



**MİMARLIKTA BİYOMALZEME KULLANIMININ
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÜZERİNE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Buse DEVRİM



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİMARLIKTA BİYOMALZEME KULLANIMININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK
ÜZERİNE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Buse DEVRİM
0000-0002-1972-184X

Doç. Dr. Rengin BECEREN ÖZTÜRK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
MİMARLIK ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİMARLIK ALANINDA BİYOMALZEME KULLANIMININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÜZERİNE DEĞERLENDİRİLMESİ

Buse DEVRİM

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Rengin BECEREN ÖZTÜRK

Endüstrileşme ile kentlerin büyümesi ve enerji ihtiyacının artması, 20. yy'ın ortalarında ekolojik yaklaşımların gelişmesine zemin oluşturmıştır. İnsanın ve yapılı çevrenin sebep olduğu çevresel sorunlara karşılık olarak mimarlık alanında sürdürülebilir yaklaşımlar ve uygulamalar geliştirilmiştir. Bunlara paralel olarak son yıllarda birçok sektörde olduğu gibi mimarlık alanında da biyomalzeme çalışmaları ve uygulamaları konusunda yapılan ilerlemeler görülmektedir. Biyomalzemeler sürdürülebilir, çevreye zarar vermeyen malzeme üretimi konusundaki yapılan çalışmaların bir bölümüdür. Biyomalzemeler kullanılarak; cephe elemanları, yalıtım malzemeleri gibi birbirinden farklı çalışmalar yapılmakta ve geliştirilmektedir.

Biyomalzemelerin mimarlık dünyasında daha yaygın kullanılmasına yönelik, ülkemizde bu alanda yapılan çalışmaların daha çok sağlık, mühendislik gibi farklı disiplinlerde çalışılırken mimarlık alanında yapılan çalışmaların az olduğu, bu konu üzerinde çalışmaların geliştirilebileceği görülmüştür. Bu yüzden mimarlıkta biyomalzeme kullanımının sürdürülebilirlik üzerine değerlendirilmesi amacıyla birinci bölümde literatür taraması yapılarak literatürdeki boşluklar tespit edilmiştir ve tez çalışmasının amacı ve kapsamı, çalışmanın yöntemi açıklanmıştır.

İkinci bölümde sürdürülebilirlik kavramının tanımı tarihsel gelişimi ve ulusal ve uluslararası konferanslar açıklanmıştır. Sürdürülebilir yapı ve yapı malzemelerinin tanımı yapılarak, tarihsel gelişimi, özelliklerinin neler olduğu zaman çizelgesi oluşturularak incelenmiştir. Mimarlık ve biyoloji ilişkisi başlığında farklı disiplinler arası çalışmanın etkileri, mimari tasarım açısından; biyomimikri, biyofilik tasarım ve biyotasarım kavramları altında ele alınmıştır ve örnek projeler incelenmiştir. Malzeme üretimi açısından biyomalzemeler malzeme ekolojisi altında ele alınmış biyomalzemelerin gelişimi, tarihçesi sınıflandırılması ve örnek projeler incelenmiştir. Üçüncü bölümde materyal ve yöntem bölümünde biyomalzemelerin mimarlık alanında kullanımı ulusal ve uluslararası projeler üzerinden incelenerek sürdürülebilir biyomalzeme inceleme kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Sonuç bölümünde tez kapsamında çalışılmak istenilen konu hakkındaki bilgilerin genel değerlendirmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyomalzemeler, sürdürülebilirlik, sürdürülebilir yapı malzemeleri, biyotasarım, yaşam döngüsü

2023, xiv + 181 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

EVALUATION OF THE USE OF BIOMATERIALS IN ARCHITECTURE ON SUSTAINABILITY

Buse DEVRİM

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Architecture

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rengin BECEREN ÖZTÜRK

The growth of cities with industrialization and the increase in energy needs laid the groundwork for the development of ecological approaches in the middle of the 20th century. In response to the environmental problems caused by man and the built environment, sustainable approaches and practices have been developed in the field of architecture. Parallel to these, in recent years, progress has been made in the field of architecture, as well as in many sectors, in the field of biomaterial studies and applications. Biomaterials are a part of the studies on the production of sustainable, environmentally friendly materials. Using biomaterials; Various studies such as facade elements and insulation materials are carried out and developed.

