARIN BİTKİ HAZNELERİNDEKİ NEBATİ TOPRAĞA EKLENEN MİKORİZAL MANTARIN STRÜKTÜREL DAYANIMA ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA 48
5.1. TASARIM KARARLARI VE MİKROORGANİZMA SEÇİMİ SÜRECİ 48
5.2. KALIP TASARIMI VE ÜRETİMİ 56
5.3. SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOKLARIN HAZIRLANMASI 57
5.4. MİKORİZANIN ÖN HAZIRLIK SÜRECİ 59
5.5. SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOK VE MİKORİZANIN ENTEGRASYONU SÜRECİ 60
5.6. SONUÇ ÜRÜN PERFORMANS TESTLERİ 63
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 69
KAYNAKLAR 72
EK-1 77
EK-2 78

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Strelitzia reginae çiçeğinin elastik deformasyonu, çift kanatlı Flectofin'in çalışma prensibi, 1:1 ölçekli prototip (Lienhard, ve diğerleri, 2011) 14
Şekil 2.2. Çam kozalaklarının neme duyarlılık göstererek açılan pulları, ahşap kompozit malzemenin açık ve kapalı hali, yapı elemanlarının robotla üretimi, HygroSkin: Meteorosensitive Pavilion (URL-1)..... 15
Şekil 3.1. Bakterilerle inşa edilen alanın çevreyle ilişkisi, kum tepesinin kesiti, bitkileri koruyan ve yaşanabilir hacimlerden biri (URL-6)..... 27
Şekil 3.2. Bakterilerin betonda oluşan çatlağı doldurması diagramı, Bioconcrete yapı malzemesi örneği, kendi kendini onaran beton yapı malzemesinin öncesi ve sonrası (URL-7) 28
Şekil 3.3. The Urban Algae Folly pavyonu genel görünüş, ETFE cephe sistemi içerisinde mikroalgler (URL-9)..... 30
Şekil 3.4. B.I.Q. House yapısının güney cephesi, cephe sistemi içerisinde mikroalgler (URL-10) 31
Şekil 3.5. Seramik yüzey üzerinde yetiştirilen yosunlar, yosunların yetiştirileceği gözenekli katmanın modeli, Bio Ceramic System'in katmanlaşması (Görsel yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.) (URL-11) 32
Şekil 3.6. MycoTree genel görünüm, yapı bileşenlerinin 3B modeli, miselyum blokların hazırlık aşaması, miselyum blokların bambu geçme sistemler kullanılarak birleştirilmesi (URL-12) 35
Şekil 3.7. Biyomalzeme üretiminde kullanılan mikrobiyolojik canlıların Noam Attias'ın (2016) yaklaşımından hareketle potansiyellerinin yorumlanması ve seçilen örnek projelerin tasarım araştırmaları – yapı malzemeleri – inşa edilmiş projeler süreçlerine göre dağılımı (A, B ve C için bkz. Tablo 3.1., Tablo 3.2. ve Tablo 3.3.) (bkz. Ek-1) 357
Şekil 4.1. Engineered Earth çalışması kapsamında yapılan basınç dayanım testleri (URL-13) 40
Şekil 4.2. Ricola Herb Center için yapı toprağının alındığı alan, prefabrik sıkıştırılmış toprak panellerin şantiye alanında taşınması, prefabrik panellerin uygulanması, fabrikada üretilen sıkıştırılmış toprak paneller, yapının genel görünümü (URL-15) 41

Şekil 4.3. 1. Alker Deneme Evi, İTÜ Anaokulu (Fotoğraf: C. Tanrıverdi) (Kafescioğlu, 2017a) 42
Şekil 4.4. Komün-Aksiyon Duvarlar projesi tasarım, üretim ve yapım aşamaları (URL-16) 43
Şekil 4.5. Robotic Earth Crafts atölyesi Habitat projesi, birim ve makroform çalışmaları . 45
Şekil 4.6. Robotic Earth Crafts atölyesi Habitat projesi, Grasshopper kodu, KUKA robot ile kalıp kesimi 46
Şekil 4.7. Robotic Earth Crafts atölyesi Habitat projesi, üretilen sıkıştırılmış toprak bloklar ve bitki ekimi sonrası projenin son hali 47
Şekil 5.1. Yapı toprağının temin edildiği Kemerburgaz'daki ocak (URL-16) 50
Şekil 5.2. Laboratuvarda pH ölçüm süreci 51
Şekil 5.3. Öngörülen proje süreci diyagramı 54
Şekil 5.4. Mikorizal mantar ve fide kökleri (Brooker, Widmaier, Graham, & Stiling, 2011) 55
Şekil 5.5. Endomikorizanın ışık mikroskopu görüntüsü ve diagramı (Brooker, Widmaier, Graham, & Stiling, 2011) 56
Şekil 5.6. Kalıp tasarımı, üretimi ve son hali 57
Şekil 5.7. Sıkıştırılmış toprak bloğun yapım süreci 58
Şekil 5.8. Sıkıştırılmış toprak blok kesiti ve kalıptan çıkarılmış son halleri 59
Şekil 5.9. Mikoriza sporları, nebati toprak ve mikoriza karışımı 60
Şekil 5.10. Sıkıştırılmış toprak bloğa bitki ekimi süreci, bitki büyütme kabinine yerleştirilmesi ve ortam koşullarının ayarlanması 61
Şekil 5.11. Bitki büyütme kabini içerisinde bitkinin 0. hafta, 1. hafta ve 2. hafta gelişim süreci 62
Şekil 5.12. Bitki büyütme kabini içerisinde bitkinin 3. hafta ve 4. hafta gelişim süreci 62
Şekil 5.13. Otomatik basınç deney presleri 64
Şekil 5.14. Bloğun geometrik şekli ve boyutlarının girildiği ekran, kontrol bloğu için test parametreleri, mikoriza ekilen blok için test parametreleri 65
Şekil 5.15. Kontrol bloğu basınç testi süreci ve sonuç grafik 66
Şekil 5.16. Mikoriza ekilen blok için basınç testi süreci ve sonuç grafik 67
Şekil 5.17. Kontrol bloğunda nebati toprağın dağıldığı, mikoriza ekilen blokta toprağın şeklini koruyarak sıkılaştığı gözlemlenmiştir. Bitkinin mikoriza ile birlikte kök gelişimi . 68

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Bakteri çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmaları örnekleri.....26
Tablo 3.2. Alg ve yosun çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmaları örnekleri.....29
Tablo 3.3. Mantar çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmaları örnekleri.....33
Tablo 5.1. Kullanılan alker karışımı oranları.....58

SEMBOLLER/KISALTMALAR

°C	Santigrat derece
3B	3 boyut
AA	Architectural Association
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
B.I.Q.	Bio Intelligent Quotient
bkz.	Bakınız
cm	Santimetre
CNC	Computer Numerical Control
CRA	Carlo Ratti Associati
Doç.	Doçent
Dr.	Doktor
ETFE	Ethylen Tetra Fluoro Ethylen
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
FRP	Fibre-Reinforced Polymers
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
gr	Gram
GrAB	Growing As Building
IAAC	Institute for Advanced Architecture of Catalonia
ITKE	Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
KIT	Karlsruhe Institute of Technology
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mm²	Milimetrekare
MPa	Megapaskal
MPa/s	Megapaskal/Saniye
Öğr.	Öğretim
pH	Power of Hydrogen
Prof.	Profesör

s.	Sayfa
ss.	Sayfa sayısı
TU	Technische Universiteit
yy.	Yüzyıl

1. GİRİŞ

1. Endsütri Devrimi buhar makinesinin icadı ve üretimin mekanikleşmesi ile 18. yy.da başlamış ve 19. yy.da doruk noktalarına ulaşmıştır. 2. Endüstri Devrimi 19. yy.ın sonlarında elektrikli motorun kullanımı ve seri üretimin başlaması ile tanımlanmıştır. 3. Endüstri Devrimi 20. yy.ın ortalarında dijital bilgi teknolojileri ile üretimin otomatize edilmesi ile gerçekleşmiştir. 21. yy.a gelindiğinde ise biyolojik süreçlerin mekanikleşmiş endüstriyel dünyaya entegre olacağından söz edilmektedir. (Hebel & Heisel, 2017)

Antroposen çağ, insanların ve toplumların küresel jeo-fiziksel güce dönüştüğü çağ olarak tanımlanmaktadır. 1800'lerde, endüstrileşme ile birlikte artan fosil yakıtların kullanımı ile, başladığı belirtilmektedir. Endüstri öncesi dönemden itibaren bugüne kadar atmosferik karbondioksit değerlerindeki artış, insan aktivitelerinin küresel çevre üzerindeki etkilerinin yansıması olarak ifade edilmektedir. Biyolojik çeşitlilik, karbon döngüsü, azot döngüsü, kentleşme, kıyı ekosistemleri, kaynakların kullanımı, iklim gibi bileşenleri içeren küresel değişimden söz edilmektedir. (Steffen, Crutzen, & McNeill, 2007) Yuval Noah Harari (2016), yaşam ortaya çıktığından beri hiçbir türün tek başına küresel ekolojiyi değiştiremediğini; ekolojik devrimler ve kitlesel yok oluşlara iklim değişikliği, volkanik patlamalar, yer hareketleri gibi doğal süreçlerin neden olduğunu söyleyerek insanlığın çevre üzerindeki etkilerine dikkat çekmektedir.

Endüstrileşme ile birlikte değişen üretim süreçleri ve tüketim alışkanlıkları, kentlerin kalabalıklaşarak büyümesi ve enerji ihtiyacının artması, 20. yy.ın ortalarında ekolojik yaklaşımların gelişmesine zemin hazırlamıştır. Endüstriyel üretim süreçleri boyunca harcanan enerji miktarı ve kaynakların kullanımı, endüstriyel ürünlerin üretimi, tüketimi ve atıklara dönüşümündeki insan sağlığına ve çevreye olan etkileri insan ve doğa ilişkisinin sorgulanmasına neden olmuştur. 1973 tarihli petrol krizi ise petrol rezervlerine sahip olmayan ülkeler için dezavantajlı bir durum oluşturmuştur (Montgomery, 2014). Yenilenemez enerji kaynaklarının; coğrafik, ekonomik ya da politik sebeplerle, her şartta erişilebilir olmaması ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Murray Bookchin'e (2017) göre ekoloji, doğa ve insan arasındaki daha kapsamlı bir ilişkiyi ifade etmektedir. Ekoloji bakış açısıyla insan, dünyada canlılığın bulunduğu katmandaki bütünlüğü sağlamayı ve dengeyi kurmayı hedeflemektedir. Bu açıdan ekosistemdeki çeşitlilik önem kazanmaktadır. Çeşitliliğin artması ile ekosistemler daha güçlü hale gelmektedirler. Çeşitliliğin azalması dengenin bozulmasına ve zayıf noktaların oluşmasına neden olacaktır. Doğal süreçler insan müdahalesi ile yönlendirilebilir fakat bu yönlendirme yalnızca potansiyelleri açığa çıkarma düzeyinde kalmalıdır. Sürecin geri kalanında doğanın kendi işleyişine müdahale edilmemelidir. Bu yönüyle ekolojide hiyerarşiler olmadığından söz edilmektedir. Hiçbir tür diğerlerinden üstün değildir, tamamı bir bütünün parçaları olarak dengenin korunmasında rol oynamaktadır.

Ernest Callenbach (2017) ekoloji biliminin, insanların diğer canlılar ve ekolojik süreçler üzerindeki etkilerini kapsamasıyla ekolojiyle ilgili felsefi ve politik yaklaşımların ortaya çıktığını ifade etmektedir. Bu yaklaşımlar derin ekoloji, ekofeminizm ve toplumsal ekoloji olarak belirtilmektedir.

Derin ekoloji yaklaşımı, insanların yalnızca hayati ihtiyaçlarını karşılayarak doğaya müdahale etmemelerini, nüfusun azaltılarak insanların ekolojik etkilerinin düşürülmesini ve doğadaki çeşitliliğin korunması gerektiğini savunan yaklaşımdır. Ekofeminizm yaklaşımı, erkeklerin kadınlara hükmetmesine paralel olarak, doğanın erkek – egemen tutumlarla tahrip edildiğini savunan yaklaşımdır. (Callenbach, 2017)

Murray Bookchin (2017) toplumsal ekoloji yaklaşımını açıklarken, ekolojik bir toplum olmanın gerekliliklerinden birinin insan odaklı olmak olduğunu ifade etmektedir. Endüstrileşme ile birlikte büyüyen kent ölçeği ve değişen koşullar insanları kavrayamadıkları bir sistemin parçası haline getirmiştir. Ekolojik toplum anlayışı yalnızca kırsalda, izole bir hayat yaşamayı değil aynı zamanda kentlerde ama daha insan ölçeğinde kavranabilir ve idare edilebilir bir hayat yaşamayı önermektedir. Ekolojik topluluğun kitle üretimine ihtiyaç duymayacağı, enerjiyi ve malzemeyi etkin kullanarak, nitelikli, ihtiyaca yönelik çıktılar üreteceği savunulmaktadır. Üretim süreci mevcut teknolojilerin eko-teknoloji olarak geliştirilmesi ile desteklenecektir. Bookchin'e (2017) göre eko-teknolojiler, geri dönüştürülebilir malzemeler ve yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklenecektir.

Ayşen Ciravoğlu (2019) ekolojik yaklaşımları üç kategoride aktarmaktadır. Birinci yaklaşım; endüstriyel üretim teknolojilerinin sebep olduğu toplumsal değişimi ve buna bağlı olarak artan çevresel sorunları ön plana çıkartan yaklaşımdır. İkinci yaklaşım; bilimsel ve teknolojik gelişmelerin ekolojik sorunların önüne geçeceğini savunan yaklaşımdır. Üçüncü yaklaşımda; ekolojik sorunların sanılan kadar kritik bir seviyede olmadığı, iletişim organları ile toplumların manipüle edilerek ekolojik etiketli ürünlerin, sistemlerin reklamlarının yapıldığı savunulmaktadır. Tüm bu yaklaşımların incelenmesi sonucunda ekolojik meselelerle ilgili farklı gerçeklik algılarının bulunduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Mimarlık alanında bu gelişmelerin yansımaları yapılara "yeşil" özellikler kazandırılması şeklindedir.

Bugün yapıda ekoloji ve sürdürülebilirlik denildiğinde akıllara yeşil binalar ve sertifikalar gelmektedir. Yeşil bina değerlendirme sistemleri genel olarak yapının arazi ile olan ilişkisi, doğal malzeme kullanımı ve yerellik, malzeme ve kaynakların verimli kullanımı, enerjinin ve suyun verimli kullanımı, iç mekan kalitesi gibi parametreler üzerinden yapılmaktadır. Yeşil bina değerlendirme sistemleri ile yapıların yaşam döngüsü boyunca doğal çevreye olan olumsuz etkilerini anlamak ve bu etkileri aza indirmek için tasarımcıların seçimlerine yön verebilecek bir kılavuz oluşturmak hedeflenmektedir. Bu sayede yapıların yaşam döngüsü, hammadde tedariğinden, kullanılacak gömülü ve operasyonel enerji miktarına ve atık olana ya da geri dönüştürülme sürecine kadar değerlendirilebilmektedir (Özçuhadar, 2007).

Yeşil binalarda iklime göre tasarım yapılarak güneş, rüzgar gibi doğal etmenlerden faydalanılmasının yanı sıra, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretme, ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi ihtiyaçlar ekolojik performans gösteren teknolojik sistemlerle entegre edilerek karşılanmaktadır. Berrak Kırbaş Akyürek (2019) planlı eskitme üzerine yaptığı çalışmasında tüketimin devamlılığı için ürünlerin planlı olarak eskitildiği bir ekonomik modelden bahsetmektedir. Yeşil binalarda kullanılan gelişmiş teknolojik sistemlerin zamanla planlı eskitme nedeniyle etkilerini kaybetmelerinin yapıların ekolojik olma özelliklerini kaybetmeleri ve sürdürülemez olmaları anlamına geldiği ifade edilmektedir.

İnsanın ve yapılı çevrenin neden olduğu çevresel olumsuzluklara çözüm olarak yeşil bina gibi kavramlar ve buna bağlı olarak geliştirilen yeşil bina değerlendirme sistemleri ortaya

çıkmıştır. Gelinen noktada yeşil bina ve değerlendirme sistemlerinin yanlış yorumlandığı ve amacı dışına çıkartılarak bir reklam aracına dönüştürüldüğü yönünde eleştirel bir bakış açısı gelişmiştir. Yenileyici (rejeneratif) tasarım yaklaşımının, yapılı çevredeki eleştirilen mevcut ekolojik uygulamalara bir cevap olarak ortaya çıktığı ifade edilmektedir. Polat Darçın'ın (2014) aktarımına göre yenileyici tasarım yaklaşımı insan ve doğal çevre ilişkisini bütünleşik bir açıdan ele almakta ve insanın doğa üzerinde kurduğu ya da kurabileceğini düşündüğü hakimiyeti ortadan kaldırmaktadır. Bu bakış açısıyla mevcut durumun korunmasının ya da doğaya daha az zarar verilmesi yaklaşımının ötesinde daha büyük bir ekosistemin parçası olarak düşünülen yapının ya da kentsel alanın, zamana ve değişen koşullara bağlı olarak gelişmesi ve niteliklerinin iyileşmesi hedeflenmektedir. Yapılı çevrenin içinde bulunduğu ekosistemle birlikte, karşılıklı yarar sağlayarak uyum içerisinde gelişebilmesinin küçük ve büyük ölçeklerdeki doğal sistemlerin araştırılması, anlaşılması ve ilişkilendirilmesi ile mümkün olacağı belirtilmektedir. Bu sayede tasarımın, küçük ve büyük ölçeklerdeki sistemlerle karşılıklı fayda sağlayacak şekilde entegre edilebileceği ifade edilmektedir.

Yenileyici tasarım yaklaşımında tasarım ve üretim sürecinin sonlanmasıyla yapılı çevrenin yaşam döngüsü boyunca tasarımcı, yatırımcı, üretici ve kullanıcıların katkılarıyla sürdürülmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu sayede yapılı çevre aracılığıyla farkındalığı artan sosyal çevre ile doğal çevre arasındaki ilişkilerin güçleneceği belirtilmektedir. (Darçın, 2014)

Yapılarda enerji verimliliği, ekolojik mimari tasarım kapsamında tartışılan bir diğer konu olarak gösterilebilmektedir. Yapılarda ısıtma ve soğutma için harcanan enerjinin etkin kullanımında yapı kabuğunun yalıtımı önem kazanmaktadır. Bu sayede dış ortam koşullarının değişiminden bağımsız olarak enerji kaybı yaşanmaksızın iç mekan sıcaklığı kontrol altında tutulabilmekte ve kullanıcıların konforu sağlanabilmektedir. Yapının güneşe göre yönlendirilmesi, gölgelendirme elemanları gibi tasarım kararlarıyla ısıtma ve soğutma için harcanan enerjinin düşürülmesi söz konusu olabilmektedir. Aydınlatma için kullanılan enerjinin azaltılması yine mekansal kararlarla sağlanabileceği gibi enerji tasarruflu teknolojik ürünler ve sistemlerle de desteklenebilmektedir. Yapılarda ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi ihtiyaçlar nedeniyle kullanılan operasyonel enerjinin düşürülmesi ile yapının kullanım ömrü boyunca doğal çevre ve iklim üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması hedeflenmektedir.

Ekolojik mimari tasarımın bir parçası olarak yapılarda doğal ve ekolojik malzeme kullanımından bahsedilebilmektedir. Taş, toprak, ahşap gibi ekolojik ve doğal yapı malzemeleri yerel kaynaklardan temin edilebilir olmaları yönüyle ulaşım ve harcanan enerji bakımından ekonomiktirler. Yapıda yerel malzeme kullanımı malzemenin iklim koşullarına ve doğal çevreye uyumlu olması avantajını getirmektedir. Ekolojik malzemeler yapı kullanım ömrünü tamamladığında doğaya zarar vermeden yok olabilir ya da yeniden kullanılmak üzere işlevlendirilebilirler, bu yönleriyle atık oluşturmamaktadırlar. Mimarlıkta ana akım ekolojik yaklaşımların içinde sürdürülebilir malzeme ve tasarım araştırmaları kapsamında biyomalzemeler geliştirilmektedir. Biyomalzeme araştırmaları yerel kaynaklar kullanılarak mikroorganizmalar yardımıyla enerji tüketmeden ve kirlilik oluşturmadan sağlıklı ve ekolojik yapı malzemeleri üretimini kapsamaktadır. Disiplinler arası çalışmaları gerekli kılan biyomalzeme araştırmaları temelde mimarlık ve biyoloji disiplinlerinin ara kesitinde bir çalışma alanıdır. Bu tür araştırmalarda yapılardaki ekolojik performans mikroorganizmalar yardımıyla sağlanmaktadır.

Mimarlıkta ekolojik yaklaşımlardan yapı ve insan sağlığı ilişkisi bağlamında yapı biyolojisi ve ekolojisi kavramından bahsedilebilmektedir. Türkiye'de yapı biyolojisi ve ekolojisi alanında çalışan And Akman'a (2019) göre yapılar, içlerinde yaşayan, çalışan, eğitim gören insanları saran bir kabuk ve bulundukları ekosistemin birer parçasıdırlar. Bu nedenle yapıların hem bulundukları ekosistemdeki diğer canlılar hem de insan kullanıcılar için sağlığı tehdit edici unsurlar barındırmamaları gerekmektedir. Yapılarda kullanılan malzemeler, teknolojik sistemler, tesisatların yeterli yalıtımı gibi konular iç mekan kalitesinin belirlenmesinde önemli yer tutmaktadır. Hava almayan yüzeyler ve buna bağlı olarak hava almayan mekanlar, kullanılan malzemeler kaynaklı toksik madde yayılımı, radyoaktif kirlilik gibi etkenlerin insan metabolizmasını zayıflatarak bugün artık normalleşen fiziksel ve psikolojik rahatsızlıklara neden olduğu aktarımı yapılmaktadır. Buradan yola çıkarak doğaya ve insana uyumlu biyolojik yapılaşmanın gereklilikleri ortaya konmaktadır.

Yapılı çevrenin insan sağlığı üzerine etkilerine yönelik bir diğer ekolojik mimarlık yaklaşımı olarak biyofilik tasarım gösterilebilmektedir. Stephen Kellert ve Elizabeth Calabrese'ye (2015) göre biyofili düşüncesi, insanın fiziksel ve zihinsel sağlığı için içgüdüsel olarak doğayla ilişkili olma durumunu ifade etmektedir. Biyofilik tasarım, bugün zamanının

çoğunu iç mekanlarda geçiren insanları doğayla ilişkilendirebilecek çözümler önermektedir. İnsan – doğa ilişkisi biyofilik tasarımda, doğal aydınlatma, doğal havalandırma, doğal malzeme kullanımı, peyzaj elemanları, manzaralar, doğal geometriler, mekan organizasyonu gibi parametrelerle kurulmaktadır. Doğrudan ya da dolaylı olarak yapılı çevrede, doğal ya da doğayı çağrıştıracak elemanların varlığının insanların fiziksel ve zihinsel sağlığına olumlu katkıları olduğu belirtilmektedir.

İnsanın ve yapılı çevrenin neden olduğu çevresel olumsuzluklara cevap olarak mimarlık alanında yeşil bina kavramı, yeşil bina değerlendirme sistemleri, enerji verimliliği, yenileyici tasarım, ekolojik malzeme araştırmaları, yapı biyolojisi ve ekolojisi kavramı ve biyofilik tasarım gibi ekolojik yaklaşımlar ve uygulamalar geliştirilmiştir. Tüm bu alanların mimari tasarım ve üretim sürecinin bir parçası haline gelebilmesi için ekoloji, biyoloji, metalurji, çevre mühendisliği gibi alanlarla disiplinler arası çalışmalar yapılması gerekmektedir. Disiplinler arası çalışmalarla birlikte ekolojik mimari tasarım bir katman olarak "yeşil" özellikler barındırmanın ötesinde, tasarımdan atık olana kadar çevreyle ve kullanıcılarla bütünleşen bir süreci izleyecektir.

Tez altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, endüstrileşmenin çevre üzerindeki etkilerine, çeşitli felsefi ve politik ekoloji yaklaşımlarına ve mimarlıkta ana eksen ekoloji tartışmalarına değinilmektedir. Mimarlıkta ekolojik yaklaşımlar yeşil bina kavramı, yeşil bina değerlendirme sistemleri, enerji verimliliği, yenileyici tasarım, ekolojik malzeme araştırmaları, yapı biyolojisi ve ekolojisi kavramı ve biyofilik tasarım yaklaşımı üzerinden değerlendirilmektedir.

İkinci bölümde mimarlığın, doğa ile biyoloji üzerinden kurulan ilişkisi karşılaştırmalı olarak tanımlanmaktadır. Sonrasında tasarım disiplininin doğayla ilişkilendirildiği biyomimikri ve biyotasarım yaklaşımlarına değinilmektedir. Mimarlıkta biyomimikriye dayalı tasarım yaklaşımları örnek projeler üzerinden detaylandırılırken, canlı organizmaların sayısal tasarım ve üretim teknolojileriyle mimari tasarıma entegre edilmesine dayanan biyotasarım ve biyolojik malzeme yaklaşımları açıklanmaktadır.

Üçüncü bölümde biyolojik süreçlerle üretilen biyomalzemelerin ekolojik mimari tasarım açısından potansiyelleri tartışılmaktadır. Biyomalzemelerin mimari eleman üretimi

açısından potansiyelleri canlı organizmaların doğadaki davranışları üzerinden açıklanmaktadır. Sözü edilen potansiyeller ileride detaylandırılacak biyolojik süreçlerle üretilmiş mimari elemanları içeren örnek projelerle ilişkilendirilmiştir. Sonrasında bakteri, alg, yosun ve mantar çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmaları derlenip, farklı ölçek ve tasarım yaklaşımlarındaki projeler seçilerek detaylandırılmıştır. Bölümün sonuç kısmında özet bir tabloyla biyomalzemeler üzerine yapılan mimari tasarım araştırmaları değerlendirilmiştir.

Dördüncü bölümde, ekolojik bir yapı malzemesi ve yapım tekniği olarak sıkıştırılmış toprak yapıların çağdaş kullanımları incelenmiştir. Sayısal tasarım ve üretim teknolojileri ile sıkıştırılmış toprak tekniği üzerine yapılan tasarım araştırmalarından Komün-Aksiyon Duvarlar ve Robotic Earth Crafts projeleri üzerine detaylı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Her iki örnek de geleneksel bir yapım tekniği ve ekolojik bir malzemenin sayısal tasarım ve üretim teknolojileri gibi yüksek teknolojik yaklaşımlara entegrasyonuna örneklerdir.

Beşinci bölümde, geleneksel ve ekolojik bir yapı malzemesi ve yapım tekniği ile üretilen sıkıştırılmış toprak blokların basınç dayanımı, atık üretimi gibi özelliklerinin biyolojik süreçlerle geliştirilmesi üzerine yapılan disiplinler arası çalışmanın süreci paylaşılmıştır. İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümü Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hatice Gülen ve İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkan Yardımcısı Dr. Muammer Özbek ile yürütülen disiplinler arası çalışmanın ana hedefi farklı disiplinlerin bir aradalığının mimari tasarım sürecini nasıl geliştirdiğini deneyimlemek ve sürecin bir örneklemesini gerçekleştirmektir. Süreç, sıkıştırılmış toprak blokların yapım sisteminin ve yapı malzemelerinin analizleri ile başlatılmıştır. Analizler sonucu sisteme eklenecek mikroorganizma ve yöntem belirlenmiştir. Sıkıştırılmış toprak blokların üretimi ve kullanıma hazır hale gelmelerinden sonra ekilmesi kararlaştırılan mikoriza ve bitki, sıkıştırılmış toprak blokla buluşturulmuştur. Ekim yapıldıktan sonra mikorizanın bitki ile gelişim süreci gözlemlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında sıkıştırılmış toprak blok – mikoriza – bitki ilişkisinin sıkıştırılmış toprak bloğun yapısal dayanımına etkileri performans testleriyle ölçülmüştür.

Altıncı bölümde, alan çalışması sürecinin sağladığı deneyimler doğrultusunda biyomalzemeler üzerine yapılan mimari tasarım araştırmalarının genel bir değerlendirmesi yapılmakta ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.

2. DOĞA – MİMARİ TASARIM İLİŞKİLERİNDE ÇEŞİTLİ YAKLAŞIMLAR

2.1 MİMARLIK VE BİYOLOJİ İLİŞKİSİ

Mimarlıkta ekolojik yaklaşımlar bağlamında yeşil bina kavramı, yenileyici tasarım, ekolojik malzeme araştırmaları, yapı biyolojisi ve ekolojisi, biyofilik tasarım gibi çeşitli ekolojik yaklaşımların ve uygulamaların doğa ve mimari tasarım arasında bir ilişki kurabilmek adına geliştirildiği söylenebilmektedir. Sözü edilen ekolojik yaklaşımların ve uygulamaların yanında daha ekolojik, akıllı ya da performatif gibi özelliklere sahip mimari tasarım ve üretim için canlıların büyüme, gelişme gibi süreçlerinin mimari tasarıma model olması ya da doğrudan entegre edilmesi söz konusu olabilmektedir. Buradan yola çıkılarak mimarlık ve biyoloji disiplinlerinin ilişkilendirildiği çalışmalar yapılmaktadır. Waltraut Hoheneder ve Petra Gruber (2016) "Plan Not to Plan Anymore – on Growing and Building" başlıklı çalışmalarında biyolojik süreçlerle mimari üretim süreçleri arasında kurulabilecek ilişkileri şöyle açıklamaktadır:

Biyolojideki büyüme, hücrelerin sayıca ve boyut olarak artmasına dayanmaktadır. Genetik ve çevresel etkenler, hücrelerin işlevsel olarak farklılaşmasını ve kombinasyonlar oluşturmasını sağlamaktadır. Hücre farklılaşması mimaride işlevsellikle ilişkilendirilebilir. Yapı malzemelerinin ya da sistemlerinin katmanları işlevlerine göre adapte edilebilir ve yapıyı oluşturmak üzere bir araya getirilebilir.

Ekosistemlerdeki rekabet ve ortam koşulları canlı organizmaların büyüme sürecini her zaman olumlu etkilemeyebilmektedir. Bu nedenle alanın ve kaynakların etkin kullanımı canlı organizmaların hayatta kalabilmeleri ve üreyebilmeleri için kritiktir. Canlı organizmaların, ortam koşullarına göre büyüme ve farklılaşma göstermesi canlılıklarını devam ettirebilmeleri açısından avantaj sağlamaktadır. Alanın etkin kullanımı için gelişen hücresel eklenmenin mimarideki karşılığı Waltraut Hoheneder ve Petra Gruber'e göre (2016) modülerliktir. Modüler sistemler alanların etkin kullanımını, optimizasyonu ve uyumluluğu sağlamanın yanı sıra sınırlı sayıda bileşenle çok sayıda kombinasyon üretme

imkanı tanımaktadır. Yapıların ihtiyaca göre adapte edilebilmeye izin vermesi kullanım ömrü boyunca esneklik sağlamaktadır. Geleneksel mimari yaklaşımlarda yapının tamamlanması birincil hedef olarak ortaya çıksa da biyolojik süreçlerdeki zamanla değişen koşullara göre devam eden büyüme ve gelişme süreçlerinin mimariye aktarımı dinamik bir yapı tasarlama süreci potansiyeli taşımaktadır.

Biyolojide biçim performansa bağlıdır, malzeme ve enerji verimliliği ve çevresel tehditlere karşı koruma sağlamaktadır. Canlı organizmaların hayatta kalabilmeleri için zamanla değişen ortam koşullarına göre biçimlerini adapte etmeleri önem taşımaktadır. Biyolojideki biçim değiştirme sürecinin mimaride, enerji üretimi gibi işlevleri sağlayacak cephe sistemleri geliştirmek, simülasyon teknolojileri yardımıyla çevresel etkilere karşı dayanımı arttıracak formlarda yapılar üretmek ve dinamik biçim değişimine izin verecek tasarımlar yapmak gibi yansımaları olabilmektedir.

Biyolojideki büyüme öz-örgütlenmeye dayanmaktadır ve genetik olarak aynı olsalar bile organizmalar, birbirlerinden farklı gelişim gösterebilmektedirler. Mimarlıkta sayısal tasarım ve üretim teknolojileriyle aynı bina kodları kullanılarak birbirlerine benzeyen ama kendi bağlamlarına göre organize edilmiş yapılar üretmek mümkün olabilmektedir.

Bitkiler bir yere bağlı olmaları ve hareket edememeleri özellikleri ile binalara benzemektedir. Bitkiler besin ve enerji ihtiyaçlarını yakın çevrelerinden karşılarlar ve büyüme süreçleri yakın çevrelerindeki dinamik süreçlerle doğrudan ilişkilidir. Mimari tasarımda da çevresel faktörlere adaptasyon ve kullanıcıların gereksinimleri ön plana çıkmaktadır. Çevresel faktörler ve kullanıcıların ihtiyaçları bina sistemlerinin kurgulanması sürecinde bilgi sağlamaktadır.

Biyolojide malzeme sentezi ortam sıcaklıklarında ve erişilebilir yapısal bileşenlerle yapılmaktadır. Endüstriyel üretim süreçlerinde yapı malzemelerinin dayanımlarını arttırmak için çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanmaktadır ve bu süreç kullanılan enerji, oluşan atık gibi nedenlerle ekolojik değildir. Bu nedenle organizmalar yardımıyla yapı malzemelerinin üretiminde enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenmiştir. Aynı zamanda organizmalar yardımıyla üretilen yapı malzemeleri doğada

çözünebilir ve geri dönüştürülebilirlerdir. Bu sayede atık oluşumunun da önüne geçilebilmektedir.
Organizmalar hayatta kalma şanslarını arttırmak için zorluklarla başa çıkma yöntemlerini değiştirmekte yani öğrenmektedirler. Yapılara entegre edilen algılama, kontrol ve işletme sistemleriyle yapıların davranışlarının değişmesi de mümkün olabilmektedir. Bugün "akıllı bina" olarak nitelendirilen yapılarda pasif sistemlerin koşullara göre adaptasyonu ile enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Biyolojik süreçlerde birçok canlı tür arasında birbirlerine fayda sağladıkları simbiyotik ilişkiler vardır. Bugün yapıların estetik ve işlevsel özelliklerini korumak için insani müdahalelere ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarlanan yapılar, insani müdahalelere ihtiyaç kalmadan kendi kendilerini sürdürebilmeli ve kullanıcılarla iş birliği içerisinde, bilgi ve kaynak sağlayan simbiyotikler gibi çalışmalıdır.

Waltraut Hoheneder ve Petra Gruber (2016) biyoloji ve mimarlık ara kesitinde yapıların dinamik bir sistem içerisinde gelişen ve kendi kendini sürdüren canlı organizmalar olarak kurgulanmasını tartışmıştır. Doğanın korunması gerektiği yaklaşımı biyolojik süreçlerin prensiplerinin mimari tasarım için yol gösterici olduğunu açığa çıkarmaktadır. Bu bakış açısıyla, doğa üzerinde kontrol sağlamak ya da ondan maksimum oranda yararlanmak yerine doğa ile iş birliği yapmak önem kazanmaktadır. Buradan yola çıkılarak doğanın mimari tasarım ve üretim süreçlerine entegre edildiği biyomimikri ve biyotasarım yaklaşımları incelenecektir.

2.2 MİMARLIKTA BİYOMİMİKRİYE DAYALI YAKLAŞIMLAR

Tasarım disiplininin doğa ile etkileşimde olduğu alanlar ve yaklaşımları Neri Oxman (2010), *Biotechnik, Biomimesis* ve *Biogenesis* olarak sıralamaktadır. *Biotechnik* yaklaşımını Maholy Nagy'ın Fransa'da biyonik biliminden ilham alarak, doğayı yapısal model alma ve işlevsel tasarımı daha iyi tanımlamak için doğadaki prototipleri araştırma üzerine yaptığı çalışmalarla açıklamaktadır. *Biogenesis* yaklaşımını, form bulma bağlamında doğadan esinlenmenin yanında bu süreci malzeme perspektifinden ilerletme olarak ifade etmektedir.

Neri Oxman (2010), *Biomimesis* yaklaşımını çağdaş tasarım ve mühendislik sorunlarının çözümünde doğanın problemleri çözme yollarının potansiyel olarak görüldüğü bir yaklaşım olarak tanımlamaktadır. Çağdaş tasarım ve mühendislik alanlarının da konusu olan malzeme, yapısal özellikler, mekanik özellikler, işlevsellik, algılama ve kontrol sistemleri gibi süreçlerin doğada nasıl işlediği üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Janine Benyus (1997) biyomimikriyi, malzemelerin nasıl üretileceği, yiyeceklerin nasıl yetiştirileceği, nasıl enerji üretileceği, insanların nasıl tedavi edileceği, bilgilerin nasıl depolanacağı gibi insan sorunlarını çözmek için doğadaki süreçlerin gözlemlenerek, bu süreçlerin taklit edilmesi ya da bu süreçlerden esinlenilmesi olarak tanımlamaktadır. Janine Benyus'un Biyomimikri Devrimi olarak işaret ettiği 2000'ler; Endüstri Devrimi'nin aksine, doğaya hükmetmeye ya da doğayı ehlileştirmeye değil, doğayı bir akıl hocası olarak görerek ondan ne öğrenilebileceğine odaklanan bir bakış açısını ortaya koymaktadır. Biyomimikri ile doğada neyin işlediği ve daha da önemlisi neyin sürdürülebilir olduğu keşfedilmektedir.

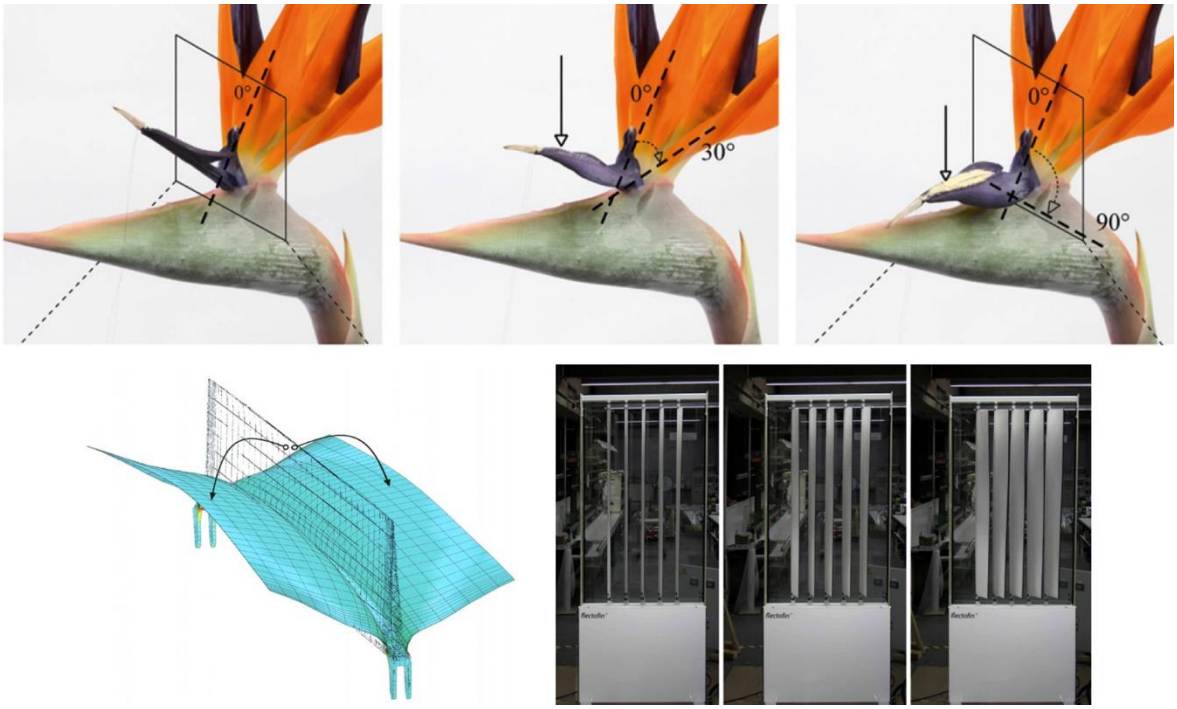
Jay Harman (2013) "The Shark's Paintbrush" başlıklı kitabının giriş bölümünde biyomimikriye neden ihtiyacımız olduğunu, olumsuz yönde değişen iklimsel koşulları, türlerin hızla tükenmesi, ilaç sektörünün kanser, alzaymır, otizm gibi çağın hastalıklarına çözüm olacak ilaçlar geliştirememesi, küresel ekonominin çöküşü nedeniyle buluşların yavaşlaması gibi dünyanın içinde bulunduğu iç açıcı olmayan durumlarla açıklamaktadır. Tüm olumsuz senaryolar karşısında doğa ile iş birliği yapmanın insanlığın sorunlarına çözüm olacağını savunmaktadır. Doğada yüzyıllar boyunca çevresel koşullara adapte olarak hayatta kalabilmiş türler bulunmaktadır. Yaşama elverişli koşullar yaratmak, atık üretmemek, kaynakların verimli kullanımı ile doğada sürdürülebilirlik sağlanmaktadır. Harman'a göre doğanın öğretilerini anlamak zenginliği ve ekonomik sürdürülebilirliği getirecektir.

Biyomimikriye dayalı tasarım yaklaşımlarında öncelikle çözülmek istenen sorun ortaya konmalıdır. Sorunun biçim, işlev ya da ekosistem kaynaklı olduğuna karar verilmesinden sonra bu problemi hangi doğal sürecin ya da biçimin en verimli çözdüğü araştırılmalı ve sorunun çözümü olabilecek doğal süreç ya da biçim tasarım sürecine entegre edilmelidir. Bu sürecin doğadan ilham alınarak problemin tanımlanması şeklinde tersine işlemesi de mümkün olabilmektedir. (Harman, 2013)

Biyomimikriye dayalı tasarım yaklaşımları incelendiğinde, doğadaki biçimlerden ilham alan ve doğadaki süreçlerden ilham alan yaklaşımlar olarak iki farklı yöntemden bahsedilebilir. Doğadaki biçimlerin tasarıma entegre edilmesi estetik kaygının yanısıra, tasarımın daha aerodinamik olması, strüktürel ya da yapı fiziği performanslarının iyileşmesi gibi katkılar sağlamaktadır. Doğadaki enerji üretme, geri dönüştürme, çevresel etkilere cevap verme gibi süreçlerden ilham alınarak kurgulanan tasarımlar yaşayan sistemlere dönüşmektedir. Bu sayede daha ekolojik ve sürdürülebilir tasarımlar mümkün olmaktadır. Her iki biyomimikri yönteminde de tasarımların performansları doğadan öğrenme veya doğayı taklit etme yoluyla geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Flectofin, Stuttgart Üniversitesi'nde (Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE)) disiplinler arası bir çalışmayla *Strelitzia reginae* bitkisinin tozlaşma sürecinden ilham alınarak üretilen bir cephe sistemidir. Proje, teknik bir yenilik geliştirmek için biyolojik süreçlerin incelenmesi ile başlatılmıştır. *Strelitzia reginae* bitkisinin tozlaşma sürecinde göstermiş olduğu kinetik özellikleri soyutlanarak cephede kullanılacak gölgelendirme elemanlarına aktarılmıştır. Cephe sistemlerinde kullanılan gölgelendirme elemanları menteşe sistemleri ile çalışmaktadır. Gölgelendirme elemanlarının kayma ve dönme hareketleri, zaman içerisinde yük nedeniyle menteşelerin deforme olmasına sebep olmaktadır. Ortaya çıkan deformasyonların giderilmesi için menteşe sistemlerine periyodik olarak bakım yapılması gerekmektedir. Buradan yola çıkılarak enerji verimliliğini ve cephenin çevresel koşullara göre adaptasyonunu arttırmak ve bakım giderlerini azaltmak amacıyla *Flectofin* projesi geliştirilmiştir. *Strelitzia reginae* bitkisi tozlaşma sürecinde kuşları kendine çekebilmek adına nektar salgılamaktadır. Nektara gelen kuşlar çiçeğin üzerinde konduklarında ağırlıklarıyla çiçeğin, içerisinde polenler bulunan yaprak benzeri uzantısının omurgasını bükmektedirler ve bu sırada açılan kanatlardan kuşun ayaklarına çiçeğin polenleri bulaşmış olur. Kuş çiçeğin üzerinden uçtuğunda kanatlar elastik özelliği sayesinde eski haline geri dönmektedir. Cephe sistemlerinde bağlantı elemanları kullanmak yerine malzemenin esnek ve elastik özellikleri kullanılarak gölgelendirmenin sağlanması düşünülmüştür. *Strelitzia reginae* bitkisinin kuşun ağırlığıyla bükülen omurgası ve açılan kanatlarından ilham alınarak esnek ve elastik bir malzeme olan FRP'den, menteşe kullanılmadan kiriş ve kanattan oluşan cephe elemanları üretilmiştir. Kirişin bükülerek kanadın bir tarafa doğru hareket etmesi ve gölgelendirmeyi arttırması, bir mesnetin hareketi,

ısıl genleşme ya da çevresel etkenlerin uyaran olarak kullanılması yoluyla sağlanabilir. (Lienhard, ve diğerleri, 2011)



Şekil 2.1. *Strelitzia reginae* çiçeğinin elastik deformasyonu, çift kanatlı *Flectofin*'in çalışma prensibi, 1:1 ölçekli prototip *(Lienhard, ve diğerleri, 2011)*

Achim Menges'in Oliver David Krieg ve Steffen Reichert ile birlikte geliştirdikleri *HygroSkin: Meteorosensitive Pavilion* projesi, doğadaki çevresel etkilere cevap veren süreçler gözlemlenerek tasarlanan bir örnek olarak verilebilir. Pavyon, çam kozalaklarının neme duyarlılık göstererek hücre basıncında meydana gelen değişiklikler sonucu enerji tüketmeksizin açılan ve kapanan pulları ilham alınarak tasarlanmıştır. İnşa edilen ahşap pavyonda gözeneklerin açılıp kapanması için sensörlerden yardım alınmamış ve enerji kullanılmamıştır. Nem oranındaki değişiklikler geliştirilen ahşap kompozit malzemenin çok yönlü lifleri içerisindeki hücreler arasındaki mesafeyi değiştirerek ve kompozitin açılıp kapanması sağlanmıştır. Projede, malzemenin fiziksel özelliklerinin hesaplanması, makroformu oluşturan bileşenlerin tasarlanması ve her birinin robotla üretilmesi açısından sayısal tasarım ve üretim teknolojileri ile bütünleşen bir süreç izlenmiştir. (URL-1)

Şekil 2.2. Çam kozalaklarının neme duyarlılık göstererek açılan pulları, ahşap kompozit malzemenin açık ve kapalı hali, yapı elemanlarının robotla üretimi, *HygroSkin: Meteorosensitive Pavilion (URL-1)*

2.3 MİMARLIKTA BİYOTASARIMA DAYALI YAKLAŞIMLAR

"Biyotasarım" terimi, William Myers'in (2018) "Biodesign Nature Science Creativity" isimli kitabındaki "Biodesign" kullanımına referansla kullanılmıştır. Terimin Türkçe karşılığı olan "Biyotasarım" kelimesi, Türkiye'de Ege ve Dokuz Eylül Üniversiteleri'nden akademisyenlerin kurduğu ve ortak çalışmalar yürüttüğü Türkiye Biyotasarım Takımı (URL-2) tarafından da kullanılmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde mimarlıkta ekolojik yaklaşımlar bağlamında canlıların doğrudan mimari tasarım ve üretim süreçlerine entegre edilmesine dayanan biyotasarım yaklaşımları incelenmektedir. Biyotasarım yaklaşımları içinde iki ayrı yaklaşıma rastlanmıştır. Birinci yaklaşım William Myers'in (2018) "Biodesign" kitabına, ikinci yaklaşım Dirk Hebel ve Felix Heisel'in (2017) derlediği "Cultivated Building Materials" kitabına referansla açıklanmaktadır. William Myers biyotasarım açılımını kent, mimari, yapı malzemesi, iç

mimari, ürün gibi birçok ölçekte tasarım ve sanat alanındaki uygulamaları örneklendirerek yer vermektedir. Buradan yola çıkarak William Myers'in konuya tasarımcı bakış açısıyla yaklaştığını söylemek mümkündür. Dirk Hebel ve Felix Heisel ise biyotasarım terimini kullanmamakla birlikte benzer bir yaklaşımı farklı bir açıdan ele almaktadırlar. Hebel ve Heisel bu derleme ile biyolojik malzemeler üzerine yapılan deneysel araştırma, ürün geliştirme ve bina uygulamaları arasında ilişki kurmayı hedeflemişlerdir. Bu alanda akademiden pratiğe geniş bir yelpazede çalışan profesyonel ve yenilikçi kişilerin iş birliklerini açığa çıkarmak hedeflenmiştir (Hebel & Heisel, 2017). Hebel ve Heisel'in biyolojik malzemeleri endüstriyel üretim süreçleri bağlamında ele aldıkları söylenebilir.

William Myers'in (2018) biyotasarım yaklaşımına göre biyotasarım, doğal ve yapılı çevre arasındaki sınırları eritmesi yönüyle doğayı taklit etmenin ötesinde, yeni, hibrit tipolojilerin keşfedilmesine olanak sağlamaktadır. Biyotasarımda, yaşayan organizmaların ya da ekosistemlerin, temel bileşenler olarak tasarıma dahil edilmesi söz konusudur. Biyolojik süreçler daha az malzeme ve daha az enerji gereksinimleri ile daha yenilenebilirlerdir ve bu yönleriyle endüstriyel ya da mekanik sistemlere alternatif oluşturabilecek potansiyellere sahiptirler.

21. yüzyılın başlarında ve sonrasında doğal kaynakların hızla tükenmesi, insan aktivitelerinin iklim üzerindeki etkileri, kentleşme, ekonomik talepler enerjinin daha etkin kullanıldığı, atıkların yok edildiği, biyoçeşitliliğin korunduğu yeni bir tasarım ve üretim modeline ihtiyaç doğurmuştur ve bu hassas model doğada karşımıza çıkmaktadır. Doğa, biçimsel olarak esinlenilen bir kaynak olmanın ötesinde hayati meseleler için bir rehber oluşturmaktadır. Bugün tasarımcılar yalnızca objeleri ya da binaları değil, kaynakların kullanımı, işlenmesi, tasarımın üretimi, pazarlanması, dağıtımı, tüketimi ve yok edilmesi gibi adımları içeren daha karmaşık bir sistemi tasarlamaktadırlar. Süreç, bir şeyi bitmiş haliyle ortaya koymaktan ibaret olmamakta, ortaya konan şeyin ekolojik bir bakış açısıyla daha karmaşık bir sistem içerisindeki yolculuğunu kapsamaktadır. (Myers, 2018)

Çevreye verilen zararın artması ile entelektüel, etik ve yasal yönlerden doğanın gelecek nesiller için korunmasının gerekliliği ortaya konmuştur. Tasarım alanında, doğanın malzeme ve enerji kullanımındaki ekonomisinin gözlemlenmesi ve doğal sistemlerin tasarıma entegre edilmesi ile tasarımlarda gelişmiş ekolojik performansa ulaşmak hedeflenmiştir. Myers'e

(2018) göre bu süreç, tasarım pratiğinin yaşam bilimleri ile birlikte çalışmasının gerekliliklerini ortaya koymuştur. Bu yeni araştırma alanında gerçekleştirilen disiplinler arası çalışmalarla ortak bir literatür oluşturulması gerekmektedir. Yenilenemez kaynakların tüketimini destekleyen bir toplum bilinci ve biyoçeşitliliğin kaybolmasına neden olan ekonomik aktiviteler gibi yaklaşımlar sürdürülebilir değildir. Doğanın sistemini anlamak ve bu sistemleri tasarımın bir parçası haline getirerek doğayla sürdürülebilir bir uyum içerisinde yaşamak önemli hale gelmektedir.