While the studies in this field in our country are mostly studied in different disciplines such as health and engineering, it has been seen that there are few studies in the field of architecture and that studies on this subject can be developed. Therefore, in order to evaluate the use of biomaterials in architecture on sustainability, in the first part, the literature was searched and the gaps in the literature were determined and the purpose and scope of the thesis study and the method of the study were explained.

In the second part, the definition of the concept of sustainability, its historical development and national and international conferences are explained. Sustainable building and building materials were defined and their historical development and characteristics were examined by creating a timeline. In the title of the relationship between architecture and biology, biomimicry in terms of architectural design is discussed under the concepts of biophilic design and biodesign, and sample projects are examined. In terms of material production, biomaterials were discussed under material ecology, and the development, history, classification and sample projects of biomaterials were examined. In the third chapter, in the material and method section, the use of biomaterials in the field of architecture has been examined through national and international projects and evaluated according to sustainable biomaterial examination criteria. In the conclusion part, the general evaluation of the information about the subject to be studied within the scope of the thesis is made.

Key words: Biomaterials, sustainability, sustainable building materials, biodesign, life cycle

2023, xiv + 181 pages.

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca bilgi birikimini ve tecrübelerini paylaşan, her zaman destek olan ve akademik gelişimime katkıda bulunan ve yardımlarıyla yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Rengin BECEREN ÖZTÜRK'e,

Her zaman yanımda olan, sonsuz sevgi ve özenle bugünlere gelmemi sağlayan, her kararımda beni destekleyen ve inanan canlarım; annem Gülsüm DEVRİM ve babam Necdet DEVRİM'e,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Buse DEVRİM
05/06/2023



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	8
2.1. Sürdürülebilirlik Kavramının Tanımı	9
2.1.1. Sürdürülebilir yapı	16
2.1.2. Sürdürülebilirlik ölçümünde kullanılan sertifikalar	19
2.2. Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri	21
2.2.1. Yapı malzemelerinin yaşam döngüsünün değerlendirilmesi	34
2.3. Mimarlık ve Biyoloji İlişkisi.....	36
2.3.1. Mimari tasarım açısından mimarlık ve biyoloji ilişkisi	38
2.3.2. Yapı biyolojisi açısından mimarlık ve biyoloji ilişkisi	55
2.3.3. Malzeme üretimi açısından mimarlık ve biyoloji ilişkisi.....	63
2.4. Biyomalzemeler	67
2.4.1. Biyomalzemelerin tarihsel gelişimi	70
2.4.2. Biyomalzemelerin sınıflandırılması	73
2.4.3. Biyomalzemelerin özellikleri ve mimaride kullanımı.....	89
2.4.4. Biyomalzemelerin mimari eleman üretimi açısından potansiyelleri.....	96
2.5. Bölüm Sonucu Biyomalzemelerin Mimaride Kullanımının Değerlendirilmesi.....	104
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	107
3.1. Mimarlık Alanında Biyomalzeme Çalışmaları	108
3.2. Mimarlık Alanındaki Biyomalzeme Çalışmalarının Değerlendirilmesi	136
4. BULGULAR.....	148
4.1. Örneklerin Biyomalzeme İnceleme Ölçütleri Açısından Değerlendirilmesi.....	148
4.2. Biyomalzemelerin Mimari Sürdürülebilirlik Açısından Avantaj ve Dezavantajları	156
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	159
KAYNAKLAR	162
ÖZGEÇMİŞ	181

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

CaCO ³	Kalsiyum karbonat
cm	Santimetre
CO ²	Karbondioksit
Kg	Kilogram
kWh/m ²	Kilowatt saat bölü metrekare
kW	Kilowatt
m	Metre
mm	Milimetre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
vb	Ve benzeri
vd	Ve diğerleri
yy	Yüzyıl
W	Watt
%	Yüzde