21. yüzyılda ilerledikçe biyoteknolojik ekipmanların maliyet olarak erişilebilir olması ve internet üzerinden bilgilere hızlıca ulaşılabilmesi ile birlikte tasarımcılar için anlaşılması ve erişilmesi zor olan yaşam bilimleri dünyası daha anlaşılabilir ve yorumlanabilir hale gelmiştir. Mimarlık ve biyoteknoloji iş birliği ile tasarım araştırmaları endüstriyel olmaktan biyoteknolojik olmaya doğru yol almaktadır. (Myers, 2018)

Toplumların yüzyıllar içerisinde değişen ihtiyaçları ve öncelikleri doğrultusunda yapı malzemeleri ve yapım sistemleri gelişim göstermiştir. Örneğin; beton yapı malzemesi Roma İmparatorluğu boyunca kubbe, kemer gibi strüktürel yapı elemanlarını inşa etmek için kullanılmıştır. Endüstri Devrimi ile kullanımı devam eden beton yapı malzemesi çelik endüstrisinin de gelişmesi ile betonarme yapım sistemine evrilmiştir. Bugün ise ekolojik sebeplerle beton yapı elemanlarının kullanım ömürlerini uzatmak ve gereğinden fazla enerji ve kaynak tüketmemek adına bakterilerin beton yapım sistemlerine entegre olduğu alternatifler tartışılmaktadır. Beton yapı malzemesi örneğinde olduğu gibi her çağda değişen ihtiyaçlara mevcut sistemlerin geliştirilmesi ya da yeni çözümlerin bulunması ile karşılık verilmiştir. Bugünün ihtiyacı insan aktivitelerinin çevre üzerindeki etkilerini azaltmaktır. İnsan aktivitelerinden biri olan inşaat alanında bu ihtiyaç daha az malzeme ve daha az enerji kullanarak bina üretmek ve konseptten üretime binanın yaşam döngüsünü düşünmek olarak ortaya çıkmaktadır. (Myers, 2018)

Hebel ve Heisel (2017) “Cultivated Building Materials” kitabında üç tip biyolojik üretim sürecine yer verilmiştir. Bu üretim süreçleri; tarım yoluyla elde edilen hammadde ile üretilen, toprağa bağımlı yapı ürünleri; biyoteknoloji ile topraktan bağımsız olarak laboratuvar ortamında üretilen yapı ürünleri ve doğadan ilham alarak biyobenzetim yoluyla üretilen yapı ürünleri olarak sıralanabilir. Bu derleme ile yapı endüstrisinde ana kaynak

olarak kullanılabilecek biyolojik ürün seçeneklerinin potansiyellerinin mimari tasarım ve üretim süreçleri içerisinde keşfedilmesi amaçlanmıştır.

Endüstrileşme ile birlikte küresel olarak geçerli olabilecek norm ve standartlara ihtiyaç duyulmuştur. Doğal malzemelerin biyolojik kusurları uluslararası düzeyde kabul görmüş seri üretim standartlarına ters düşmektedir. Bu nedenle biyolojik malzemelerin seri üretimlerinin tahmin edilebilir ve kontrol edilebilir sonuçlar vermesi için doğaya müdahale edilmesi gerekmektedir.

Hızlı, standartları belirli ve çoğaltıma dayalı endüstrileşme zihniyeti ile birlikte üretim süreçlerinde, zamanı ve maliyetleri en etkin kullanacak şekilde birbirinin aynısı sonuç ürünler elde edilmesi hedeflenmiştir. Biyolojik süreçlerde ise farklı koşullar altında neredeyse birbirinin aynısı sonuçlar, sayısız çeşitlilikte elde edilmektedir. Örneğin; bir büyüme örüntüsünün en iyi koşullarını bulmak için tüm varyasyonlarını dijital yöntemlerle hesaplamak ya da taklit etmek, sürecin en uygun şekilde gerçekleştirilmesine ve gerektiğinde adapte edilebilmesine yardımcı olacak; açığa çıkarılan bilgilerin bir veri havuzunda toplanması ile deneme yapma ihtiyacı ya da başarısız sonuç alma olasılığı azalacaktır.

Hebel ve Heisel (2017) "Cultivated Building Materials" kitabında mevcut endüstriyel üretim bakış açısını sorgulamayı ve yeni üretim süreçlerinin potansiyellerini keşfetmeyi hedeflemektedir. Bu hedef aynı zamanda üretimin sosyal koşullarını ve yeni malzemelerin ve yapım tekniklerinin kültürel olarak kabulünü de içerir. Biyolojik temelli ve dijital olarak desteklenmiş üretim süreçlerine giriş, dünyadaki gelişmekte olan ve az sanayileşmiş bölgeler için de mümkün olabilecektir.

Yapı malzemeleri endüstrisi lineer modellerle sürdürülmektedir. Hem hammaddelerin işlenerek yapı malzemelerine dönüştürülme sürecinde, hem de yapı malzemelerinin bir araya getirilerek yapı elemanlarının oluşturulmaları ve binaların inşa edilmeleri sürecinde çevresel açıdan sorunlar oluşmaktadır. Kullanılan yapısal performansı iyileştirici kimyasal katkılar, yapıştırıcılar, bağlantı elemanları nedeniyle yapı servis ömrünü tamamladığında yapının bileşenleri geri dönüştürülemeyen ya da yeniden işlevlendirilemeyen atıklara dönüşmektedir. Kullanım ömürleri bittiğinde bünyelerinde barındırdıkları zararlı katkılar nedeniyle toprağı zehirleyen atıklara dönüşen yapı elemanları kullanım süresince de iç

mekan hava kalitesini bozarak insan sağlığını tehdit etmektedir. 1970'lerde toplumların çevre, enerji gibi konularda artan farkındalıklarıyla ortaya çıkan "döngüsel düşünce" (*circular/metabolic thinking*) ile birlikte geri dönüştürülebilirlik, biyolojik uyumluluk, gömülü enerji gibi kavramlar tartışılmaya başlanmıştır.

Hebel ve Heisel'e (2017) göre döngüsel düşünce, malzemelerin diğer maddeler ya da ürünler tarafından değişime uğratılmaksızın kullanılmasını ve kullanım ömürlerini tamamladıklarında başka bir sürecin hammaddesi olacak şekilde akışını sürdürmesini ifade etmektedir. Yapım sistemleri, yıkım esnasında malzemelerin tamamen geri dönüştürülebilir olmalarına imkan vermeli ve bunu engelleyecek yapıştırıcı, birleşim detayı ya da geri dönüştürülemez kompozitler kullanılmaması gerekmektedir. Bu anlayışta malzeme biyolojik döngüden ödünç alınmıştır ve kullanım ömrünü tamamladığında yenilenmek üzere döngüye tekrar dahil edilmelidir.

Doğa – mimari tasarım ilişkileri kapsamında canlıların büyüme, gelişme gibi süreçlerinin mimari tasarıma model olduğu ya da doğrudan entegre edildiği biyomimikri ve biyotasarım gibi çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Mimarlıkta ana akım ekolojik yaklaşımların içinde sürdürülebilir malzeme ve tasarım araştırmaları kapsamında biyomalzemeler geliştirilmektedir. Biyomalzemelere dayalı tasarım araştırmalarının ön çalışması olarak mimarlık ve biyoloji ilişkisinin ön plana çıkartıldığı biyomimikri ve biyotasarıma dayalı tasarım yaklaşımlarına yer verilmiştir. Biyomalzeme araştırmaları yapılardaki ekolojik performansı mikroorganizmalar yardımıyla sağlamaktadır ve bu nedenle disiplinler arası çalışmaları gerekli kılmaktadır.

3. BİYOMALZEMELER ÜZERİNE MİMARİ TASARIM ARAŞTIRMALARI

3.1 BİYOMALZEMELERİN EKOLOJİK MİMARİ TASARIM AÇISINDAN POTANSİYELLERİ

Biyomalzemeler sağlık alanında cansız bir malzemenin mevcut canlı doku ya da organ ile uyumluluk göstererek hasar görmüş ya da kaybolmuş canlı bir doku ya da organ yerine kullanımı uygun olan malzemelerdir (URL-3). Bu alanda cansız bir malzeme, yaşayan bir sistemin parçası olarak sistemin çalışmasını sürdürmesini sağlar ve biyomalzeme olarak tanımlanmaktadır. Mimarlık alanında ise cansız bir yapı elemanına ya da yapı malzemesine bir işlevi yerine getirmek üzere canlı organizmalar entegre edilerek biyomalzemeler elde edilmektedir. Mimarlık alanındaki bu yeni araştırma alanının endüstrileşme ile birlikte değişen yapı üretme pratiklerine bir sorgulama ve daha ekolojik bir bakış açısı getirmeyi hedeflediği söylenebilir.

Barbara Imhof ve Petra Gruber'in (2016) derlediği "Built to Grow: Blending Architecture and Biology" kitabı 2013 – 2015 yılları arasında University of Applied Arts in Vienna'da gerçekleştirdikleri "Growing As Building" projesi için yürütülen kapsamlı araştırmayı içermektedir. Proje kapsamında mimarlık ve biyoloji ilişkisi, doğadaki dinamiklerin ve büyüme örüntülerinin, yaşayan bir mimari yaratmak amacıyla, mimarlık alanında uygulanması üzerine kurulmaktadır. Projede mimarlık ve biyoloji ilişkisi üç temel yaklaşımla ortaya konmaktadır: Birincisi, doğadaki büyüme örüntülerinin soyutlanarak mimariye aktarılması; ikincisi, biyolojinin malzeme sistemlerine entegre edilmesi; üçüncüsü, mevcut mimari yapılara havayı temizleme, yapıyı güçlendirme gibi işlevleri yerine getirebilecek canlı organizma katmanları eklenmesidir. (URL-4)

Büyüme örüntüleri gibi doğadaki biçimlerin ya da süreçlerin soyutlanarak mimari tasarıma entegre edildiği birinci yaklaşım biyomimikri temellidir (Imhof & Gruber, 2016). Biyomimikri, daha az maliyetle daha çevre dostu yaşam alanları oluşturma potansiyeline sahiptir (Speck, 2016).

İkinci yaklaşım, doğada ortam sıcaklıklarında ve kaynakları verimli kullanarak gerçekleşen biyolojik malzeme oluşum süreçlerinin çağdaş malzeme sistemlerine entegre edilmesi üzerine yapılan araştırmaları kapsamaktadır (Imhof & Gruber, 2016).

Biyomalzemeler, çağdaş yapı malzemelerine kıyasla ekolojik olarak daha avantajlıdırlar. Doğada malzeme üretimi halihazırda mevcut olan bileşenlerle ve ortam sıcaklıklarında gerçekleştirilmektedir. Tuğla, cam, çimento gibi yapı malzemeleri benzer bileşenlerle üretilmelerine karşın üretimleri oldukça yüksek sıcaklıklarda ve karmaşık kimyasal adımlarla gerçekleştirilmektedir. Yapı malzemelerinin yapısal performansları yüksek sıcaklık ve kimyasal işlemlerle birlikte iyileştirilmektedir. Yapı malzemelerinin organizmalar yardımıyla üretilmesi ise enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından avantaj sağlamaktadır. (Hoheneder & Gruber, 2016)

Endüstriyel üretim süreçlerinde yapı malzemelerinin neme ya da yangına dayanımı, yapısal dayanımı gibi performanslarını iyileştirmek amacıyla uygulanan işlemler ekolojik olmayan sonuçlar vermektedir. Uygulanan yüksek sıcaklıklar ve kimyasal katkıların yanı sıra kompozitleri oluşturan doğal olmayan bileşenlerin üretimlerinde de enerji kullanımı yüksek seviyelerdedir. Yapı kullanım ömrünü tamamladığında çevreye zararlı ve geri dönüştürülemeyen atıklar haline gelen bu katkılar, yapının kullanım süresince yaydıkları toksik maddelerle de iç mekan kalitesini ve insan sağlığını bozmaktadırlar. Canlı organizmalar yardımıyla daha az gömülü enerjiye ihtiyaç duyacak, çevreye ve insan sağlığına daha az zarar verecek, kullanım ömrünü tamamladığında yeniden kaynak olarak kullanılabilecek, doğada büyük oranda ya da tamamen yok olabilecek biyolojik yapı elemanları üretmek mümkün olabilecektir.

Üçüncü yaklaşım “metabolik sistemler” olarak ifade edilmektedir. Canlılık için maddelerin ve enerjinin sirkülasyonu ve değişimi gerekli metabolik aktivitelerdir. Buradan hareketle, fotosentez yaparak oksijen üreten ve biyokütlesi artan algler ile kalsiyum karbonat üretim süreçleri birbirlerine kaynak oluşturabilecek döngüsel bir ilişki içerisinde kurgulanmıştır. (Imhof & Gruber, 2016)

Organizmaların çoğunun yaşam süreleri sınırlıdır. Ömürlerini tamamladıklarında gelecek nesiller için besin olarak doğada geri kazanılmaları çürüme süreciyle gerçekleşmektedir.

Doğadaki döngüsel üretim süreci inşaat sektörü ve diğer endüstriyel alanlarda model olarak alınabilir. Kaynakların yönetimi ve geri dönüşüm, üretim süreçleri için kritik önem taşımaktadır. (Hoheneder & Gruber, 2016) Yapısal performansı iyileştirmek ya da enerji üretmek gibi işlevlerle mimari üretim süreçlerine canlıların entegre edilmesi yapının kullanım ömrü boyunca ve sonrasında döngüsel bir sürecin parçası olmasını sağlayacaktır.

Canlı organizmaların fotosentez yaparak oksijen üretmeleri ve havayı temizlemeleri, biyokütlelerini arttırarak gölgelenmeyi sağlamaları ve biyoyakıt olarak kullanılabilmeleri özellikleri bina sistemlerine entegre edildiğinde havalandırma, soğutma gibi mekanik servislerin yükü azalacak ve yapılar kendi enerjilerini yenilebilir kaynaklardan üretebilir hale gelecektir.

3.2 BİYOMALZEMELERİN MİMARİ ELEMAN ÜRETİMİ AÇISINDAN POTANSİYELLERİ

15. Venedik Mimarlık Bienali kapsamında hazırlanan "The Life Object" sergisi, biyoloji ve mimarlık disiplinleri arasındaki ilişkileri ve gelecekteki potansiyelli uygulamaları incelemektedir. Biyolojinin yaşamı ve sürekli değişimi içeren bir disiplin olduğundan, mimarlığın ise binaların yıllar boyunca ayakta kalmasını isteyen, stabil bir disiplin olduğundan bahsedilmektedir. Bu çalışmayla doğal olanla yapay olan arasındaki sınırların bulanıklaşarak iç içe geçmesi ve mimarlığın daha geniş bir ekolojide düşünülmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda Noam Attias'ın (2016) "Biological Materials – Cabinets of Curiosities" başlıklı çalışması, canlı organizmalar ve çevreleriyle olan ilişkilerinin açığa çıkarılmasını kapsamaktadır.

Noam Attias (2016), biyolojik bileşenlere ya da organizmalara, kendi yapıları ya da ekosistemlerindeki asıl rolleri dışında yeni işlevler kazandırılması ile mimarlıkta gelişmiş malzemeler üretmenin mümkün olabileceğini ifade etmektedir. Farklı biyolojik süreçlerin moleküler seviyeden ekolojik rollerine kadar anlaşılması, kaynakların etkin kullanımını ve daha sürdürülebilir tasarımları mümkün kılacağı belirtilmektedir. Moleküler biyoloji kullanılarak yapıların kendi genetik kodlarındaki talimatlar izlenerek büyütülebileceği, evrim ya da doğal seçilim gibi doğal süreçlerin yapılara adaptasyonunun yapılarda mutasyonlar oluşturulabileceği ifade edilmektedir. Noam Attias'ın (2016) mimarlık

açısından potansiyelli gördüğü biyolojik süreçleri ortaya çıkardığı çalışması, 4.3., 4.4. ve 4.5. numaralı başlıklarda tartışılan bakteri, alg, yosun ve mantar çeşitleri ile yapılan biyomalzemelere dayalı tasarım araştırmalarının 4.6. numaralı bölümde kavramsal olarak gruplanarak yorumlanmasında esas alınmıştır.

Noam Attias (2016) biyolojik süreçlerin mimari tasarım ve üretim açısından potansiyellerini 5 başlık altında incelemektedir:

Enerjinin Görselleştirilmesi (*Visualizing Energy*): Fotosentetik organizmalar güneş enerjisi, karbondioksit ve su ile besin formunda enerji ve oksijen üretirler. Bu nedenle bitkiler doğadaki birincil ve ana enerji üreticisidirler. Bitkilerin ürettikleri enerji, bitkilerle ya da bitkilerle beslenen hayvanlarla beslenen hayvanlar tarafından tüketilir ve yeni bir döngüye dahil olmak üzere farklı formlarda doğaya geri dönerler. Bu malzemeler bakteriler ve mantarlar tarafından sayısız kimyasal süreçten geçerek ana bileşenlerine ayrılır ve doğaya geri kazandırılırlar. Attias'a göre enerji üretim süreçleri biyogenetik çalışmalarla görselleştirilebilir.

Büyüme Örüntülerini Anlamak (*Understanding Growth Patterns*): Ekosistemleri karmaşık süreçler ve ilişkiler oluşturmaktadır. Doğadaki öngörülemez dinamikler nedeniyle organizmalar büyüme örüntülerini değiştirerek ortam koşullarındaki kısıtlı kaynaklarla mücadele etmektedirler. Avustralya Newman yakınlarındaki Peri Çemberleri (*Fairy Circles*) çorak arazilerde, yaklaşık 4 metre çapında, altıgen formlarda büyüyen örüntülerdir. Bu örüntü morfolojileri düşük yağış alan çorak arazilerde suyun tutulmasına katkı sağlamaktadır. Bu doğal formların mekansal örgütlenmeleri dikkate alındığında daha sürdürülebilir peyzaj tasarımları mümkün olacaktır.

Çevreyi Algılamak (*Sensing the Environment*): Organizmalar hayatta kalabilmek ve üremek için çevreye duyarlıdırlar ve ortam koşullarına fiziksel veya kimyasal yollarla cevap verirler. Bakteriler sensör olarak manipüle edildiklerinde ışık yayarak, renk değiştirerek ya da koku yayarak çevresel değişiklikleri yansıtabilmektedirler. Böylece mevcut duyu ve araçlarla fark edilemeyen maddeler tespit edilebilmektedir. Bu metotlar halihazırda yaşam bilimlerinde yemek, ilaç ve güvenlik gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Yapısal Ağlar ve Dayanıklılık (*Structural Networks and Durability*): Mineraller mimarlıkta yapısal elemanlar ölçeğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok organizma yapısal dayanım ve korunma sağlamak için iskelet ya da kabuk gibi yapılarını biyomineralizasyon süreci ile oluşturmaktadır. Bu mineraller oldukça hassas, organize olmuş nano ölçekteki örüntülerin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır ve gelişmiş mekanik özelliklere sahip kompozitler oluşturabilmek için genellikle proteinler gibi organik bileşenler bir araya getirilmektedir. Fiziksel koruma sağlamanın yanı sıra mineralize kabuk dış tehditlerle ve çevresel zorluklarla başa çıkabilecek şekilde kendini adapte etme yeteneğine sahiptir. *Bryozoa* kolonileri her biri kendi mineral iskeletlerini oluşturan tekil mikroskobik organizmalardan oluşmaktadır. Her organizma birbirinden bağımsızdır fakat komşu organizmalar lifler aracılığı ile birbirlerine bağlıdır. Büyüme örüntüleri organizmaların cinslerine ve çevre koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir. *Bacillus subtilis* kolonileri hücre dışı matriks salgılayarak sert bir biyofilm oluşturmaktadır. Bakteri hücresine fiziksel koruma sağlayan bu oldukça dayanıklı malzeme aynı zamanda çevresel etkilere karşı direnç göstermektedir ve yapısındaki kanallarla bilgi akışını sağlayan oldukça etkili bir ağ görevi görmektedir.

Dinamik Yapılar (*Dynamic Structures*): Biyolojik yapılar genellikle dinamiktir ve çevreden gelen dış uyaranlar yapıyı nanometrik seviyede tetikleyerek yapının fiziksel rengini etkilemektedirler. Kamuflaj gibi çeşitli davranışlar fiziksel renklerin değişimi ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle biyolojik yapıları moleküler seviyede anlamak geçici ve kalıcı uygulamalar için daha dayanıklı ve sürdürülebilir renk, doku kullanımına yardımcı olabilir.

Malzemelerin Çözülmesi ve Geri Dönüşümü (*Material Breakdown and Recycling*): Beyaz çürükçül mantarlar lignin moleküllerinin sindirimini sağlamaktadır. Bu karmaşık süreç insanlar tarafından ağaç ve bitki atıklarının işlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca aynı süreç, toprak ve su kirliliğinin önüne geçmek adına benzer molekül yapısındaki boya, ilaç gibi yapay malzemelerin çözülmesi için de kullanılabilir.

3.3 BAKTERİ ÇEŞİTLERİ İLE YAPILAN BİYOMALZEME ARAŞTIRMALARI

Ernst Callenbach (2017) bakterileri, yaşamın temel özelliklerini gösteren, kendi kendilerini düzenleyen, kendilerine özel biçimler oluşturan ve hareket eden, zarar gören kısımlarını

iyileştiren ve yenileyen, üreyerek genetik bilgilerini aktaran organizmalar olarak tanımlamaktadır. Bakteriler sıcaklık, tuzluluk ya da kuruluk gibi çevresel sebeplerle ölebilirken yaşlanarak ölmezler. Bazı bakteriler zorlu, az besin bulunan, elverişsiz sıcaklıklarda, kirlilik oranı yüksek ortam koşullarında yaşayabilirken, bazıları orta dereceli çevre koşullarını tercih eder. Bazı bakteriler ayrıştırıcı özellikleri ile maddeleri temel bileşenlerine ayırırlar ve diğer canlıların kullanabilmelerini sağlarlar. Bir diğer önemli rolleri ise karbon döngüsünü sağlamalarıdır. Böylece Dünya'nın atmosferine olumlu katkı sağlarlar ve küresel sıcaklıkların dengelenmesine yardımcı olurlar. (Brooker, Widmaier, Graham, & Stiling, 2011)

Bakterilerin gıda, tarım, madencilik, kimya ve ilaç gibi endüstriyel alanlarda kullanımları oldukça yaygındır. Atık suların arıtılması, peynir ve yoğurt fermantasyonu, altın, bakır gibi madenlerin geri dönüştürülmesi, antibiyotiklerin üretilmesi gibi farklı amaçlarla bakteriler kullanılmaktadır. (Jonkers, 2017)

Doğada çok çeşitli rolleri olan bakterilerden biyomineralizasyon süreci ile kalsiyum karbonat yani kireçtaşı mineralini üreten bakteri türünün mimari tasarıma entegre edildiği mimari tasarım ve yapı malzemeleri araştırmaları mevcuttur.

Tablo 3.1. Bakteri çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmaları örnekleri[1]

	A1 | Dune | Bakteri (*Sporosarcina pasteurii*) | Tasarım Araştırmaları Magnus Larsson, AA / Magnus Larsson Studio 2010, Londra
	A2 | Bioconcrete | Bakteri (*Sporosarcina pasteurii*) | Yapı Malzemeleri Henk Jonkers, TUDelft 2010, Delft
	A3 | BioMason Bricks | Bakteri (*Sporosarcina pasteurii*) | Yapı Malzemeleri BioMason 2012, ABD
	A4 | Atık Su Arıtma Tankı – Bioconcrete | Bakteri | İnşa Edilmiş Proje TUDelft, Waterboard Limburg, Bescon 2016

Tablo 3.1.'de bakteri çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmalarından örnekler kapsamlarına göre tasarım araştırmaları, yapı malzemeleri ve inşa edilmiş projeler olarak sıralanmıştır. Biyomalzeme araştırmalarında bakterilerin kullanımları seçilen farklı kapsamlardaki örnek projelerin anlatımları ile desteklenmeye çalışılacaktır. Buradan yola çıkılarak tasarım araştırmaları kapsamında *Dune* projesi anlatılacaktır. Yapı malzemeleri kapsamında anlatılacak olan *Bioconcrete* aynı zamanda Atık Su Arıtma Tankı projesinin de yapı malzemesidir.

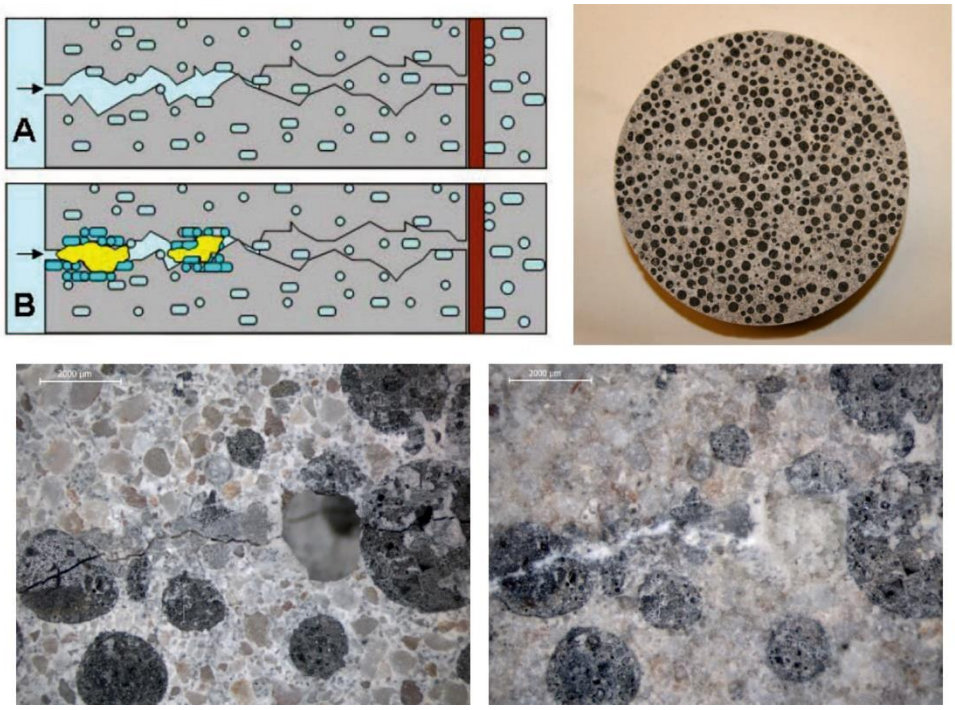
Dune projesi, Sahra Çölü'ndeki kumların kum fırtınaları nedeniyle güneye hareketinin sebep olduğu çölleşme tehdidine ve çölleşmeye bağlı zorunlu göçe dikkat çekmektedir. Kumların hareketinin her gün 1 metre ekilebilir alanı yok ettiği ifade edilen proje anlatımında, kumların hareketini durdurmanın kritik olduğu aktarılmıştır. (URL-5) Bu çerçevede mimar Magnus Larsson, kum taşlarının çevresel etkilerle aşınmaları yoluyla oluşan kum tanelerini mikroorganizmalar yardımıyla tekrar birbirine bağlayarak durgun kum tepelerine çevirecek ve içlerinde hem bitkileri koruyacak hem de yaşanabilecek hacimler oluşturacak bir öneri sunmaktadır. Bu tasarım sorusuna kireçtaşı üreterek kum taneleri arasındaki boşlukları

[1] Görsellerin kaynakları için bkz. Ek-2.1.

dolduran *Sporosarcina pasteurii* türü bakteri ile cevap verilmiştir. Bir çeşit doğal beton üreten bakterilerin, kum tepelerine enjeksiyonu ya da şişme yapılar yardımıyla kum tepeleri içerisinde yayılmalarının sağlanması ve sonrasında katılaşan kumtaşı strüktürün içerisinde kalan kumların tahliye edilmesi ile mimari yapıların oluşturulması önerilmiştir. Mimari yapıların formlarında ise *Tafoni* denen hücresel mağara oluşumlarından ilham alınmıştır. (Larsson, 2011)

Şekil 3.1. Bakterilerle inşa edilen alanın çevreyle ilişkisi, kum tepesinin kesiti, bitkileri koruyan ve yaşanabilir hacimlerden biri *(URL-6)*

Beton karışımındaki kum ve çakıl gibi yenilenemez kaynaklar olan madenleri kullanmak sürdürülebilir değildir. Doğada çok uzun bir oluşum süreci sonucunda oluşan yenilenemez kaynaklar doğadan alındıklarında tekrar aynı formda doğaya geri kazandırılamaz şekilde dönüştürülerek kullanılmaktadırlar. (Hebel & Heisel, 2017) İnsan üretimi yapılar hasar önleme ve servis ömrünü uzatma nedenleri ile olması gerekenden daha fazla boyutlandırılmaktadırlar. Yapılarda gereğinden fazla yapı malzemesi kullanımı, ekonomik açıdan avantajlı olmamakla birlikte çevresel baskının artmasına da neden olmaktadır. Doğada ise süreç dayanım için boyutların arttırılması şeklinde değil, hasar gören yapıların onarılarak yapısal dayanım performansının devam ettirilmesi şeklinde işlemektedir. (Jonkers, 2017) Bu bakış açısıyla Henk Jonkers, doğal süreçlerle mimari yapı malzemeleri araştırmalarını entegre ettiği çalışmasını ortaya koymuştur. *Bioconcrete* projesinde, kireçtaşı üreten *Sporosarcina pasteurii* türü bakteri, beton karışımı içerisine pasif olarak eklenmiş, beton yapı elemanında kullanım ömrü boyunca meydana gelecek çatlaklarda bakterilerin aktive olarak çatlaklardaki boşluğu kireçtaşı ile doldurması sağlanmıştır. Bu sayede çatlaklardan girecek nem ve havanın beton yapı elemanının yapısal dayanımını zayıflatmasının önüne geçilmiştir. (Myers, 2018)

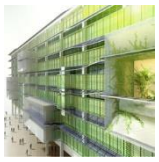


Şekil 3.2. Bakterilerin betonda oluşan çatlağı doldurması diagramı, Bioconcrete yapı malzemesi örneği, kendi kendini onaran beton yapı malzemesinin öncesi ve sonrası *(URL-7)*

3.4 ALG VE YOSUN ÇEŞİTLERİ İLE YAPILAN BİYOMALZEME ARAŞTIRMALARI

Su habitatında yaşayan yeşil algler daha kuru, güneşli ve değişken sıcaklıklardaki karasal habitata adapte olarak kara bitkilerini oluşturmuşlardır. Yosunlar kara bitkilerinin (land plant) en basit formlarıdır ve 12.000'den fazla türü vardır. Algler ve yosunlar ekolojik olarak gelişmiş bitkiler dominant olmadan önce milyonlarca yıl boyunca büyük alanlara yayılmışlardır ve toprağın, Dünya atmosferinin kimyasal yapısı ve iklim üzerinde önemli rol oynamışlardır. (Brooker, Widmaier, Graham, & Stiling, 2011)

Tablo 3.2. Alg ve yosun çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmaları örnekleri[2]

	B1 | The Urban Algae Folly | Mikroalg (*Spirulina*) | Tasarım Araştırmaları ecoLogic Studio 2015, Milano
	B2 | Filene's Eco Pods | Alg | Tasarım Araştırmaları Höweler + Yoon Architecture, Squared Design Lab 2009, Boston
	**B3** | Process Zero: Retrofit Resolution | Mikroalg | Tasarım Araştırmaları HOK, Vanderweil 2011, Los Angeles
	B4 | Biological Concrete | Mikroalg, Yosun | Tasarım Araştırmaları Sandra Manso, Universitat Politecnica de Catalunya Barselona
	B5 | BioCeramic System | Yosun | Yapı Malzemeleri Iker Luna, IAAC 2013, Barselona
	B6 | B.I.Q. House | Mikroalg | İnşa Edilmiş Proje Splitterwerk, Arup GmbH, B+G Ingenieure, Immosolar GmbH 2013, Hamburg

Tablo 3.2.'de alg ve yosun çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmalarından örnekler kapsamlarına göre tasarım araştırmaları, yapı malzemeleri ve inşa edilmiş projeler olarak sıralanmıştır. Biyomalzeme araştırmalarında alg ve yosunların kullanımları seçilen farklı kapsamlardaki örnek projelerin anlatımları ile desteklenmeye çalışılacaktır. Buradan yola çıkılarak tasarım araştırmaları kapsamında mikroalglerin kullanıldığı *The Urban Algae Folly* projesi anlatılacaktır. İnşa edilmiş projelere örnek olarak mikroalglerin cephe elemanları içerisinde kullanıldığı *B.I.Q. House* projesine yer verilecektir. Yapı malzemeleri kapsamında yosun kullanılarak üretilen *BioCeramic System* projesi anlatılacaktır.

[2] Görsellerin kaynakları için bkz. Ek-2.2.

Mikroalgler fotosentetik canlılardır. Büyük ağaçların 10 katı kadar karbondioksit emisyonu yaparak oksijen üretirler ve insan vücudu için gerekli besinleri içerirler. ecoLogic Studio, *The Urban Algae Folly* projesinde hem mikroalglerin ideal yaşam koşullarını simüle edecek hem de ziyaretçilerin konforunu sağlayacak bir cephe sistemi olarak geri dönüştürülebilir ETFE cephe sistemini kullanmıştır. Güneşli günlerde fotosentez yaparak büyüyen mikroalgler, cephenin gölgelendirme potansiyelini arttırmakta ve ziyaretçilerin daha konforlu bir deneyim yaşamasına imkan vermektedir. Ayrıca, ziyaretçiler varlıklarıyla mikroalglerin fotosentez süreçlerini simüle edecek dijital uyarı sistemlerini harekete geçirmektedirler. Bu sayede gerçek zamanlı bir şekilde çevresel faktörlerin mikroalgler üzerindeki etkileri gözlemlenebilmektedir. Mikroalgler insan vücudu için gerekli proteinleri bünyelerinde barındırmaktadırlar. Bu yönüyle *The Urban Algae Folly* projesi yeni bir kentsel tarım anlayışı ile bir besin kaynağını yapıların cephelerine entegre ederek yetiştirmenin mümkün olabileceğini tartışmaktadır. (URL-8)

Şekil 3.3. *The Urban Algae Folly* pavyonu genel görünüş, ETFE cephe sistemi içerisinde mikroalgler *(URL-9)*

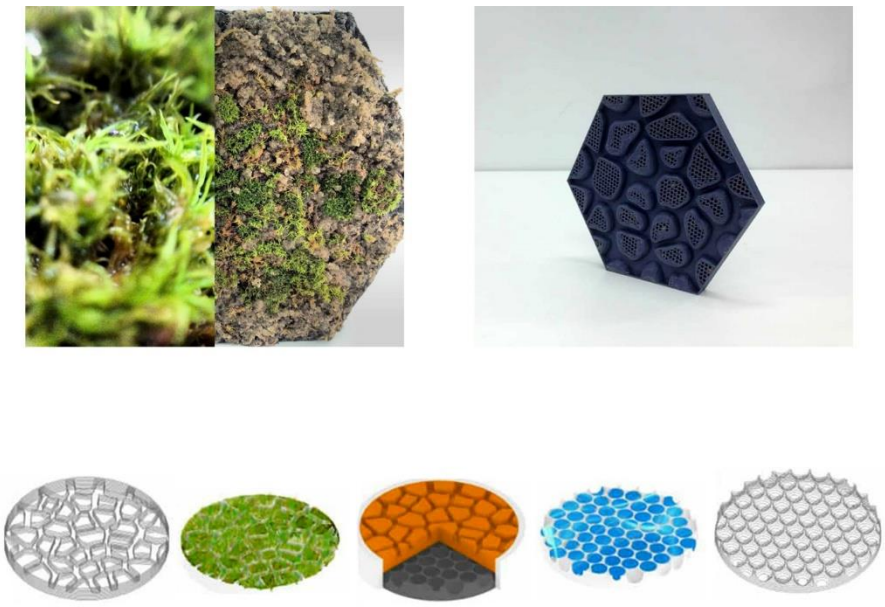
Mikroalglerin cephe sistemi içerisinde kullanıldığı, inşa edilmiş bir proje olarak *B.I.Q. House* örnek gösterilebilir. *The Algae Folly* projesi ile benzer olarak mikroalglerin fotosentez yaparak büyümesi ile iç mekandaki gölgelendirmeyi arttırması hedeflerden biridir. Bu nedenle mikroalgleri içeren cephe elamanları güney cephesinde konumlandırılmış, kurgulanan sistem ile mikroalglere karbondioksit ve besin iletimi sağlanmıştır. Fotosentez yaparak biyokütlesi artan mikroalgler sonrasında cephe elemanları içerisinden toplanarak biyogaz elde etmek üzere yapının başka bir bölümüne aktarılmakta ve yapının enerjisini üretmek üzere kullanılmaktadır. (URL-10)

Rachel Armstrong günümüzü enerji, madde ve bilgi akışının sürekli olduğu ve birbiri ile haberleşen sistemlerin gerekliliğinin arttığı bir dönem olarak nitelemektedir. Doğadan kopyalama ya da ilham alma yoluyla daha etkili çözümler üretmek yerine biyolojik süreçlerin mantığını mekanik, teknolojik ya da teknik sistemlere aktarmanın potansiyellerini vurgulamaktadır. Bu yönüyle *B.I.Q. House* kendi enerjisini üreten, birbiri ile ilişkili sistemlere sahip, yaşayan bir canlı gibi kurgulanmıştır. Mikroalgler ise yaşayan canlılar olarak bu sistemin işleyişinin bir parçası haline getirilmiştir. (Armstrong, 2017)

Şekil 3.4. *B.I.Q. House* yapısının güney cephesi, cephe sistemi içerisinde mikroalgler *(URL-10)*

Yosunlar uygun nemlilik ve pH seviyesindeki çeşitli yüzeylerde büyüme gösterebilmektedirler. Çatı yüzeyleri yosunların yetişebilmesi için elverişli yüzeylerdir. Buradan yola çıkılarak Iker Luna tarafından çatı yüzeylerinde kullanılabilecek, hem fotosentez yaparak kentin atmosferine katkı sağlayacak, hem de yapıda termal ve akustik performansı arttıracak, üzerinde yosun yetişen seramik karolar geliştirilmiştir. *BioCeramic System* projesinde öncelikle yosunların en verimli hangi tip gözeneklilik ve pürüzlülük seviyelerinde yetiştiği tespit edilmiştir. Üretilen prototipte seramik karo iki katmandan oluşmaktadır. Üstteki ilk katman yosunun yetişeceği, nem seviyesinin yüksek olacağı

katmandır ve geometrisi kırılmaları önlemek amacıyla tasarlanmıştır. Alttaki ikinci katman sistemin sertliğini arttıran ve su geçirimsizliği sağlayacak katmandır. (URL-11)



Şekil 3.5. Seramik yüzey üzerinde yetiştirilen yosunlar, yosunların yetiştirileceği gözenekli katmanın modeli, Bio Ceramic System'in katmanlaşması (Görsel yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir.) *(URL-11)*

3.5 MANTAR ÇEŞİTLERİ İLE YAPILAN BİYOMALZEME ARAŞTIRMALARI

Mantarlar kendi besinlerini üretememeleri ve salgıladıkları enzimlerle organik maddeleri daha küçük organik moleküllere çevirmeleri yönleriyle hayvanlara benzemektedirler. Mantarların gövdesi hif denilen lifli yapıların bir araya gelerek oluşturdukları miselyumdan oluşmaktadır. Hif toprak altında yayılarak mantarın besin ihtiyacını karşılamakta ve mantarın toprak üstünde gözlemlenebilen gövdesinin büyümesini ve üremesini sağlamaktadır. Eğer toprak besin yönünden zenginse mantar miselleri hızla büyür ve hif 1 günde kilometrelerce yayılabilir. Mantarlar ayrıştırıcılar olarak ekosistemdeki malzeme döngüsüne katkı sağlamaktadır. Ayrıca, enerji ve besin döngüsünde de önemli rol oynamaktadır. Mantarların ayrıştırıcı, topraktaki zararlı hayvan ve bitkileri yok eden, insan ve bitkilerde hastalık yapan ve diğer türlerle yararlı iş birlikleri kuran türleri mevcuttur. Mantarlar ayrıştırıcı ve mayalama özellikleri ile kimya, gıda ve atık arıtma sektörlerinde kullanılmaktadır. (Brooker, Widmaier, Graham, & Stiling, 2011)

Tablo 3.3. Mantar çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmaları örnekleri[3]

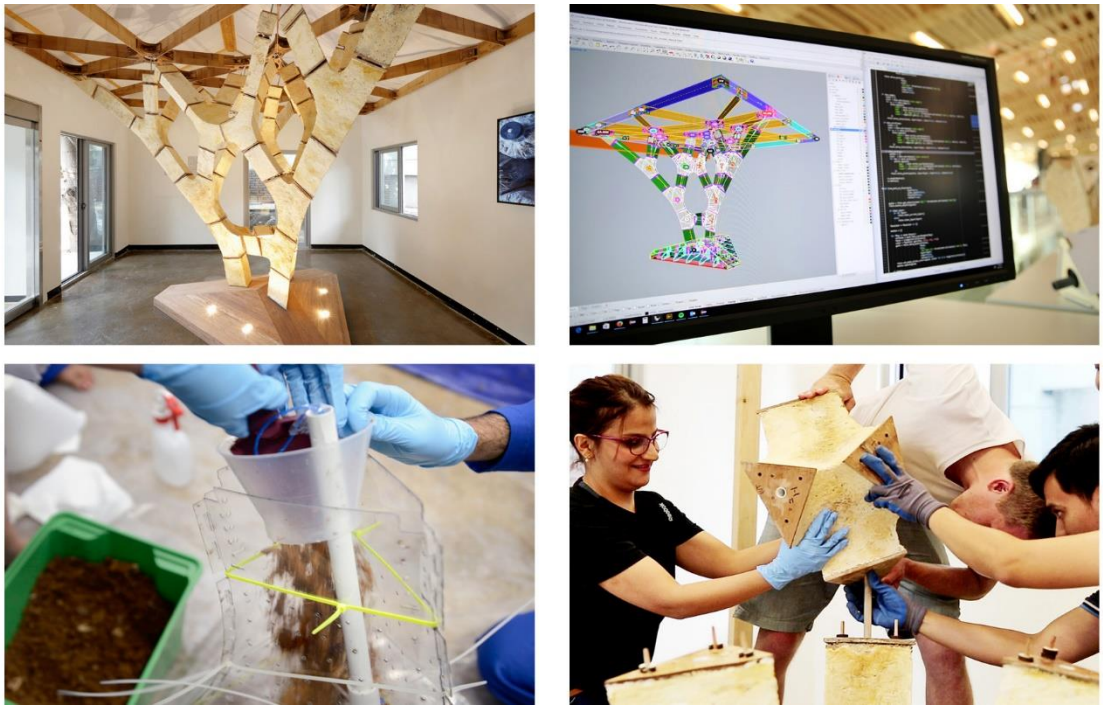
	C1 | MycoTree | Miselyum (*Ganoderma Lucidum*) | Tasarım Araştırmaları Dirk Hebel, Sustainable Construction (KIT), Block Research Group (ETH Zürich), Alternative Construction Materials (ETH Zürich) 2017, Seul
	C2 | Shell Mycelium | Miselyum | Tasarım Araştırmaları Beetles 3.3, Yassin Arredia Design 2016, Fort Kochi
	C3 | The GrAB Mycelium Experiment | Miselyum | Tasarım Araştırmaları Barbara Imhof, Petra Gruber, GrAB, University of Applied Arts 2016, Viyana
	C4 | Alveosis | Miselyum | Tasarım Araştırmaları Nilüfer Kozikoğlu, Urban Atölye 2017, Antalya
	C5 | Miselyum Esaslı Bir Materyalin Esnek Kalıp Üzerindeki Büyüme Davranışı Üzerine Bir Araştırma | Miselyum | Tasarım Araştırmaları A. Gülay Elbasdı, İTÜ Yüksek Lisans Tezi 2016, İstanbul
	C6 | The Circular Garden | Miselyum | Tasarım Araştırmaları CRA – Carlo Ratti Associati, Eni 2019, Milano
	C7 | Grown Structures | Miselyum | Tasarım Araştırmaları Aleksi Vesaluoma, Brunel University, Astudio Londra
	C8 | Mycocomposite | Miselyum | Yapı Malzemeleri Ecovative Design 2007, New York
	C9 | Hy-Fi | Miselyum | İnşa Edilmiş Proje The Living 2014, New York

[3] Görsellerin kaynakları için bkz. Ek-2.3.

C10 | The Cork Studio | Mantar Meşesi (*Quercus suber L*) | İnşa Edilmiş Proje
Studio Bark
2018, Londra

Tablo 3.3.'te mantar çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmalarından örnekler kapsamlarına göre tasarım araştırmaları, yapı malzemeleri ve inşa edilmiş projeler olarak sıralanmıştır. Biyomalzeme araştırmalarında mantarların kullanımları *MycoTree* projesi kapsamında anlatılacaktır. *MycoTree* projesi yapı malzemesi olarak kullanılan mantar bloklar, mantar blokların tasarım araştırmasının bir parçası olması ve geometrik araştırmalar yoluyla taşıyıcı bir sistem olarak inşa edilebilme olasılığının tartışılması yönleriyle belirlenen sıralama ölçütlerini karşılamaktadır.

MycoTree, yapı malzemeleri üretmek için kullanılan yenilenemez kaynaklar yerine, yapı malzemelerinin yetiştirilebileceği bakış açısını tartışan bir projedir. Strüktür, mantar miselyumlarının şeker kamışı, talaş gibi tarımsal atıklar içeren karışımlar içerisinde 2 hafta boyunca gelişerek bağlayıcı bir yapı kazanması ve kalıp içerisindeki karışımın yoğunlaşması sonucu elde edilen yapı elemanları ile üretilmiştir. Bu organik yapı elemanları yerel olarak yetiştirilebilmekte ve kullanım ömürlerini tamamladıklarında tamamen kompost haline gelebilmektedirler. Çelik, beton gibi yapı malzemelerine kıyasla yapısal dayanımı oldukça zayıf olan miselyum blokları, strüktürel elemanlar olarak kullanmak söz konusu olduğunda 3B modelleme teknolojilerinden faydalanılmıştır. Miselyum blokların strüktürel limitleri geometrik araştırmalar ile aşılmıştır. Bu sayede geometri yoluyla strüktürel dayanımı zayıf yapı elemanları kullanılarak stabil strüktürler inşa etmenin olasılıkları tartışılmıştır. Üretilen miselyum blokların birleşim detaylarında çelik bağlantılar en aza indirilmiş, blokların alt ve üst yüzeylerine yerleştirilen bambu plakalar arasında ahşap dübellerle geçme sistem uygulanmıştır. (Heisel, ve diğerleri, 2017)



Şekil 3.6. *MycoTree* genel görünüm, yapı bileşenlerinin 3B modeli, miselyum blokların hazırlık aşaması, miselyum blokların bambu geçme sistemler kullanılarak birleştirilmesi *(URL-12)*

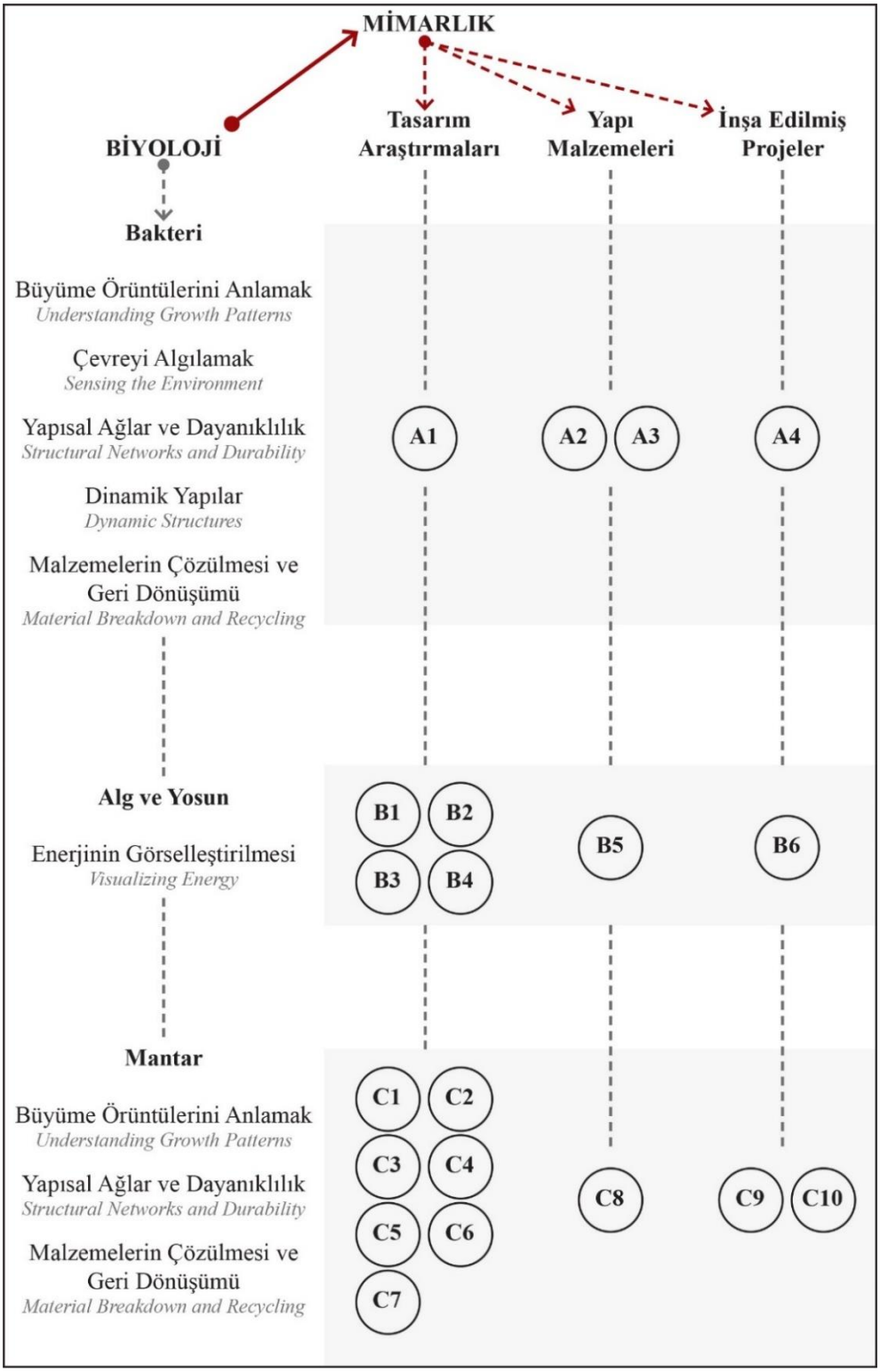
3.6 BİYOMALZEMELERE DAYALI MİMARİ TASARIM ARAŞTIRMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

William Myers (2018), mimarların daha ekolojik inşa edebilmek için biyolojik süreçleri keşfetmekte olduklarını ifade etmektedir. Biyolojik süreçlerin dahil edildiği tasarımlar, yapılı olmayan çevrenin enerji akışlarını, karmaşıklıklarını ve belirsizliklerini kucaklamakta ve tasarımcının tasarım ve üretim sürecindeki alışılagelmiş kontrol altında tutma ve tahmin edilebilir olma hallerini bir kenara koymasını sağlamaktadır. Myers'e göre tasarımcılar canlı ve cansız malzemelerden hibritler yaratarak modernist anlayışla yapılı çevre ve doğa arasında çizilen net sınırları zorlamaktadırlar.

Verilen örneklerde çeşitli ölçeklerdeki mimari üretimlerin biyolojik süreçlerle yeniden düşünülmesi üzerine araştırmalar bulunmaktadır. Makinelerle sürdürülen endüstriyel üretim süreçleri yerine mikroorganizmalar ile yürütülen enerjinin ve kaynakların verimli

kullanıldığı üretim süreçleri önerilmiştir. Tasarımlarda biyoloji ve teknolojinin gelişmiş kesişimleri ortaya konmuştur.

Verilen örneklerde bakteri, alg, yosun ve mantar çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmaları ortaya konmuştur. Şekil 3.7.'de biyomalzemelere dayalı tasarım araştırmalarında kullanılan bakteri, alg, yosun ve mantarların Noam Attias'ın (2016) yaklaşımından hareketle potansiyelleri yorumlanmış ve Tablo 3.1., Tablo 3.2. ve Tablo 3.3.'te verilen örnek projeler sözü edilen tablolarda kullanılan kodlamaları ile tasarım araştırmaları, yapı malzemeleri ve inşa edilmiş projeler ölçeklerinde gruplandırılmıştır.



Şekil 3.7. Biyomalzeme üretiminde kullanılan mikrobiyolojik canlıların Noam Attias'ın (2016) yaklaşımından hareketle potansiyellerinin yorumlanması ve seçilen örnek projelerin tasarım araştırmaları – yapı malzemeleri – inşa edilmiş projeler süreçlerine göre dağılımı (A, B ve C için bkz. Tablo 3.1., Tablo 3.2. ve Tablo 3.3.) (bkz. Ek-1)

Şekil 3.7. oluşturularak mikroorganizmalar ile yapılan biyomalzeme araştırmalarının dağılımının ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Şekil 3.7.'ye göre bakteri, alg, yosun ve mantar çeşitleri ile yapılan biyomalzeme araştırmaları çoğunlukla tasarım araştırmaları düzeyinde kalmaktadır. Yapı malzemeleri olarak geliştirilen biyomalzemelerin araştırma süreçleri devam etmektedir ve kullanımlarının yaygınlaşmadığı yorumu yapılabilmektedir. Biyomalzemeler kullanılarak inşa edilen projeleri ise pilot uygulamalar olarak görmek mümkündür. Buradan yola çıkılarak, genel örnek proje anlatımlarında da vurgulandığı üzere, ekolojik mimari tasarım ve biyoloji arakesitinde yapılan çalışmalar disiplinler arası iş birliklerinden doğan potansiyelleri ortaya koymakta ve ileri çalışmalar için farklı bakış açıları geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır.

4. SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK YAPILAR VE SAYISAL TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİYLE ENTEGRASYONU ÜZERİNE DENEMELER

4.1 SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK YAPILAR: KERPİÇTEN ENDÜSTRİYEL BLOKLARA

Endüstrileşme ile birlikte çimento esaslı yapı malzemeleri seri üretim açısından daha avantajlı olmaları, norm ve standartlara uyumlu olmaları nedeniyle toprak yapı malzemelerinin önüne geçmiş, toprak yapım sistemlerine özel uygulama alanlarında yer verilmiştir. Yapılarla ilgili sağlık konuları ve kaynakların kullanımı gündeme geldiğinde ise toprak yapılar tekrar dikkate alınmaya başlanmıştır. Toprak yapı malzemesi, estetik değerinin ötesinde iç mekan iklimine olumlu katkıları ile ön plana çıkmaktadır (Ziegert & Blaschek, 2017). Toprak yapı elemanlarının fabrikada üretim imkanlarının ortaya çıkması, çağdaş kullanımları için avantaj sağlamaktadır.

Ruhi Kafescioğlu'nun (2017a) tanımına göre toprak yapılar, pişirilmeden oluşturulan toprak kökenli yapılar ve yapı elemanlarını kapsamaktadır. Toprak yapılar kavramı geleneksel kerpiç yapılardan farklılaşan, nitelikleri geliştirilmiş toprak malzemeyle üretilen yapıları ifade etmektedir. Enerji tasarrufu yönüyle bakıldığında yapım aşamasında pişirme ihtiyacı duyulmaması, kullanım süresince de toprak yapıların termik performansları ile biyoklimatik konforu sağlamaları ve ısıtma ve soğutma için harcanan enerjiyi azaltmalarına bağlı olarak ekolojik bir yapı türü olduğu ifade edilmektedir. (Kafescioğlu, 2017b)

Sıkıştırılmış toprak tekniği, belirli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip yapı toprağının kalıp içerisine aşama aşama dökülerek insan gücüyle tokmaklanması ya da toprağı basınçla kalıba pompalayan veya püskürten araçlarla sıkıştırılması tekniğidir. (Kafescioğlu, 2017a) Sıkıştırma yöntemiyle oluşturulan toprak yapı elemanlarının yerinde döküm uygulamaları yapılabildiği gibi gelişen sayısal tasarım ve üretim teknolojileri yardımıyla endüstriyel alanlarda, farklı geometrilerde üretilip, boyutlandırılıp, inşaat sahasına taşınmaları da mümkündür.

Yapı topraklarının yapısal performanslarını geliştirmek üzere farklı bileşenlerle karışımlar hazırlanmaktadır. Kireç, cam elyafı, magnezyum oksit minerali, çimento, saman, kül gibi malzemeler, farklı kombinasyonlar ve oranlarla yapı toprakları ile karıştırılmakta ve kerpiç, yerinde dökme, sıkıştırma gibi yapım teknikleri ile uygulamalar yapılmaktadır. Teksas Üniversitesi ile birlikte çalışan Digital Architecture Research Consortium isimli araştırma kurumu *Engineered Earth* çalışmasında yapı toprağı ile 3 farklı karışım hazırlamıştır. 1. karışımda, yapı toprağı, kireç, kül, cam elyafı; 2. karışımda, yapı toprağı, kireç, magnezyum oksit minerali, cam elyafı; 3. karışımda, yapı toprağı, çimento, cam elyafı bileşenleri bulunmaktadır. İçerisinde çimento bulunan 3.karışımın, yapılan basınç dayanımı testinde yapısal olarak en iyi performansı gösterdiği tespit edilmiştir. (URL-13)

Şekil 4.1. *Engineered Earth* çalışması kapsamında yapılan basınç dayanım testleri *(URL-13)*

Herzog & de Meuron ve Lehm Ton Erde iş birliği ile 2014'te inşa edilen *Ricola Herb Center* projesi sıkıştırılmış toprak tekniği ile üretilmiş prefabrik panellerden oluşmaktadır. Prefabrik sıkıştırılmış toprak paneller yerel kaynaklardan çıkarılan malzemelerle, proje alanına yakın bir fabrikada üretilmiştir. Killi ve marnlı[4] yapı toprağının kalıplar içinde sıkıştırılmasıyla paneller oluşturulmuştur. Toprak karışımının cıvık kıvamı sayesinde homojen bir görünüm için düzeltmeler yapılmıştır. Rüzgar ve yağmurun neden olabileceği aşınmaları önlemek amacıyla volkanik tüf ve kireç karışımı her 8 katmanda bir kalıpların içerisine sıkıştırma yöntemiyle eklenmiştir. Proje anlatımında toprak yapı malzemesinin nemi düzenleyen bir yapı malzemesi olduğu, enerji kullanımı ve iç mekandaki genel iklim kontrolü üzerinde olumlu, sürdürülebilir bir etkiye sahip olduğu aktarılmıştır. (URL-14)

[4] Marn: Killi ve kireçli maddelerin birlikte çökelmesi sonunda oluşmuş, yüzde 50'den fazla kireç içeren bir tortul kayaç türüdür (Kafescioğlu, 2017a).

Şekil 4.2. *Ricola Herb Center* için yapı toprağının alındığı alan, prefabrik sıkıştırılmış toprak panellerin şantiye alanında taşınması, prefabrik panellerin uygulanması, fabrikada üretilen sıkıştırılmış toprak paneller, yapının genel görünümü *(URL-15)*

Yapı topraklarının yapısal performanslarını geliştirmek üzere hazırlanan karışımlardan bir tanesi de alkerdir. Türkiye'de Ruhi Kafescioğlu'nun geliştirdiği alker, killi yapı toprağına, kullanım amacına yönelik olarak belirli oranlarda alçı, kireç ve su eklenerek oluşturulmaktadır. Alçı, su eklendikten sonra karışımın priz süresini 20 dakikaya indirdiğinden uygulamanın sürecine göre karışıma priz geciktirici eklenebilmektedir. Alker ile oluşturulan yapı elemanlarının açık havada ve pişirilmeye ihtiyaç duyulmaksızın yani enerji tüketmeden yapısal dayanım kazanmaları sağlanabilmektedir. (Kafescioğlu, 2017a)

Alker uygulama esnasında kolaylık sağlamaktadır. Karışımın içerdiği maddeler yapı toprağının yapısal özelliklerini geliştirir ve uygulama bittikten yaklaşık 20 dakika sonra sonuç alınmasına imkan verir. Kerpiç üretimindeki büyük alanlara serilerek kurutma işlemi alker için gerekli değildir. Bu yönüyle alker, işgücü ve enerji bakımından tasarruf sağlamaktadır. (Kafescioğlu, 2017a)

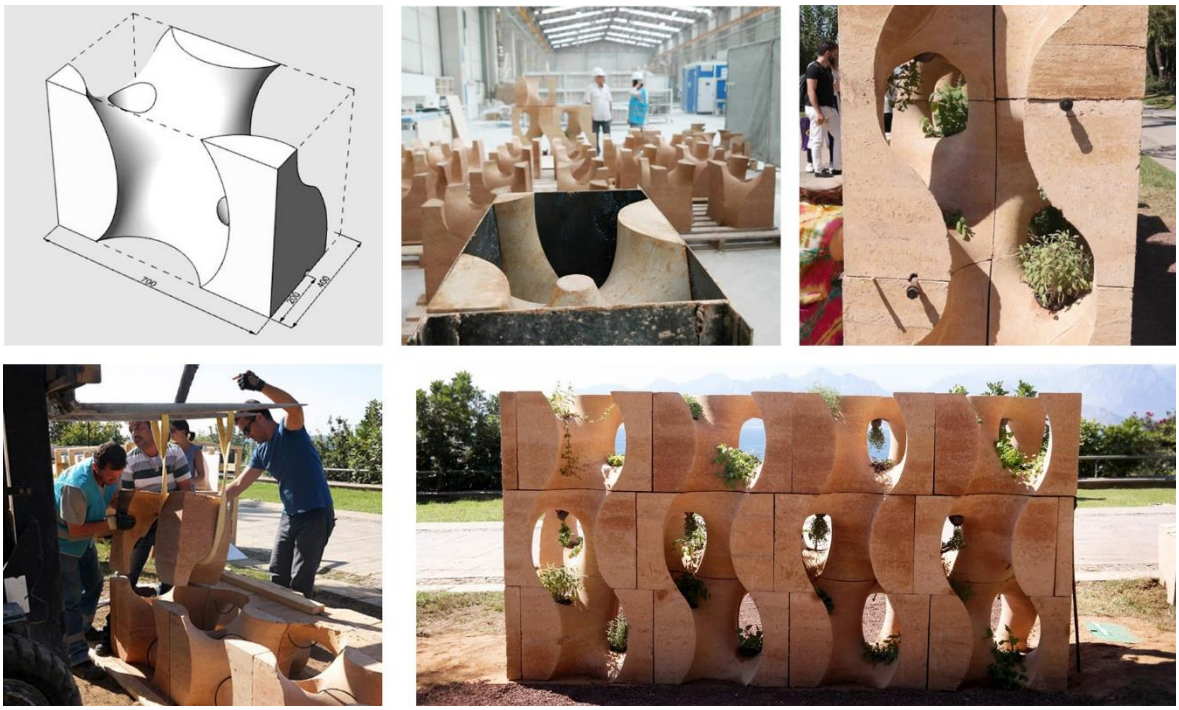
Ruhi Kafescioğlu (2017a), alker karışımının insan sağlığı açısında tehdit oluşturabilecek hiçbir madde içermediğini aktarmaktadır. Biyoklimatik konfor koşulları teknolojik donatılar gerekmeksizin sağlanmaktadır. Dış ortamdaki nem ve sıcaklık değişimleri alker duvarların termik performansları sayesinde iç mekan iklimini etkilememektedir. Ruhi Kafescioğlu ve bir grup araştırmacı tarafından İTÜ Ayazağa Yerleşkesi'nde inşa edilen ve anaokulu olarak kullanılan 1. Deneme Evi yapısı alker karışımıyla yapılan uygulamalara örnek olarak verilebilir. Yapı, yerinde döküm ve bloklarla duvar örgüsü teknikleriyle inşa edilmiştir. Yapının inşasından sonra yapılan ölçümlerde yapıda termal olarak hiçbir yapay donatı kullanılmadan her mevsimde konfor koşullarının sağlandığı ve yapı biyolojisi yönünden iç mekan sıcaklıkları, nem oranı, elektriksel ve manyetik alternatif alan performanslarının olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. (Kafescioğlu, 2017a)

Şekil 4.3. 1. Alker Deneme Evi, İTÜ Anaokulu (Fotoğraf: C. Tanrıverdi) *(Kafescioğlu, 2017a)*

4.2 SAYISAL TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ İLE SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK YAPILAR ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR

Komün-Aksiyon Duvarlar, Eylül 2017'de 4. Ulusulararası Antalya Mimarlık Bienali kapsamında, Fulya Akipek ve Tuğrul Yazar'ın kurduğu POTplus Design Research Group tarafından tasarlanmıştır. Antalya'daki Karaalioğlu Parkı'nda konumlandırılan yerleştirme, yerel bir yapım tekniği olan sıkıştırılmış toprak tekniğinin sayısal tasarım ve üretim teknolojileri ile geliştirilmesi sonucu geleneksel kalıbın dışında bir kullanım önermektedir. Permakültür ilkelerine dayanarak toprak blokların içerisinde bırakılan boşluklara ekilen yenilebilir bitkilerle ziyaretçilere doğadaki süreçler hatırlatılmakta ve bu sürece dahil olma

imkanı verilmektedir. Mimarlıkta sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin sıkıştırılmış toprak tekniği, permakültür ve peyzaj elemanları ile bir araya gelmesi disiplinler arası bir çalışmayı gerekli kılmıştır. (Akipek, 2018)



Şekil 4.4. Komün-Aksiyon Duvarlar projesi tasarım, üretim ve yapım aşamaları *(URL-16)*

Komün-Aksiyon Duvarlar'ın her bir modülü birbirinin aynısı gyroid formundan üretilmiştir. Gyroid formunu doğada, kelebek kanatları, hücre yapıları gibi biyolojik süreçlerde gözlemlemek mümkündür (URL-17). Minimal yüzeylerle oluşturulan gyroid formu (URL-18) ile birbirini takip eden yüzeyler ve boşluklar kurgulamak mümkün olmuştur. Fabrikada üretim aşamasında modülleri tek parça halinde ve hassas üretebilmek için kalıp tasarımı önem kazanmıştır. Son yerleştirmede modüller yan yana ve üst üste getirilerek yapısal dayanımı arttırılmış olan 2 katmanlı bir duvar elde edilmiştir. Bitkilerin ekilebilmesi ve damlama yöntemiyle sulama yapılabilmesi için bloklarda üretim aşamasında hazneler ve kanallar açılmıştır. Hem duvarın yönlenmesi hem de haznelerin konumları ile haznelerin birbirinden farklı miktarlarda güneş ışığı alması sağlanmıştır. Bu sayede güneşe farklı miktarlarda ihtiyaç duyan yenilebilir bitkiler kullanılabilmiş ve çeşitlilik arttırılmıştır. (Akipek, 2018) Buradan yola çıkılarak sayısal tasarım teknolojilerinin tasarım sürecine katkılarının yalnızca estetik kaygılarla form üretmekten ibaret olmadığını, eğrisel formların

ve birbirini takip eden yüzeylerin strüktürel performansa, suyun dolaşımına, farklı miktarlarda gölgelenen alanlar oluşmasına katkı sağladığı ve üretim kolaylığı açısından tek kalıp tasarımına imkan verdiği söylenebilmektedir.

Bloklar, kil oranı yüksek yapı toprağı, alçı ve kirecin belli oranlarda karıştırılması ile elde edilen alker karışımının kalıba katmanlar halinde eklenmesi ve tokmaklanarak sıkıştırılması ile üretilmiştir. Tasarımı oluşturan geometrik araştırmaların, masif bir duvar yapmak üzere geliştirilmiş geleneksel bir yöntem ve malzeme ile entegre edilmesi, karışımı ve sistemi farklı katkılarla destekleme ihtiyacı doğurmuştur. Karışıma, lifli bir yapı sağlayarak dağılmasını önleyecek cam elyafı ve bünyesinde su tutma özelliği olan perlit[5] maddesi eklenmiş, kalıbın içerisine hem blokların vinç ile taşınmasında kolaylık sağlayacak hem de blok bazında basınca dayanımı arttıracak ince çelik donatılar yerleştirilmiştir. Kalıp içerisinde hızlıca donarak kalıptan çıkarılan bloklar açık havada tamamen kurutulmuştur ve sonrasında bloklar proje alanına taşınarak kurulum sağlanmıştır. (Akipek, 2018)

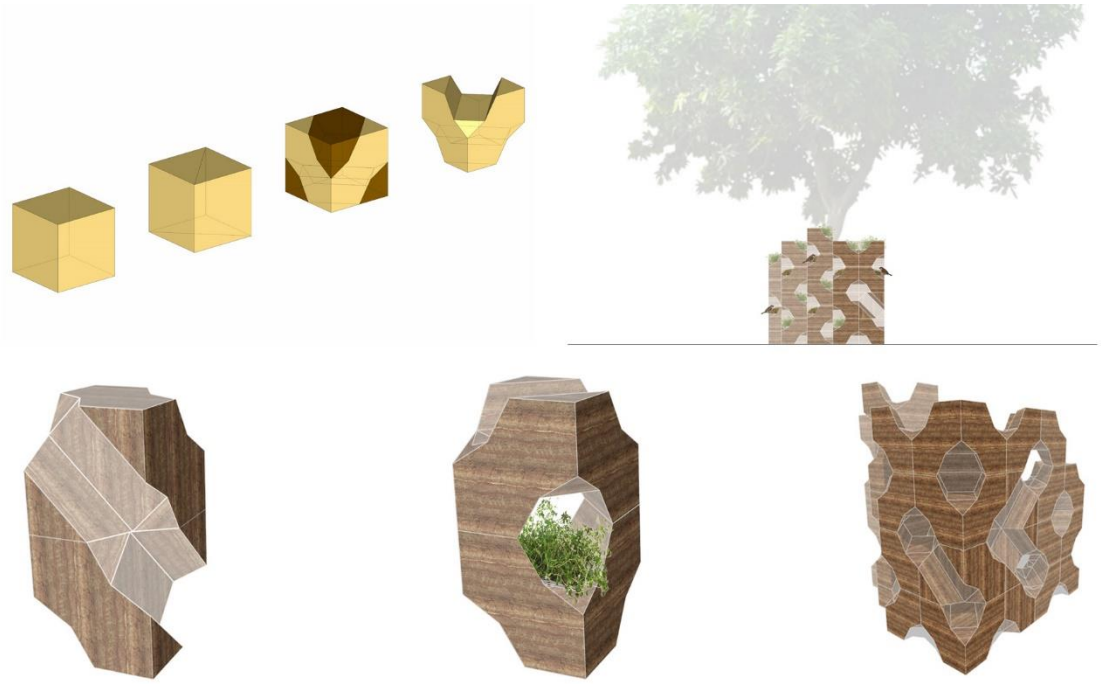
Komün-Aksiyon Duvarlar geleneksel yapım tekniği ve malzemesi, sayısal tasarım ve üretim teknolojileri ile ilişkisi, üzerinde yetiştirilen yenilebilir bitkileri ile kent – doğa – teknoloji etkileşimini ortaya koymaktadır.

Robotic Earth Crafts atölyesi İstanbul Bilgi Üniversitesi Mimari Tasarım Yüksek Lisans Programı Yaz Okulu kapsamında Temmuz 2018'de Fulya Akipek ve Tuğrul Yazar yürütücülüğünde SantralİstanbulKampüsü'nde gerçekleştirilmiştir. İki aşamalı olarak gerçekleştirilen atölye sonunda dört proje sıkıştırılmış toprak bloklarla üretilmiştir. Aydan Ataç, Meryem Nurefşan Yabanigül, Nihan Kurtoğlu, Selen Turan ve Sinem Kısacık'tan oluşan grup çalışması sonucunda bu tezde de paylaşılan "Habitat" projesi gerçekleştirilmiştir.

Robotic Earth Crafts atölyesinin temel sorusu, sayısal tasarım ve robot teknolojilerinin, ekolojik bir yapı malzemesi ve geleneksel bir yapım tekniği olan sıkıştırılmış toprak tekniği ile nasıl bir araya geldiğidir. Atölye boyunca sayısal tasarım, robotik üretim, sıkıştırılmış

[5] Perlit: Volkanik camsı kayaç türüdür. Yüksek sıcaklıklarda hızla ısıtıldığında hacminin genişlemesi ile hafif yapı malzemesi üretimine imkan vermektedir (URL-19).

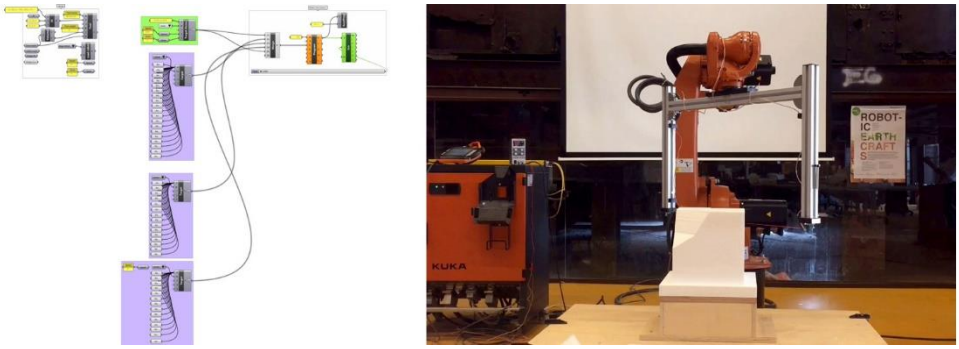
toprak yapım tekniği ve permakültür tasarımı ilkeleri tartışılmış olup tüm bu parametreler çerçevesinde projeler üretilmiştir.



Şekil 4.5. *Robotic Earth Crafts* atölyesi Habitat projesi, birim ve makroform çalışmaları

Sıkıştırılmış toprak blokların üretimi için ilk olarak kalıp tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Geometrik araştırmalar için 3B modelleme programlarından *Rhinoceros* kullanılmış, kalıbı oluşturacak negatif parçalar *KUKA* robot ve ucundaki sıcak tel kesici yardımı ile üretilmiştir. Bu aşamada *KUKA* robotun kesim yapabilmesi için gereken komutlar *Grasshopper* üzerinden belirlenmiştir. Robotun hareket edebilme kabiliyeti kalıp üretimi açısından önemli bir parametre haline gelmiştir.

Tasarlanan geometrinin üretilebilmesi için robot kolun manevralarının hesaplanması gerekmektedir. Aksi takdirde kullanılamayacak kalıp parçaları elde etmek ya da kesimi gerçekleştirememek olası hale gelebilmektedir. Bu anlamda lineer bir tasarım – üretim süreci yerine üretim parametrelerinin tasarıma girdi olduğu, geri beslemeli ve döngüsel bir süreç tasarlanmıştır.



Şekil 4.6. *Robotic Earth Crafts* atölyesi Habitat projesi, *Grasshopper* kodu, *KUKA* robot ile kalıp kesimi

Kalıp üretimi gerçekleştirildikten sonra alker karışımı hazırlanmış, akabinde karışım kalıplara aşama aşama belirli miktarlarda koyulmuş ve tokmaklanarak sıkıştırılmıştır. Bu aşamadaki deneyimler, tasarlanacak geometri için yapım tekniğinin de önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Masif ve düz duvarlar üretmek amacıyla geliştirilmiş bir yapı malzemesi ve yapım tekniği, geometrik araştırmalarla birlikte düşünüldüğünde tasarıma farklı bakış açıları ile yaklaşmak gerekmektedir. Elin ve tokmağın girebileceği ve sıkıştırma işleminin sağlıklı bir şekilde yapılabileceği geometriler tasarlamak sonuç ürünün yapısal performansı açısından önem kazanmaktadır.

Permakültür tasarımı ilkeleri atölye boyunca tartışılan bir diğer konudur. Tasarlanacak küçük ölçekli yapılarda bitki yetiştirebilmek, hayvanların konaklayabilecekleri ya da beslenebilecekleri alanlar üretmek projelerin ana hedeflerindendir. İnsanların bitki ve hayvanlarla tasarlanan toprak yapılar aracılığı ile temas etmeleri, doğa, teknoloji ve sürdürülebilirlik birlikteliğini sorgulamaları sağlanmaya çalışılmıştır. Bu çerçevede sıkıştırılmış toprak tekniği ile üretilen bloklara nebati toprak ekleyerek insanların bitki ekebilecekleri, hayvanların içerisine girebilecekleri boşluklar açılmıştır. Daha önce de belirtildiği üzere sıkıştırılmış toprak tekniği masif bloklar yapmak için elverişlidir. Bu tasarım araştırmasında bloklar içerisinde açılan farklı geometrik boşluklar blokların yapısal dayanımını azaltmıştır. Bu nedenle kırılmalar meydana gelmiştir.

Şekil 4.7. *Robotic Earth Crafts* atölyesi Habitat projesi, üretilen sıkıştırılmış toprak bloklar ve bitki ekimi sonrası projenin son hali

Hem Komün-Aksiyon Duvarlar projesinde Fulya Akipek ve Tuğrul Yazar'ın deneyimleri, hem de *Robotic Earth Crafts* atölyesinde müellifi olduğumuz Habitat projesindeki kendi deneyimlerimizden yola çıkarak sıkıştırılmış toprak tekniği ile gerçekleştirilen sayısal tasarım denemelerinde tasarımın formundaki geometrik araştırmaların alker yapı malzemesini ve yapım tekniğini zorladığı söylenebilmektedir. Karşılaşılan bu yapısal sorunlar proje süreçlerinde karışıma perlit, cam elyafı gibi doğal olmayan malzemeler ya da çelik donatılar gibi yapısal dayanımı arttıracak elemanlar eklenerek giderilmeye çalışılmıştır.

Alker karışımının çevreye zararı olmayan biyolojik katkılarla yeniden ele alınabileceği fikri alan çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Geometrik form üretimi aşamasında başarılı olan projelerin strüktürel dayanımının çelik donatılar ya da doğal olmayan katkılar olmadan arttırılması bir araştırma alanını doğurmaktadır.

5. SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOKLARIN BİTKİ HAZNELERİNDEKİ NEBATİ TOPRAĞA EKLENEN MİKORİZAL MANTARIN STRÜKTÜREL DAYANIMA ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Sıkıştırılmış toprak tekniği ile sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin entegrasyonu üzerine yapılan tasarım araştırmalarından yola çıkılarak, ekolojik malzemelerin yapısal performanslarının çelik donatılar ya da ekolojik olmayan katkılar yerine canlı organizmalarla geliştirmek üzerine disiplinler arası bir çalışma yürütülmüştür. Bu kapsamda sıkıştırılmış toprak blokların yapısal performansının mikorizal mantar kullanılarak geliştirilmesi üzerine bir alan çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ana hedefi, biyomalzeme üretimi sürecinde farklı disiplinlerin bir aradalığının mimari tasarım sürecini nasıl geliştirdiğini deneyimlemek ve sürecin bir örneklemesini gerçekleştirmektir.

Disiplinler arası alan çalışması kapsamında sıkıştırılmış toprak blokların yapısal performansını geliştirecek mikroorganizmanın seçimi, tasarıma entegrasyonu ve gelişim sürecinin izlenmesi İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümü Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hatice Gülen ile birlikte; sıkıştırılmış toprak blokların belirlenen mikroorganizma ile gelişim süreci tamamlandığında yapısal performansındaki değişimlerin ölçülmesi ve değerlendirilmesi İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkan Yardımcısı Dr. Öğr. Üyesi Muammer Özbek ile birlikte gerçekleştirilmiştir.

5.1 TASARIM KARARLARI VE MİKROORGANİZMA SEÇİMİ SÜRECİ

Alan çalışmasının temelini sıkıştırılmış toprak blokların yapısal performansının ekolojik olmayan yapısal elemanlar ya da katkılar yerine mikroorganizmalarla geliştirilmesi oluşturmaktadır. *Robotic Earth Crafts* atölyesi kapsamında kullanılan alker karışımına, lifli yapısı ile alker karışımını bir arada tutacak cam elyafı eklenmiştir. Biyomalzemeler ve tasarım araştırmaları üzerine çalışmaların derinleşmesi sonucu ekolojik malzemeler kullanılan ve enerji tüketimi minimum olan bir yapım sistemine ekolojik olmayan bir

malzeme olan cam elyafı eklemek yerine, alker karışımının yapısal performansını iyileştirecek bir mikroorganizma eklemek mümkün olabilir mi sorusu ortaya çıkmıştır.

Robotic Earth Crafts atölyesinde gerçekleştirilen Habitat projesinde deneyimlenen bir diğer strüktürel zorluk ise sayısal tasarım teknolojileri kullanılarak tasarlanan birimlere permakültür tasarım ilkelerinin bir tasarım parametresi olarak sürece dahil edilmesi ile bitkiler için bloklara boşluk açma ihtiyacının doğmuş olmasıdır. Tasarlanan bloklarda açılan bitki hazneleri, halihazırda yapısal dayanımı geometrik araştırmalar nedeniyle kritik seviyelerde olan blokların strüktürel olarak zayıflamasına ve boşlukların bulunduğu kısımlarda çatlamalara sebep olmuştur. Buradan yola çıkılarak, bitkiler için bloklarda açılan boşlukların mikroorganizmalar yardımıyla güçlendirilmesinin mümkün olup olamayacağı sorgulanmıştır.

Yapısal dayanımının arttırılmasına yönelik araştırmada her iki yöntem için de disiplinler arası çalışma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ortaya atılan tasarım sorularına ekolojik mimari tasarım ve biyoloji arakesitinde cevaplar verilmeye çalışılmıştır. Bu çerçevede süreç, İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümü Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hatice Gülen ile birlikte yürütülmüştür.

Araştırmanın ilk aşamasında alkerin yapısal performansının mikroorganizmalar yardımıyla iyileştirilmesi üzerine yoğunlaşılmıştır. Prof. Dr. Hatice Gülen, mikroorganizma seçimi için mikroorganizma katılacak yapı toprağının analizinin, yapı toprağının ve alker karışımının pH'ının ve yapım tekniğinin analizinin yapılmasının gerekli olduğu yönünde bilgi aktarımında bulunmuştur. Sözü edilen analizlerle mikroorganizmanın yaşayacağı ortam ile ilgili bilgi sahibi olunması hedeflenmiştir.

Alker karışımına eklenecek mikroorganizmanın yaşamını sürdürebilmesi ve gelişim gösterebilmesi için yapı toprağında yeterli oranda besin maddesinin bulunması gerekmektedir. Mikroorganizmalar belirli pH değerlerinde yaşam faaliyetlerini sürdürebilmektedirler. Bu nedenle mikroorganizma eklenecek yapı toprağının ve alker karışımının pH değerleri önem kazanmaktadır. Mikroorganizma seçiminde, mikroorganizmaların yaşayacağı ortamdaki oksijen miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle yapım tekniği kritik hale gelmektedir.

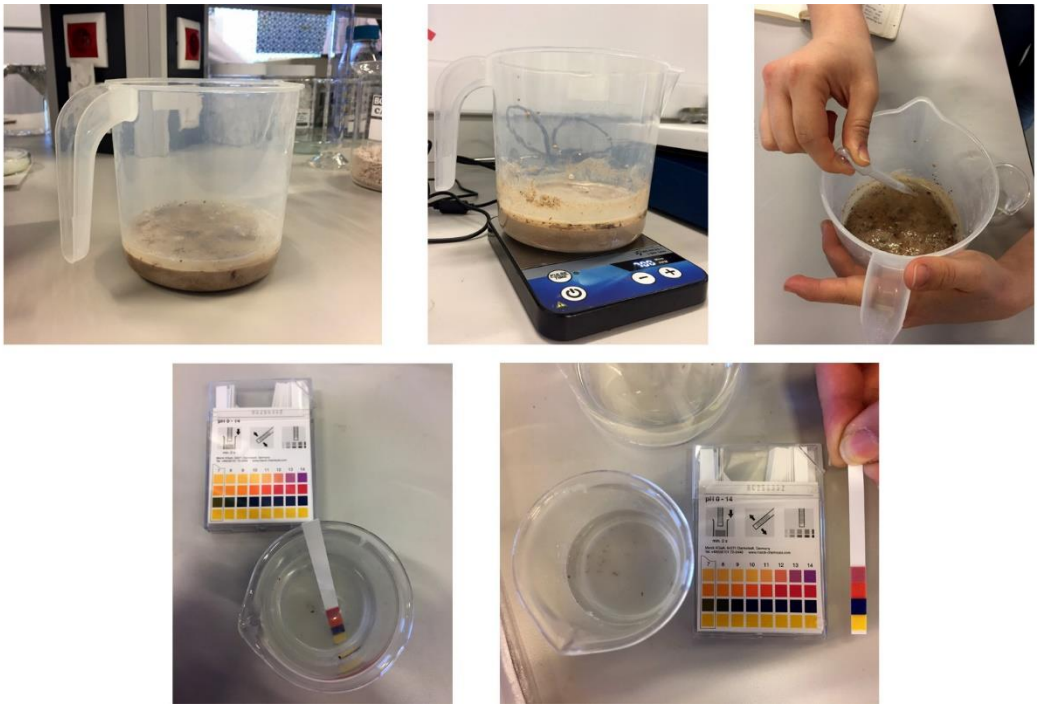
- Toprak Analizi:

Komün-Aksiyon Duvarlar projesinin ve *Robotic Earth Crafts* atölyesinin toprak danışmanı İTÜ Vakfı Toprak Yapılar Grubu Üyesi Mimar Özgül Öztürk'ün İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Laboratuvarı'nda yaptırmış olduğu farklı türdeki yapı topraklarının stabilizasyonu çalışmasında izlenen adımlar şöyle özetlenebilir: Bir yapı inşa etmek üzere kullanılacak alker karışımı için öncelikle kullanılacak yapı toprağının tane dağılım oranları belirlenmektedir. Sonrasında ise yapı toprağı analize göre belirli oranlarda alçı ve kireçle karıştırılarak prizmatik, sıkıştırılmış toprak bloklar hazırlanmaktadır. Prizmatik örnekler üzerinde eğilme – çekme ve basınç deneyleri ve kılcallık (suya dayanıklılık) deneyi yapılmaktadır. Deney sonuçlarına göre karışımların mekanik özellikleri karşılaştırılarak yapıda kullanımı en uygun olan karışım için reçete hazırlanmaktadır. Mimar Özgül Öztürk'ün aktarımına göre, bir yapı inşa etmek üzere kullanılacak yapı toprağının bünyesinde bitki kökleri, besin maddeleri gibi organik bileşenlerin bulunması, zamanla yapı elemanının içerisinde gelişebilecek ve yapısal dayanımı zayıflatacak oluşumlara engel olunmak istenmesi nedeniyle tercih edilmemektedir. Bu bakış açısıyla, yerin yaklaşık 1 – 1,5 metre kadar altından alınan kil oranı yüksek, nebati olmayan hafriyat toprakları yapı toprağı olarak kullanılabilme potansiyeli taşımaktadır. (Koç, 2017) Tüm bu bilgiler doğrultusunda; alker karışımında kullanılacak yapı toprağının bünyesinde, eklenmesi planlanan mikroorganizmaların besin ihtiyacını karşılayacak besin maddelerinin bulunmadığı çıkarımı yapılabilmektedir.

Şekil 5.1. Yapı toprağının temin edildiği Kemerburgaz'daki ocak *(URL-16)*

- pH Ölçümü:

pH ölçümü yapılacak bir kap içerisindeki karışıma 1:1 oranda su ve manyetik alan oluşturarak karıştırma işlemini sağlayacak karıştırıcı (*fish*) eklenir. Kap karıştırıcı (*stirring*) cihazın üzerine koyulur. Karışımın iyice karışması ve katıların çökmesi sağlanır. Çökme tamamlandığında yüzeye çıkan su pipet ile toplanarak başka bir kaba aktarılır. Turnusol kağıdı karışımdan çıkan su içerisine batırılarak renginin değişimi sabitlenene kadar beklenir. Turnusol kağıdının renk değişimi tamamlandığında lejant ile karşılaştırılarak pH değeri tespit edilir.



Şekil 5.2. Laboratuvarda pH ölçüm süreci

pH ölçümü İstanbul Bilgi Üniversitesi Bitki Biyoteknolojisi Laboratuvarı'nda Prof. Dr. Hatice Gülen'in gözetiminde ve İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümü lisans öğrencilerinden Ayşe Aydan Taşkınlar'ın yardımıyla tarafımdan gerçekleştirilmiştir. Yapılan pH ölçümünde yapı toprağının pH değeri 6-7 aralığında yani nötr olarak ölçülmüştür. Belirli oranlarda karıştırılan killi toprak, kireç ve alçının pH değeri ise 13, yani alkali çıkmıştır. Buradan yapılan çıkarım; yapı toprağına eklenen kireç ve alçı katkılarının alker karışımını alkali hale

getirdiğidir. Alkali ortam koşullarının çoğu mikroorganizma için uygun yaşam ortamı olmadığı belirtilmiştir.

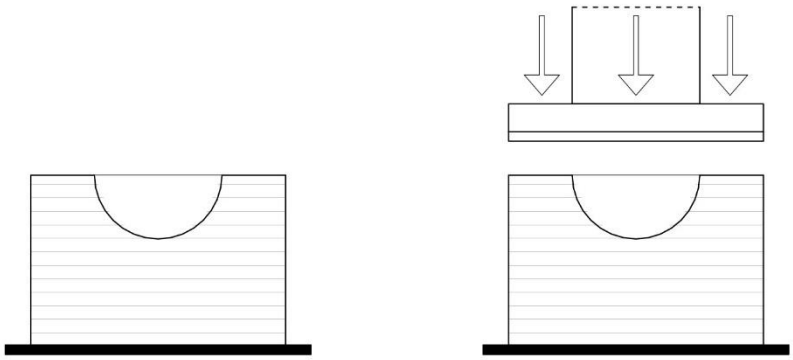
- Yapım Tekniği Analizi:

Mikroorganizma seçimini etkileyen bir diğer faktör ise yapım tekniğidir. Alker karışımının kalıp içerisine aşama aşama eklenip tokmaklanarak sıkıştırılması yapı bloğu içerisinde hava kalmamasına neden olmaktadır. Bu nedenle alker karışımına eklenecek mikroorganizmanın oksijensiz ortamda gelişebilen, anaerobik (oksijensiz solunum yapan) bir mikroorganizma olması gerekmektedir.

Yapılan analizler sonucu yapı toprağı olarak kullanılan killi toprakların bünyelerinde besin maddeleri bulundurmadığı, alker karışımının pH değerinin alkali olduğu ve sıkıştırılmış toprak tekniği kullanılması nedeniyle oksijensiz ortam koşulları oluştuğu belirlenmiştir. Prof. Dr. Hatice Gülen tarafından tüm bu ortam koşullarında yaşayabilecek mikroorganizma çeşitlerinin çok nadir olduğu aktarımı yapılmıştır. İstanbul Bilgi Üniversitesi Bitki Biyoteknolojisi Laboratuvarı imkanları doğrultusunda halihazırda bu ortam koşullarında yaşayabilecek mikroorganizma kültürü bulunamamış ve yerel kaynaklardan temin edilmeleri mümkün olamamıştır. Prof. Dr. Hatice Gülen mevcut mikroorganizmalar üzerinden biyomühendislikle, tespit edilen ortam koşullarında hayatta kalabilecek mikroorganizma üretmenin mümkün olabileceğini fakat daha önce hiç var olmamış ya da soy ağacı bilinmeyen bir canlı organizmayı ekosisteme dahil etmenin hukuksal, çevresel sorumluluklar ve sosyal risk analizleri gerektirdiğini ifade etmiştir. Bu nedenle gerçekleştirilecek alan çalışması için ikinci yöntem olan, bitkiler için açılan boşluğun yapısal olarak güçlendirilmesi, üzerine gidilmiştir.

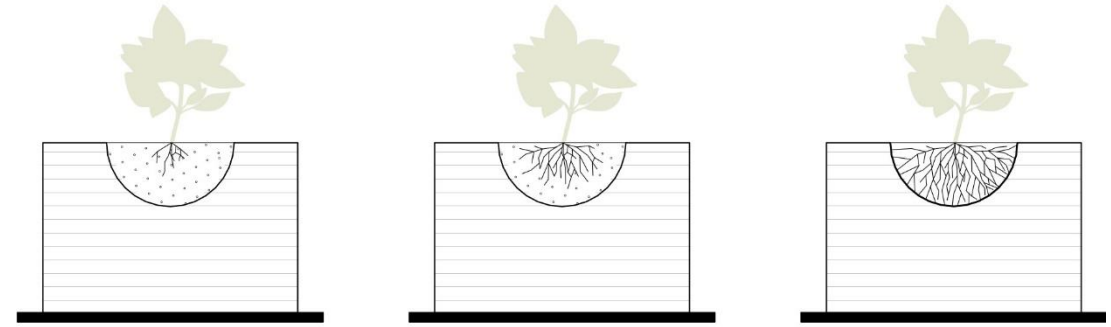
Robotic Earth Crafts atölyesinde gerçekleştirilen Habitat projesinde sayısal tasarım teknolojileri kullanılarak tasarlanan birimlere, bitkiler için geometrik boşluklar açma ihtiyacının doğmasının lokal olarak, blokların strüktürel dayanımlarının zayıflamalarına ve boşluk açılan kenarlarda çatlamalara sebep olduğu ifade edilmiştir. Alker blokta açılan boşluğun nebati toprak ile doldurulması ve bitki ekiminin gerçekleştirilmesi göz önünde bulundurulduğunda alker, nebati toprak ve bitki ilişkisinin strüktürel olarak kurmanın üzerinde yoğunlaşılmıştır.

Bu bakış açısı ile besin yönünden zengin ve bünyesinde hava boşlukları bulunduran nebati toprak içerisine eklenecek bir mikroorganizmanın nebati toprak içerisinde yayılarak toprağı yapısal olarak sıkılaştırması ve alker bloğun yüzeylerine tutunması ile bloğun boşluk nedeniyle zayıfladığı alanın da daha rijit bir yapıya sahip olması üzerine bir alan çalışması yapılması düşünülmüştür. Aynı zamanda nebati toprağa eklenecek mikroorganizmanın ekilecek bitkinin gelişimine katkı sağlaması ve bitkinin kökleri ile yararlı iş birliği kurması ile bitkinin köklerinin de bu yapısal iyileştirmeye katkı sağlamasının mümkün olabileceği alternatifler çıkarılmaya çalışılmıştır. Alker bloğa bitki için boşluk açmanın yanında bir diğer kritik konu ise bitkinin sulanma ihtiyacı ve suyun alker blokla temas etmesi durumudur. Alker bloğun uzun vadede çatıdan ve temelden önlem alındığı takdirde su ile temas etmesi yapısını değiştirmemektedir. Fakat deneyde bitki için damlama gibi kontrollü bir sulama sistemi kullanılmadığından nebati toprak içerisine eklenecek mikroorganizmanın su tutma özelliğinin olması bloğun su ile temasından doğabilecek muhtemel yapısal değişiklikler açısından avantaj sağlamaktadır.



1 | Alker Blok - Kontrol

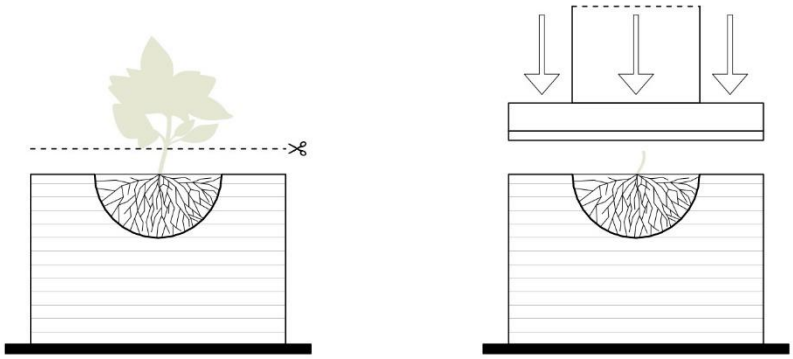
2 | Alker Blok – Kontrol
Basınç Testi Sonucu 0,81 MPa



3 | Alker Blok + Mikoriza
0. Hafta

4 | Alker Blok + Mikoriza
2. Hafta

5 | Alker Blok + Mikoriza
4. Hafta



6 | Alker Blok + Mikoriza
Basınç Testine Hazırlık

7 | Alker Blok + Mikoriza
Basınç Testi Sonucu 1,01 MPa

Şekil 5.3. Öngörülen proje süreci diyagramı

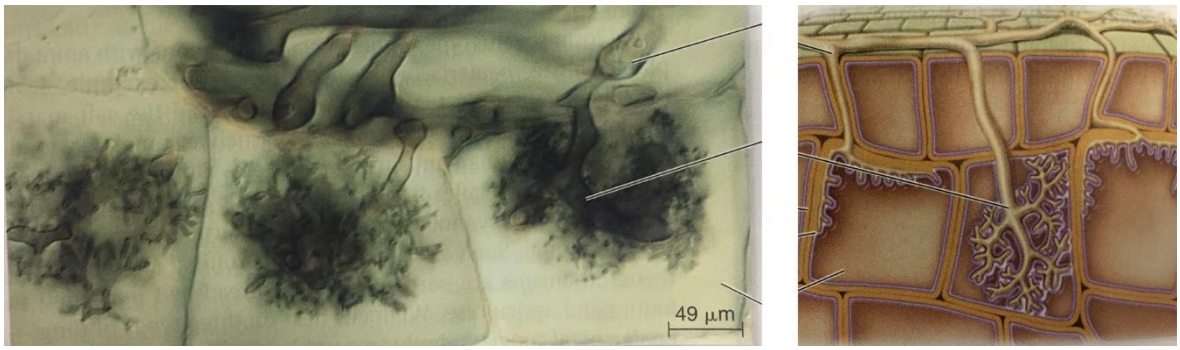
Bu tasarım kararları doğrultusunda Prof. Dr. Hatice Gülen araştırma için uygun olabilecek mikrobiyolojik canlının bir mantar türü olan mikoriza olduğunu ifade etmiştir. Hem yerel kaynaklardan temin edilebilir olması, hem de istenen performansı karşılayabilecek özellikleri barındırması nedeniyle mikoriza bir tasarım parametresi olarak sürece dahil edilmiştir.

Mikoriza bazı bitki türleri ile yararlı iş birlikleri kuran bir mantar türüdür. Mikoriza, tohumlu bitkilerin kökleri ile birlikte çalışmaktadır. Bu nedenle doğada ve tarımda önemli rol oynamaktadır. Mikorizal ortağı olan bitki, topraktaki su ve minerallere daha kolay ulaşmaktadır. Çünkü bitki köklerinin erişemediği alanlara mantar miselyumu rahatlıkla ulaşabilmektedir ve bitkiye su ve besin iletimini sağlamaktadır. Bitki de mantara fotosentez yoluyla ürettiği organik besin moleküllerinin yüzde 20'sini aktarmaktadır. Mantar hifi[6], toprağı sıkılaştırarak su kaybını ve erozyonu önlemektedir. Bitkiyi patojenlerden ve zehirli atıklardan korumaktadır. (Brooker, Widmaier, Graham, & Stiling, 2011)

Şekil 5.4. Mikorizal mantar ve fide kökleri *(Brooker, Widmaier, Graham, & Stiling, 2011)*

[6] Hif, mantar kolonilerini oluşturan ince, uzun ve saydam mikroskobik ipliksi yapılardır (URL-20).

Alan çalışmasında kullanılan mikoriza türü *Glomus Intraradices*'tir. *Glomus Intraradices*, endomikorizal bir fungus türüdür (URL-21). Endomikorizal fungus hifleri bitki köklerinin hücre duvarı ile hücre zarı arasındaki boşluklarına nüfuz ederler ve ağaç formunda büyüme göstermektedirler. (Brooker, Widmaier, Graham, & Stiling, 2011) Mantar hifleri, bitki kök sisteminin uzantısı işlevi görerek toprak içerisinde yayılmaktadırlar. *Glomus Intraradices* türü mantarlar canlı bir konakçı kökü olmadan çoğalamamaktadırlar. (URL-21)



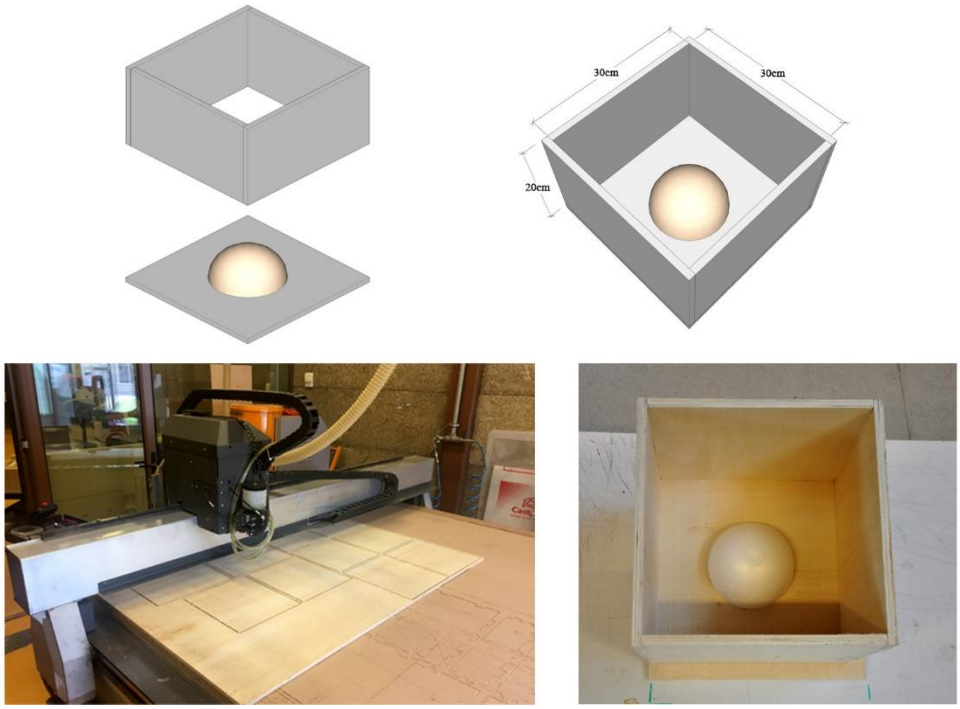
Şekil 5.5. Endomikorizanın ışık mikroskopu görüntüsü ve diagramı *(Brooker, Widmaier, Graham, & Stiling, 2011)*

Alan çalışması için ekimi yapılacak mikorizanın bitki kökleri ile aktive olduktan sonra büyümesi ve yayılmasının yaklaşık 4 haftayı bulacağı Prof. Dr. Hatice Gülen tarafından aktarılmıştır. Mikorizanın büyüme süreciyle doğru orantılı olarak bitkinin de gelişmesi beklendiğinden, süreç 1 haftalık periyotlarla gözlemlenmiştir.

5.2 KALIP TASARIMI VE ÜRETİMİ

Bu çalışmada mikorizanın nebati toprak içerisinde bitki ile birlikte çalışarak sıkıştırılmış toprak blokta açılan boşluktaki büyüme sürecinin gözlemlenmesi ve bloğun yapısal dayanımına katkısının test edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle bloğun ve boşluğun tasarımında temel geometrilerden yararlanılmıştır. Kalıp üretimi İstanbul Bilgi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Üretim Laboratuvarı'nda tarafımdan gerçekleştirilmiştir. CNC ile kesilen kontrplak levhalardan iç ölçüleri 30x30x20 cm olacak şekilde kutu kalıp oluşturulmuş, hazne için strafor malzemeden 15 cm çapında, yarım küre şeklindeki hazır

kalıp kullanılmıştır. Strafor kalıp kutunun tabanını ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir, bu sayede mikoriza ve toprak karışımı ile bitkinin ekleneceği boşluk oluşturulmuştur.



Şekil 5.6. Kalıp tasarımı, üretimi ve son hali

Alan çalışmasında sonuç üründe mikorizanın alker bloğun basınç dayanımına ya da yüzey gerilimine etkisi incelenecek parametredir. İleri çalışmalarda form – malzeme – geometri ilişkileri de test edilebilir.

5.3 SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOKLARIN HAZIRLANMASI

Her yapısal toprak agrega boyutları, kil oranı gibi farklı fiziksel ve kimyasal özellikler göstermektedir. Yapısal toprağın farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri alkere eklenen alçı, kireç ve su oranlarını değiştirmektedir. Ruhi Kafescioğlu'nun (2017a) "iyileştirme ve stabilizasyon" olarak ifade ettiği süreç yapı toprağının, kullanılacağı yere ve amaca yönelik olarak hazırlanması kaynaklıdır. Bu çalışmada *Robotic Earth Crafts* atölyesinde kullanılan, analiz edilmiş yapı toprağı Kemerburgaz'daki ocaktan temin edilmiştir. Üretilecek blokların boyutları ve kullanım amaçları da benzer olacağından blokları oluşturacak alker karışımının oranlarında *Robotic Earth Crafts* atölyesinde kullanılan oranlardan referans alınmıştır.

Tablo 5.1. Kullanılan alker karışımı oranları

	Oran	Maşrapa	ml	Maşrapa	ml
Toprak	1	3	4500	12	18000
Alçı	1/3	1	1500	4	6000
Kireç	1/20	0,15	225	0,60	900
Su	1/4	0,75	1125	3	4500

Belirlenen ölçülerde 1 adet sıkıştırılmış toprak blok üretebilmek için toplamda 12 maşrapa (1 maşrapa = 1500 ml) yapısal toprak içeren alker karışımı kullanılmıştır. Karışıma eklenen alçının, karışımın priz süresini 20 dakikaya indirdiği bilinmektedir. Bu yüzden tek seferde 12 maşrapa yapı toprağı içeren alker karışımının hazırlanıp kalıbın içerisine tokmaklanarak sıkıştırılması zamanlama açısından zorluğa neden olmuştur. Bu tecrübeden yola çıkılarak alker karışımı 4 aşamada, 3'er maşrapa yapı toprağı ile hazırlanmış ve karışımın kalıbın içerisine sıkıştırılması işlemi gerçekleştirilmiştir.

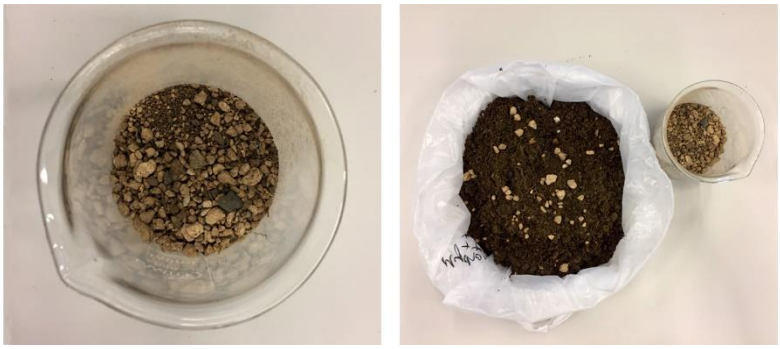
Şekil 5.7. Sıkıştırılmış toprak bloğun yapım süreci

Kalıbın dolması ile sonlandırılan sıkıştırma işlemi sonrasında kalıp, açık havada 2 saat kurumaya bırakılmıştır. 2 saat sonunda kalıbın tüm yüzeyleri açılarak bloğun kuruma süreci devam ettirilmiştir. Kuruma süresini 24 saati bulması ile sıkıştırılmış toprak blok üzerinde işlem yapılmıştır.

Şekil 5.8. Sıkıştırılmış toprak blok kesiti ve kalıptan çıkarılmış son halleri

5.4 MİKORİZANIN ÖN HAZIRLIK SÜRECİ

Sıkıştırılmış toprak bloğun bitki haznesine nebati toprak ile karıştırılarak eklenecek olan mikorizal mantar Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü akademisyenlerinden Prof. Dr. İbrahim Ortaş'tan temin edilmiştir. Temin edilen mikorizanın 10 gramında 85 spor olduğu bilgisi mikorizanın temini sürecinde paylaşılmıştır. 1 kilogram nebati toprağa en az 500 spor (yaklaşık 60 gr) olacak şekilde uygulama yapılmasının uygun olduğu belirtilmiş, fakat 1000 spor olacak şekilde uygulama yapılması önerilmiştir. Önerildiği gibi 1 kilogram nebati toprağa 1000 spor yani yaklaşık 120 gr mikoriza eklenerek bitkinin ekileceği toprak karışımı oda koşullarında İstanbul Bilgi Üniversitesi Bitki Biyoteknolojisi Laboratuvarı'nda Prof. Dr. Hatice Gülen ile birlikte tarafımdan hazırlanmıştır.



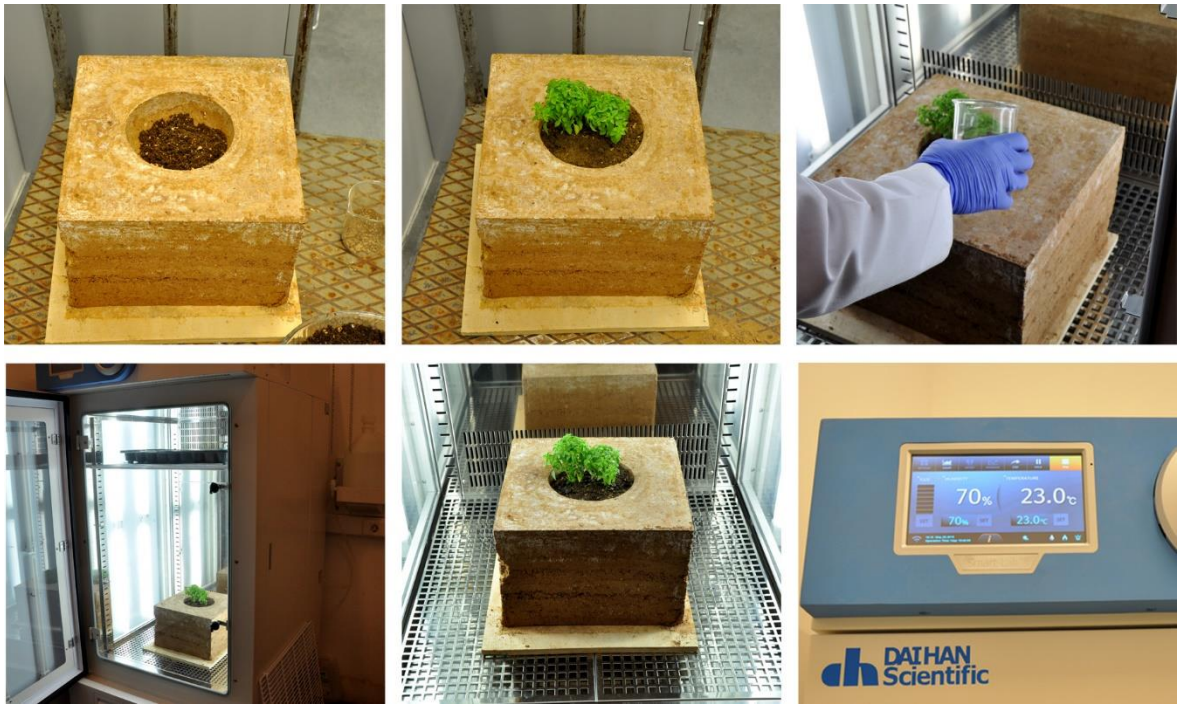
Şekil 5.9. Mikoriza sporları, nebati toprak ve mikoriza karışımı

5.5 SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK BLOK VE MİKORİZANIN ENTEGRASYONU SÜRECİ

Komün-Aksiyon Duvarlar ve *Robotic Earth Crafts* projelerinin park, kampüs gibi doğa ile etkileşim halindeki açık alanlarda konumlandırılmış olmasından yola çıkılarak alker bloğun haznesine ekilecek bitkinin seçimi yapılırken dış mekanda gelişebilmesi, daima yeşil kalması ve hoş koku yayarak ziyaretçilerin dikkatini çekmesi parametreleri göz önünde bulundurulmuştur. Fesleğen bitkisi bahsedilen özellikleri göstermektedir. Ayrıca fesleğen bitkisinin, kokusu ile böcekleri uzaklaştırıcı etkisi vardır. Bu sayede sıkıştırılmış toprak bloklar kullanılarak oluşturulan dikey bitki duvarlarını deneyimlemek isteyen ziyaretçiler için daha konforlu bir deneyim sağlanacaktır. Fesleğenin kök yapısının görece çok güçlü olmaması ise zamanla gelişecek köklerinin alker bloğa zarar vermeyeceği anlamına gelmektedir.

Sıkıştırılmış toprak blok ve mikorizanın entegrasyonu süreci İstanbul Bilgi Üniversitesi Bitki Biyoteknolojisi Laboratuvarı'nda Prof. Dr. Hatice Gülen ile birlikte tarafımdan gerçekleştirilmiştir. Öncelikle alker bloğun bitki haznesinin yarısına kadar mikoriza ve nebati toprak karışımı eklenmiştir. Sonrasında fesleğen bitkisi hazneye yerleştirilmiş ve hazne bitkinin kökleri kapanana kadar aynı toprak karışımı ile doldurulmuştur. Bitki ve mikorizalı toprak sulanmış, blok hem mikorizanın, hem de bitkinin daha hızlı ve sağlıklı büyümesi için ışık, nem ve sıcaklık değerlerinin optimumda ve sabit tutulduğu bitki büyütme kabinine koyulmuştur. Bitki büyütme kabininin nem oranı yüzde 70, sıcaklığı ise 23°C olarak ayarlanmış, fotoperiyot koşulları 16/8 saat (aydınlık/karanlık) olacak şekilde

belirlenmiştir. Günaşırı nebati toprağın nemli kalması için kontroller yapılmış, mikorizanın ve bitkinin gelişim süreci gözlemlenmiştir.

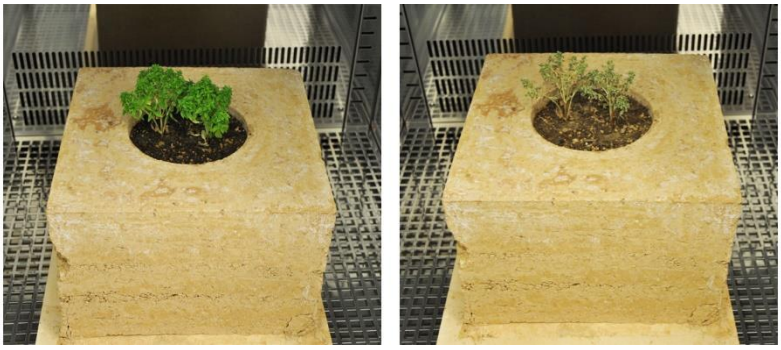


Şekil 5.10. Sıkıştırılmış toprak bloğa bitki ekimi süreci, bitki büyütme kabinine yerleştirilmesi ve ortam koşullarının ayarlanması

Alker bloğa mikoriza ve bitki ekimi yapıldıktan itibaren 1 haftalık aralıklarla bitkinin gelişimi gözlemlenmiştir. Ekimin yapıldığı gün 0. hafta olarak kabul edildiğinde, birinci ve ikinci haftalarda bitkinin yapraklarının küçüldüğü fark edilmiştir. Prof. Dr. Hatice Gülen bu durumun nedeninin bitkinin daha önce alker bloğun haznesine göre hacimsel olarak daha küçük bir saksıda ekili olması ve toprak değişimi olduğunu aktarılmış; bitkinin yeni toprağına alışması ve kökleriyle toprağı sarması için yaklaşık 4 hafta geçmesi gerektiğini, sonraki 2-3 aylık süreçte mikorizanın büyüme hızının artması ve gelişerek toprağı sarmasıyla da bitkinin gelişimine devam edeceğini ifade etmiştir.

Şekil 5.11. Bitki büyütme kabini içerisinde bitkinin 0. hafta, 1. hafta ve 2. hafta gelişim süreci

Bitki büyütme kabini içerisinde bitkinin yapraklarının üçüncü haftada ikinci haftayla benzer özellikler gösterdiği; dördüncü haftada bitkinin yapraklarının küçülerek renklerinin solduğu gözlemlenmiştir. Alan çalışmasının başlangıcından itibaren aynı sıklıkta ve aynı miktarda sulanan bitkinin 4 hafta boyunca gelişim gösterememesinin nedeninin, kesin olmamakla birlikte, bakım şartlarının değiştirilmesi gerekliliği ya da bitkinin daha büyük bir toprak hacmine alışamaması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.12. Bitki büyütme kabini içerisinde bitkinin 3. hafta ve 4. hafta gelişim süreci

Alan çalışması sürecinde değiştirilen tasarım kararları ve mikorizanın temin edilmesi süreci nedeniyle performans testleri öncesinde mikorizanın aktive olduktan sonra yeterince gelişme göstermesi için gerekli olduğu ifade edilen 2-3 aylık sürenin beklenmesi tez takvimi nedeniyle mümkün olamamıştır. Performans testleri dördüncü hafta itibariyle gerçekleştirilmiştir.

5.6 SONUÇ ÜRÜN PERFORMANS TESTLERİ

Alker bloğun haznesinde yetiştirilen mikorizanın alker bloğun yapısal dayanımı üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle biri kontrol olmak üzere, iki adet alker blok üretilmiştir. Alker bloklardan birine mikoriza ve bitki ekilerek toprak periyodik olarak sulanmıştır. Kontrol olarak tutulan alker bloğun diğeri ile eşit nem seviyesinde kalabilmesi için haznesine nebati toprak eklenmiş, toprak aynı sıklıkta ve aynı miktarda suyla ıslatılmıştır.

İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkan Yardımcısı Dr. Öğr. Üyesi Muammer Özbek ile yapılan görüşmede; insan gücüyle sıkıştırma yöntemi kullanılarak üretilen alker blokların, üzerlerinde işlem uygulanmadan önceki hallerinde dahi, benzer yapısal performanslara sahip olamayacakları ifade edilmiştir. Alker karışımının kıvamındaki değişiklikler, sıkıştırma işleminin insan gücüyle yapılmış olması, öngörülemeyen çatlaklar blokların farklı mekanik özellikler göstermesine neden olmaktadır. Bu nedenle uygulanacak performans testlerinden hassas sonuçlar alınamayacağı aktarılmıştır. Testin farklı form ve geometriler üzerinde denenebileceği ifade edilmiş, test edilmek istenen form ve geometrilerin 3B modelleri simülasyon programlarına aktarılarak ve malzeme bilgileri tanımlanarak basınca karşı dayanımlarının simülasyonlarının oluşturulabileceği belirtilmiştir.

Alker bloklara uygulanacak yapısal performans testleri ile ilgili olarak iki seçenek üzerinde durulmuştur. Seçeneklerden biri alker blokta açılan boşluğun yüzey dayanımının ölçülmesidir. Bu sayede mikorizanın alker bloğun iç yüzey gerilimi üzerindeki etkisi tespit edilmiş olacaktır. Yüzey gerilimi testi yapılabilmesi için boşluğun yüzeylerini açılmaya zorlayacak bir sistemin kurulması gerekmektedir. Diğer seçenek ise, alker bloğun boşluğuna yayılacak mikorizanın alker blokla birlikte basınca karşı dayanımının ölçülmesidir. Bloğun doluluk – boşluk oranı nedeniyle öngörülen lokal güçlendirmenin büyük olasılıkla beklenen performansı sağlayamayacağı ifade edilmiştir. Ancak, daha önce belirtildiği üzere ilk tasarım kararı olarak alker karışımına mikroorganizma eklenerek alkerin güçlendirilmesi yönteminin beklenen sonucu gerçekleştirebileceği belirtilmiştir.

Alan çalışmasını kapsayan 4 haftalık sürecin mikorizanın bitki kökleri ile aktive olup gelişim gösterebilmesi ve bulunduğu hacmi sararak alker bloğun yüzeyine tutunması açısından yeterli olamayabileceğinden yola çıkılarak alker bloklara yüzey dayanımı testi yerine basınç dayanımı testi yapılmasına karar verilmiştir. Basınç testi İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan otomatik basınç deney presi kullanılarak Dr. Öğr. Üyesi Muammer Özbek ile birlikte tarafımdan gerçekleştirilmiştir.

Otomatik basınç deney presinin 30 cm çapında dairesel formdaki alt yükleme plakası üzerine numune merkezlenerek yerleştirilir ve pres çalıştır durumuna getirilir. Sonrasında deney parametreleri ayarlanarak pres işlemi başlatılır. Makine otomatik olarak numuneye hızlı yaklaşımı başlatır ve üst yükleme plakası numuneye temas ettiğinde belirlenen deney hızında yükleme başlar. Numune kırıldığında makine durur ve üst yükleme plakası başlangıç konumuna döner. Deney sonucu ve deney parametreleri makinenin ekranından görülebilmektedir.

Şekil 5.13. Otomatik basınç deney presleri

İlk ekranda otomatik basınç deney presine yerleştirilecek bloğun geometrik şekli ve boyutları tanımlanmıştır. Numune tipi küp olarak tanımlanan alker bloğun en ve boy ölçüleri 300 mm, taban alanı 90000 mm² olarak belirtilmiştir. Test parametrelerinin belirlendiği ikinci ekrana grafik tipi olarak stres – zaman grafiği; beklenen maksimum stres olarak kontrol bloğu için 4 MPa değeri, mikoriza ekilen deney bloğu için 1,5 MPa değeri; 50 saniyede 1 MPa güç uygulandığını ifade eden 0,02 MPa/s değeri girilmiştir. Beklenen maksimum stres değeri ile gerçek stres değerinin birbirine yakın verilmesi grafikteki

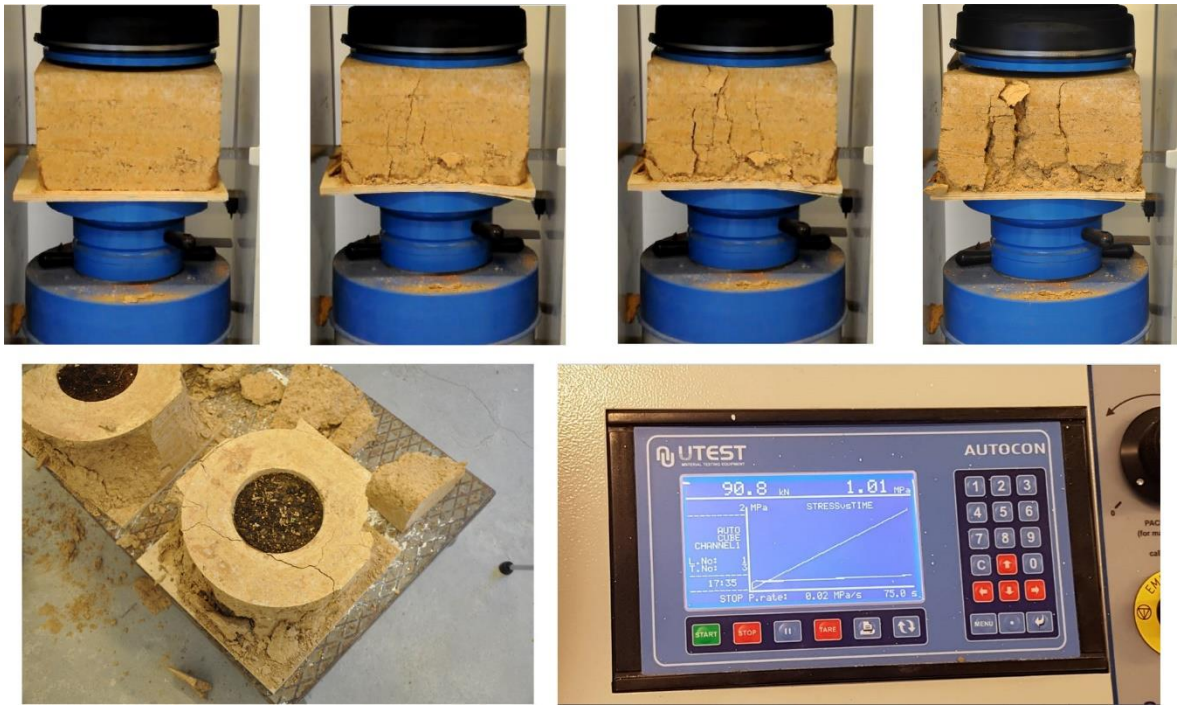
değişimin daha belirgin bir şekilde görülmesini sağlamaktadır. Başlangıçta blokların güçlerinin 3-4 MPa değerleri civarında çıkması tahmin edilmiştir, o nedenle maksimum stres değeri 4 MPa olarak girilmiştir. Fakat kontrol bloğuna yapılan basınç testi sonucuna istinaden beklenen değer düşürülmüş ve grafikler arasındaki görsel fark ortaya konmuştur. Basınç testi sırasında gücün maksimum seviyesine ulaşıp sonrasında yüzde 10 değer kaybetmesi ile testin sonlandırılabileceği anlaşılmaktadır. Yüzde 10'luk oran, test parametrelerinin tanımlandığı ekranda belirtilmektedir.

Şekil 5.14. Bloğun geometrik şekli ve boyutlarının girildiği ekran, kontrol bloğu için test parametreleri, mikoriza ekilen blok için test parametreleri

İlk olarak kontrol için hazırlanan alker blok otomatik basınç deney presine yerleştirilmiştir. Yukarıda da belirtildiği üzere ikinci deneyden farklı olarak deney parametreleri ekranında beklenen maksimum stres değeri 4MPa olarak girilmiş ve belirlenen 0,02 MPa/s hızında yükleme başlatılmıştır. Deney sırasında maksimum stres değeri 0,81 MPa çıkmış sonrasında güçte kayıp olmaya başlamıştır. Gücün yüzde 10 değer kaybetmesi sonucu 0,70 MPa değerine düşmesiyle deney sonlandırılmıştır. Deney süresince yapılan gözlemlere göre alker bloğun 30x30 cm ölçülerindeki kare formundaki tabanının makinenin 30 cm çapındaki dairesel alt ve üst yükleme plakalarından taşması nedeniyle kırılmalar öncelikle köşelerde olmuştur. Makinenin içerisinden çıkarılan blok üzerinde yapılan detaylı incelemeye göre bloğun merkezinde de çatlakların oluştuğu görülmüştür.

Şekil 5.15. Kontrol bloğu basınç testi süreci ve sonuç grafik

Son olarak mikoriza ekilen ikinci alker blok otomatik basınç deney presine yerleştirilmiştir. Stres – zaman grafiğinin daha belirgin çıkması için beklenen maksimum stres değeri 1,5 MPa olarak belirlenmiş ve 0,02 MPa/s hızında yükleme başlatılmıştır. Deney sırasında maksimum stres değerinin 1,01 MPa çıktığı yani mikoriza ekilen alker bloğun kontrol bloğuna göre yüzde 25 daha dayanıklı olduğu ortaya çıkmıştır. İlk deneyle benzer şekilde gücün yüzde 10 değer kaybetmesiyle deney sonlandırılmış yine kırılmaların öncelikle köşelerde olduğu gözlemlenmiştir. Makinenin içerisinden çıkarılan blok üzerinde yapılan detaylı incelemeye göre bloğun merkezinde de çatlakların oluştuğu görülmüştür.



Şekil 5.16. Mikoriza ekilen blok için basınç testi süreci ve sonuç grafik

Mikoriza ekilen alker bloğun kontrol bloğuna göre yüzde 25 daha dayanıklı çıkmasının sebebinin blokların 4 hafta boyunca bulundukları ortam koşullarındaki farklılıklar olabileceği Dr. Öğr. Üyesi Muammer Özbek tarafından ifade edilmiştir. Mikoriza ve bitki ekilen alker blok 4 hafta boyunca yüzde 70 nem oranı ve 23°C sıcaklık değerleri belirlenen bitki büyütme kabini içerisinde muhafaza edilmiştir. Kontrol bloğunun saklandığı laboratuvar ortamında da benzer nem ve sıcaklık değerleri olduğu Prof. Dr. Hatice Gülen tarafından belirtilse de bitki büyütme kabininde nem ve sıcaklık değerleri 4 hafta boyunca sabit tutulmuştur. Buradan yola çıkılarak sabit nem ve sıcaklık koşullarının alker bloğun yapısal özelliklerine olumlu katkısının olabileceği çıkarımı yapılabilmektedir.

Öte yandan basınç testleri sonrasında nebati toprağın durumunu incelemek adına bloklarda yapılan gözlemde mikoriza ve bitki ekilen nebati toprağın şeklini koruyarak daha sıkı bir hale geldiği anlaşılmıştır. Buradan yola çıkılarak ileri çalışmalarda mikorizanın gelişim süresi uzatılarak daha belirgin sonuçlar elde edilebileceği ve gerekli test kurulumları yapılarak mikorizanın yüzey gerilimi üzerindeki etkilerinin ölçülebileceği söylenebilmektedir.

Şekil 5.17. Kontrol bloğunda nebati toprağın dağıldığı, mikoriza ekilen blokta toprağın şeklini koruyarak sıkılaştığı gözlemlenmiştir. Bitkinin mikoriza ile birlikte kök gelişimi

Gerçekleştirilen her iki deneyde de kırılmaların öncelikle köşelerde yaşanmasından yola çıkılarak blokların köşelerinde stres biriktiği çıkarımı yapılmaktadır. Alan çalışmasında mikorizanın nebati toprak içerisinde bitki ile birlikte çalışarak sıkıştırılmış toprak blokta açılan boşluktaki büyüme sürecinin gözlemlenmesi ve bloğun yapısal dayanımına katkısının test edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle alker blokların geometrisi bir parametre olarak sürece dahil edilmemiştir. Ancak ileri çalışmalarda gerçekleştirilecek form – malzeme – geometri araştırmalarında köşesiz, birbirini takip eden yüzeylere sahip tasarımlar yapmanın yapısal performans açısından avantaj sağlayacağı söylenebilmektedir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tezin ana hedefi; ekolojik mimari tasarım sürecinin biyolojik süreçlerle entegrasyonunda mimarlık, biyogenetik ve inşaat disiplinlerinin bir arada çalıştığı bir sürecin tasarım araştırmaları sürecini nasıl etkilediğini deneyimlemek, sürecin bir örneklemesini gerçekleştirerek gelecek araştırmalar için bir ön çalışma olmasını sağlamaktır. Bu hedef doğrultusunda öncelikle mevcut ekolojik mimari tasarım yaklaşımları, doğa ve mimarlık ilişkileri, biyomalzemeler üzerine yapılan mimari tasarım araştırmaları tartışılmıştır. Mevcut durumda biyomalzemeler üzerine yapılan çalışmaların büyük oranda tasarım araştırmaları kategorisinde toplandığı ve mevcut endüstriyel anlayışa eklemlenmeleri sebebiyle üretim süreçlerinde köklü değişimler yaratamadıkları tespit edilmiştir. Alan çalışmasından edinilen deneyimden de yola çıkılarak, tasarım araştırmalarına yaşayan organizmaların dahil edilmesi sürecini etkileyen bitkinin yaşam döngüsü, mikroorganizmanın zamana bağlı değişimi, yapısal eleman ve canlı organizma birlikteliğinin ortaya çıkardığı yeni parametreler gibi birçok faktör bulunmaktadır.

Ekolojik bir malzemenin biyolojik süreçlerle geliştirilmesi üzerine bir alan çalışması yapılması kararı verildikten sonra, bu entegrasyonun gerçekleştirilebileceği tasarım sorularının belirlenmesiyle süreç başlamıştır. Tasarım sorularının ortaya konması ile birlikte bu sorulara biyolojik süreçlerle cevap verilmeye çalışıldığında disiplinler arası iş birliklerine ihtiyaç duyulmuştur. Biyomühendislik ve inşaat mühendisliği disiplinlerinden akademisyenlerle yürütülen çalışma boyunca mimari tasarım pratiğinin tartıştığı form, işlev, birimlerin birbirleri ve çevreyle olan ilişkileri gibi kavramlar dışında, canlı organizmaların yaşama koşulları, büyüme örüntüleri, büyüme süreçlerinin zamanla olan ilişkisi; ölçülmesi istenen performansa uygun test düzeneklerinin tasarlanması gibi yeni parametreler tasarım araştırması sürecine dahil olmuştur. Mimari tasarım sürecini besleyen ve daha karmaşık bir sistemde değerlendirilmesini sağlayan yeni değişkenlerle birlikte sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin tasarım sürecindeki kullanım biçimleri de gelişmektedir.

Disiplinler arası alan çalışması kapsamında sıkıştırılmış toprak blokların yapısal performansının mikorizal mantar kullanılarak geliştirilmesi üzerine gerçekleştirilen deneyde bitki için açılan haznedeki nebati toprağa mikoriza eklenen sıkıştırılmış toprak bloğun

kontrol bloğuna göre basınca yüzde 25 oranında daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen alan çalışmasının ileri adımı olarak mikorizanın sıkıştırılmış toprak bloğun boşluğu içerisinde gelişim süreci 2-3 aya kadar uzatılarak gözlemlenebilir ve süreç sonunda mikorizanın sıkıştırılmış toprak bloğun yüzey gerilimine etkisinin gerekli test kurulumları yapılarak ölçülebilir. Bu çalışmaya ek olarak sayısal tasarım ve üretim teknolojileri yardımıyla yapılacak form – malzeme – geometri araştırmaları üzerinden mikorizanın yüzey dayanımına etkisi test edilebilir.

Gerçekleştirilen alan çalışması sürecinden edinilen deneyimler doğrultusunda gelecek çalışmalar için yapılabilecek bir diğer öneri alker karışımı içerisinde gelişerek alkerin yapısal dayanımını arttıracak bir mikroorganizma ile bir alan çalışması yapılabileceğidir. Bu alan çalışması sonucunda mikroorganizmanın alkerin yapısal dayanımına etkisi basınç dayanımı testi ile ölçülebilir.

Alan çalışması sürecinde mikroorganizma seçimi için yapılan analizler sonucu sıkıştırılmış toprak bloğun yapısal performansını geliştirecek bir mikroorganizma kültürü laboratuvarın imkanları doğrultusunda halihazırda bulunamamış ve yerel kaynaklardan temin edilmesi mümkün olmamıştır. Mevcut mikroorganizmalar üzerinden biyomühendislikle tespit edilen ortam koşullarında hayatta kalabilecek mikroorganizma üretmek mümkün olsa da, daha önce hiç var olmamış bir canlı organizmayı ekosisteme dahil etmenin hukuksal, çevresel sorumluluklar ve sosyal risk analizleri gerektirdiği bilinmektedir. Yalnızca genetiği değiştirilmiş bir canlı organizmanın ekosisteme dahil edilmesi değil, aynı zamanda genetiği değiştirilmemiş, başka bir ekosistemde var olan bir canlı organizmanın mimari elemanların bünyesinde kendi ekosistemi dışında bir ekosisteme dahil edilmesi de çevreye karşı sorumlu olmayı gerektirmektedir. Örneğin; bir yapıda kullanılacak mikroorganizmanın, yapının konumlanacağı ekosistemdeki diğer canlılarla rekabete girmesi mikroorganizmanın yaşamını devam ettirememesi ve yapıda üstleneceği görevi yerine getirememesi ya da ekosistemdeki çeşitliliği olumsuz etkilemesi anlamına gelebilmektedir. Yapının içinde bulunacağı ekosisteme uyum gösterecek mikroorganizma seçimi önem kazanmaktadır. Buradan yola çıkılarak; biyomalzemeler üzerine yapılan mimari tasarım araştırmalarının etik yönüyle tartışılması gelecek çalışmalar için önerilmektedir.

Biyomalzemelere dayalı tasarım araştırmaları mimarlıkta ana akım ekolojik yaklaşımların içinde sürdürülebilir malzeme ve tasarım araştırmaları kapsamında önemli bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Disiplinler arası çalışmaları gerekli kılan biyomalzeme araştırmalarının mimarlık, biyoloji, ekoloji, metalurji, inşaat, çevre mühendisliği gibi disiplinler arasında sayısal tasarım ve üretim teknolojileri aracılığıyla ortak bir dil kurması mümkün olacaktır. Sayısal tasarım ve üretim teknolojileri kullanılarak hesaplanabilir geometriler üretmenin yanında performans testleri yapmak, simülasyonlar yoluyla tasarımı geliştirmek gibi amaçlarla da disiplinler arası çalışmalar kapsamında ekolojik mimari tasarım desteklenebilecektir.

KAYNAKLAR

Akipek, F. Ö. (2018, Mayıs). Kent-Doğa Arakesitinde Sıkıştırılmış Toprak Bir Duvar: "Komün-Aksiyon Duvarlar". *Mimar.İst Dergisi, 62*, 28-34.

Akman, A. (2019). Şehirde Mevcut Olmak ya da Gelişmiş Kırsalda Yaşamak. A. Ciravoğlu (Ed.), *Ters Köşe Ekoloji* (ss. 84-93). İstanbul: Puna Yayın.

Akyürek, B. K. (2019). Planlı Eskitilen Mimarlık: Yap, Yık, At. A. Ciravoğlu (Ed.), *Ters Köşe Ekoloji* (ss. 48-61). İstanbul: Puna Yayın.

Armstrong, R. (2017). Living Architecture (LIAR): Metabolically Engineered Building Units. D. E. Hebel, & F. Heisel (Ed.), *Cultivated Building Materials* (ss. 168-175). Basel: Birkäuser.

Attias, N. (2016). Biological Materials - Cabinets of Curiosities. B. B. Yael Eylat Van-Essen (Ed.), *Life Object - Merging Biology & Architecture* (ss. 123-130). Quebec: Sternthal Books, Inc. Montreal.

Benyus, J. (1997). *Biomimicry Innovation Inspired by Nature*. Erişim Tarihi: 16.05.2019, https://biomimicry.org/janine-benyus/first-chapter-biomimicry-innovation-inspired-nature/

Bookchin, M. (2017). *Ekolojik Bir Topluma Doğru*. (A. Yılmaz, Çev.) İstanbul: Sümer Yayıncılık.

Brooker, R. J., Widmaier, E. P., Graham, L. E., & Stiling, P. D. (2011). *Biology (Second Edition)*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.

Callenbach, E. (2017). *Ekoloji*. (E. Özkan, Çev.) İstanbul: Sinek Sekiz Yayınevi.

Ciravoğlu, A. (2019). Yalan Dünyanın Çevreci Mekanları: Gerçeklik Sonrası Dönemde Çevre Sorunları ve Algısı. A. Ciravoğlu (Ed.), *Ters Köşe Ekoloji* (ss. 14-25). İstanbul: Puna Yayın.

Darçın, P. (2014). Çevreci Yapma Çevre Kavramının Evrimi: Yenileyici (Rejeneratif) Tasarım Yaklaşımı. *Mimar.İst Dergisi, 51,* 50-56.

Harari, Y. N. (2016). *Homo Deus Yarının Kısa Bir Tarihi*. (P. N. Taneli, Çev.) İstanbul: Kolektif.

Harman, J. (2013). *The Shark's Paintbrush Biomimicry and How Nature is Inspiring Innovation*. Ashland: White Cloud Press.

Hebel, D. E., & Heisel, F. (2017). *Cultivated Building Materials Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction*. Basel: Birkhauser.

Heisel, F., Schlesier, K., Lee, J., Rippmann, M., Saeidi, N., Javadian, A., . . . Block, P. (2017). Design of a load-bearing mycelium structure through informed structural engineering. World Congress on Sustainable Technologies (WCST-2017), (ss. 45-49).

Hoheneder, W., & Gruber, P. (2016). Plan Not to Plan Anymore - on Growing and Building. B. Imhof, & P. Gruber (Ed.), *Built to Grow - Blending Architecture and Biology* (ss. 29-40). Basel: Birkhäuser.

Imhof, B., & Gruber, P. (2016). *Built to Grow - Blending Architecture and Biology*. Basel: Birkhäuser.

Jonkers, H. M. (2017). Limestone-producing Bacteria: Self-healing Concrete. D. E. Hebel, & F. Heisel (Ed.), *Cultivated Building Materials* (ss. 142-147). Basel: Birkhäuser.

Kafescioğlu, R. (2017a). *Çağdaş Yapı Malzemesi Toprak ve Alker*. İstanbul: İTÜ Vakfı Yayınları.

Kafescioğlu, R. (2017b). Neden Toprak Yapılar? Y. Aksoy (Ed.), *Yaşamın Her Karesinde Toprak* (ss. 133-159). Erişim Tarihi: 16.05.2019, http://yasaminherkaresindetoprak.aydin.edu.tr/yaseminherkaresindetoprak.pdf

Kellert, S., & Calabrese, E. (2015). *The Practice of Biophilic Design*. Erişim Tarihi: 16.05.2019, https://docs.wixstatic.com/ugd/21459d_81ccb84caf6d4bee8195f9b5af92d8f4.pdf

Koç, Z. G. (2017). *Ekotasarım Kapsamında Toprak Yapım Sistemleri ve Yönetmeliklerin İrdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ.

Larsson, M. (2011). Dune: Arenaceous Anti-Desertification Architecture. V. Badescu, & R. B. Cathcart (Ed.), *Macro-engineering Seawater in Unique Environments* (ss. 431-463). Heidelberg: Springer-Verlag Berlin. doi:10.1007/978-3-642-14779-1_20

Lienhard, J., Schleicher, S., Poppinga, S., Masselter, T., Milwich, M., Speck, T., & Knippers, J. (2011). Flectofin: a hingeless flapping mechanism inspired by nature. *Bioinspiration & Biomimetics*, 1-7. Erişim Tarihi: 16.05.2019, https://www.researchgate.net/publication/51839563_Flectofin_A_hingeless_flapping_mechanism_inspired_by_nature

Montgomery, S. L. (2014). *Küresel Enerjiye Yön Veren Güçler, 21.Yüzyıl ve Sonrası*. (E. G. Şenol, Çev.) Ankara: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları.

Myers, W. (2018). *Biodesign Nature Science Creativity*. Londra: Thames & Hudson.

Oxman, N. (2010). *Material-based Design Computation*. Doktora Tezi, Massachusetts Institute of Technology.

Özçuhadar, T. (2007). Binalarda Yaşam Döngüsü. *Yapı Dergisi Eki*, 14-18.

Speck, T. (2016). Approaches to Bio-inspiration in Novel Architecture. B. Imhof, & P. Gruber (Ed.), *Built to Grow - Blending Architecture and Biology* (ss. 145-152). Basel: Birkäuser.

Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, J. R. (2007). The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? *AMBIO, 36(8)*, 614-621.

Ziegert, C., & Blaschek, J. A. (2017). Standardization of a Natural Resource The Example of Industrial Earth Building Materials in Germany. D. E. Hebel, & F. Heisel (Ed.), *Cultivated Building Materials Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction* (ss. 40-45). Basel: Birkhauser.

İNTERNET KAYNAKLARI

URL-1 <http://www.achimmenges.net/?p=5612> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-2 <https://www.biodesignteam.com/> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-3 <http://biyomedtek.com/bmt-konular-no1.htm> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-4 <https://growingasbuilding.org/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=107> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-5 <https://www.youtube.com/watch?v=PXMJobWlXks> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-6 <https://www.designboom.com/architecture/magnus-larsson-sculpts-the-saharan-desert-with-bacteria/> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-7 <https://www.ingenia.org.uk/getattachment/Ingenia/Issue-46/SelfHealing-Concrete/Arnold.pdf> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-8 <https://www.photosynthetica.co.uk/urban-algae-folly-milan> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-9 <http://www.ecologicstudio.com/v2/project.php?idcat=3&idsubcat=71&idproj=147> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-10 <https://www.iba-hamburg.de/en/themes-projects/the-building-exhibition-within-the-buildingexhibition/smart-material-houses/biq/projekt/biq.html> Erişim tarihi: 16.05.2019

URL-11 <https://iaac.net/project/bio-ceramic-system/> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-12 <https://block.arch.ethz.ch/brg/project/mycotree-seoul-architecture-biennale-2017> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-13 <https://static1.squarespace.com/static/5588241ce4b0562ee8fe469a/t/57a6696ad1758e28c2a5888f/1470523768606/Engineered+Earth.pdf> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-14 <https://www.herzogdemeuron.com/index/projects/complete-works/351-375/369-ricola-kraeuterzentrum.html> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-15 <https://www.designboom.com/architecture/herzog-de-meuron-ricola-herb-center-krauterzentrum-07-07-2014/> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-16 <http://potplus.org/tr/komun-aksiyon-duvarlar-1/> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-17 <https://plus.maths.org/content/meet-gyroid> Erişim Tarihi: 16.05.2019

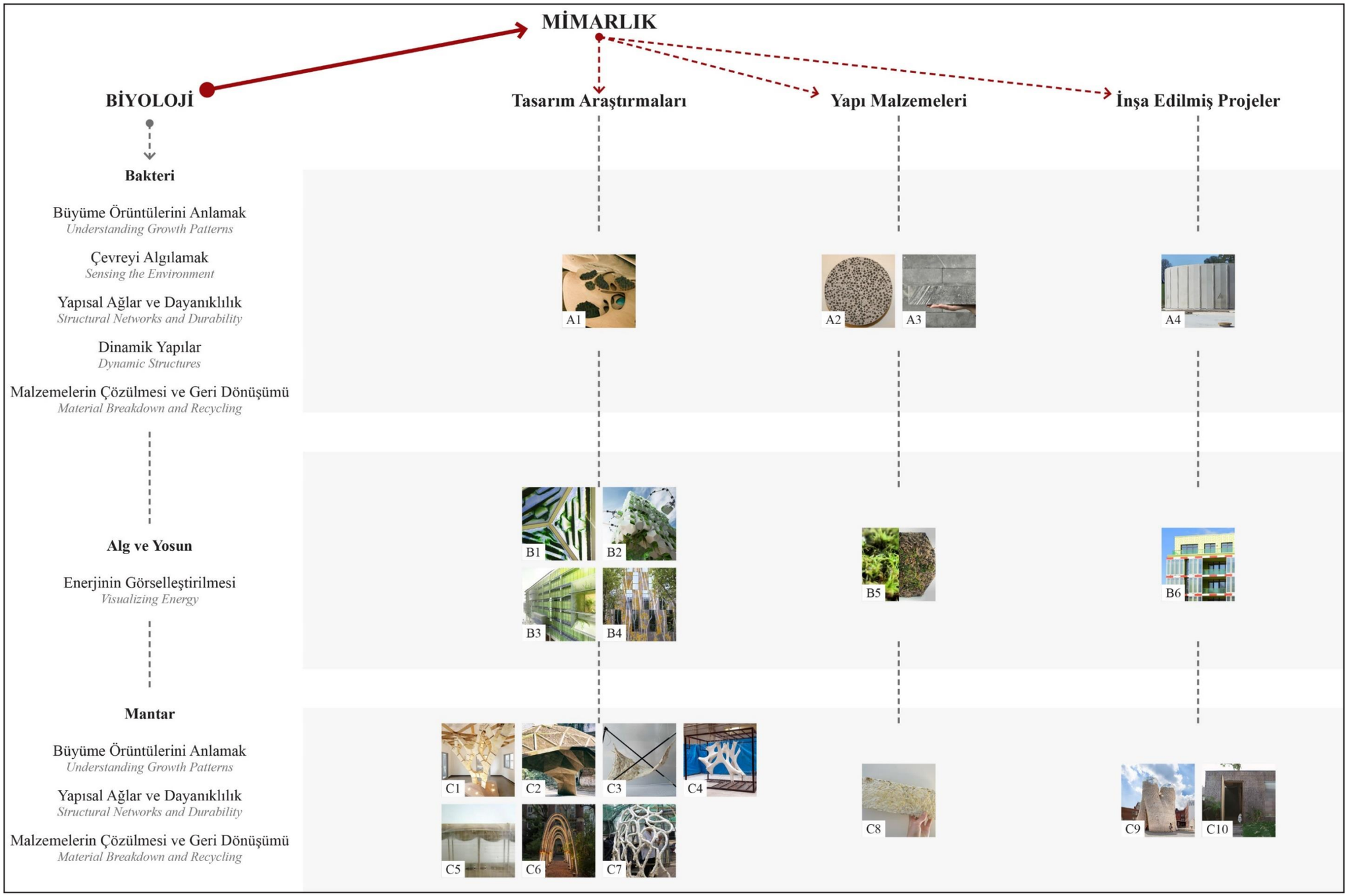
URL-18 <http://www.designcoding.net/approximating-gyroid/> Erişim Tarihi: 16.05.2019

URL-19 <http://www.ekopons.com.tr/product/perlite> Erişim Tarihi: 27.06.2019

URL-20 <http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFA79D6F5E6C1B43FF380B7B4044EFB0A3#03> Erişim Tarihi:16.05.2019

URL-21 <http://bioinformatics.psb.ugent.be/genomes/view/Glomus-intraradices> Erişim Tarihi: 16.05.2019

EK-1


MİMARLIK
BİYOLOJİ
Tasarım Araştırmaları
Yapı Malzemeleri
İnşa Edilmiş Projeler
Bakteri
Büyüme Örüntülerini Anlamak
Understanding Growth Patterns
Çevreyi Algılamak
Sensing the Environment
Yapısal Ağlar ve Dayanıklılık
Structural Networks and Durability
Dinamik Yapılar
Dynamic Structures
Malzemelerin Çözülmesi ve Geri Dönüşümü
Material Breakdown and Recycling
Alg ve Yosun
Enerjinin Görselleştirilmesi
Visualizing Energy
Mantar
Büyüme Örüntülerini Anlamak
Understanding Growth Patterns
Yapısal Ağlar ve Dayanıklılık
Structural Networks and Durability
Malzemelerin Çözülmesi ve Geri Dönüşümü
Material Breakdown and Recycling
A1
A2
A3
A4
B1
B2
B3
B4
B5
B6
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
C9
C10

EK-2

Tablo Ek-2. 1. Tablo 3.1.'e ait görsellerin kaynakları

A1	<https://www.designboom.com/architecture/magnus-larsson-sculpts-the-saharan-desert-with-bacteria/> Erişim Tarihi: 16.05.2019
A2	<https://www.ingenia.org.uk/getattachment/Ingenia/Issue-46/SelfHealing-Concrete/Arnold.pdf> Erişim Tarihi: 16.05.2019
A3	<https://biomason.com/> Erişim Tarihi: 16.05.2019
A4	(Jonkers, 2017, s. 147)

Tablo Ek-2. 2. Tablo 3.2.'ye ait görsellerin kaynakları

B1	<http://www.ecologicstudio.com/v2/project.php?idcat=3&idsubcat=71&idproj=147> Erişim Tarihi: 16.05.2019
B2	<http://www.squareddesignlab.com/projects/eco-pod> Erişim Tarihi: 16.05.2019
B3	<https://www.detail-online.com/article/los-angeles-goes-green-14306/> Erişim Tarihi: 16.05.2019
B4	<https://newatlas.com/biological-concrete/25546/> Erişim Tarihi:16.05.2019
B5	<https://iaac.net/project/bio-ceramic-system/> Erişim Tarihi: 16.05.2019
B6	<https://www.iba-hamburg.de/en/themes-projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-material-houses/biq/projekt/biq.html> Erişim Tarihi: 16.05.2019

Tablo Ek-2. 3. Tablo 3.3.'e ait görsellerin kaynakları

C1	<https://block.arch.ethz.ch/brg/project/mycotree-seoul-architecture-biennale-2017> Erişim Tarihi: 16.05.2019
C2	<https://www.dezeen.com/2017/08/26/shell-mycelium-fungus-pavilion-beetles-3-3-yassin-arredia-design-kerala-india/> Erişim Tarihi: 16.05.2019
C3	(Imhof & Gruber, 2016, s. 123)

C4	<http://www.mimarizm.com/haberler/gundem/urban-atolye-den-organik-yapi-malzemesi-alveosis_128722> Erişim Tarihi: 16.05.2019
C5	(Elbasdı, 2016, s.48)
C6	<http://www.arkitera.com/haber/31251/peki-ya-gelecekte-bir-evi-bitki-yetistirir-gibi-programlayabilirsek_-> Erişim Tarihi: 16.05.2019
C7	<https://www.dezeen.com/2017/06/20/aleksi-vesaluoma-mushroom-mycelium-structure-shows-potential-zero-waste-architecture/> Erişim Tarihi: 16.05.2019
C8	<http://syndebio.com/ecovative-muchroom-materials/> Erişim Tarihi: 16.05.2019
C9	<https://urbannext.net/hy-fi/> Erişim Tarihi: 16.05.2019
C10	<http://www.arkitera.com/haber/30982/cork-studio1> Erişim Tarihi: 16.05.2019