Açıklama

Kısaltmalar

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BM	Birleşmiş Milletler
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CIB	Conseil International du Bâtiment
CNC	Computer Numeric Control
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen E.V.
EDGE	Excellence in Design for Greater Efficiencies
ESARQ	La Escuela Superior de Arquitectura
ICD	Institute for Computational Design and Construction
ISO	International Organization for Standardization
KCC	Krebs Creative Cycle
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
PV	Photovoltaic
SFMOMA	San Francisco Museum of Modern Art
TDK	Türk Dil Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP	UN Environment Programme
UV	Ultraviyole
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi
WHO	World Health Organization
WWF	World Wide Fund for Nature
3B	Üç Boyutlu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Sürdürülebilirlik	9
Şekil 2.2.	Atıkların çevreye verdiği zararlar	10
Şekil 2.3.	Sürdürülebilir halkınma hedefleri	14
Şekil 2.4.	Sürdürülebilirlik kavramının zaman içerisindeki değişimi	15
Şekil 2.5.	Yapı malzemeleri	21
Şekil 2.6.	Yapı malzemeleri	23
Şekil 2.7.	Çatalhöyük (M.Ö. 7400) - Colosseum (yakl. 70-80)	26
Şekil 2.8.	Pantheon (M.S. 125) – Stonehenge (M.Ö. 3100)	27
Şekil 2.9.	Kristal Palace (1851) –L’Institut du Monde Arabe (1987)	28
Şekil 2.10.	Guggenheim Müzesi-Eden Projesi-Serpentine Sackler Gallery ...	32
Şekil 2.11.	Döngüsel ekonomi	34
Şekil 2.12.	Krebs yaratıcılık döngüsünü (KCC)	37
Şekil 2.13.	Biyomimikri	38
Şekil 2.14.	Doğadaki biyomimikri örnekleri	40
Şekil 2.15.	Mısırlılar ve Yunanlılar Döneminde bitkilerden esinlenerek inşa edilmiş sütunlar - Yere Batan Sarnıcı	41
Şekil 2.16.	Gaudi La sagrada Familia, Wright'ın mantar sütunları ve Los Manatiales restoranında biyomimikri yaklaşımları	42
Şekil 2.17.	Kutu balığından esinlenerek geliştirilen DaimlerChrysler'ın Biyonik Arabası	43
Şekil 2.18.	Lotus bitkisinden esinlenerek geliştirilen kendini temizleyebilen boyalar.....	43
Şekil 2.19.	ICD-ITKE Araştırma Pavyonu	46
Şekil 2.20.	Böceğin ve robotun malzeme kullanımı	46
Şekil 2.21.	Hastane odaları	47
Şekil 2.22.	Biyofilik tasarım	48
Şekil 2.23.	Estévez'in biyo-dijital tasarımıyla ilgili büyüme temelli görselleri..	50
Şekil 2.24.	Genetik Barselona Pavyonu- Dijital Barselona Pavyonu	52
Şekil 2.25.	İpek böceği kozasının ve örümcek ağının oluşumu	52
Şekil 2.26.	Danışma Odaları	53
Şekil 2.27.	İpek Köşk	54
Şekil 2.28.	İpek Köşk deneyleri	54
Şekil 2.29.	Yapı biyolojisi	56
Şekil 2.30.	İnsan ve yapı arasındaki etkileşim	57
Şekil 2.31.	Malzeme ekolojisi	64
Şekil 2.32.	Doku bileşimlerinin malzeme özelliklerine yansısı ile yapılan kask tasarımı	65
Şekil 2.33.	Sentetik Arı Kovanları I	65
Şekil 2.34.	Peteklerin hesaplamaları analiz verileri ve balmumu hücresel özellikleri	66
Şekil 2.35.	Biyomalzeme örnekleri	67
Şekil 2.36.	Tekstil ürünleri tasarımında kullanımı	68
Şekil 2.37.	Kentsel tasarım alanında kullanımı	69
Şekil 2.38.	Biyomalzemeler	70
Şekil 2.39.	İnsan vücudunda kullanılan biyomalzemeler	72

Şekil 2.40.	Biyomalzeme ana grupları	73
Şekil 2.41.	Malzemeleri sınıflandırma çizelgesi	75
Şekil 2.42.	Yapılarda saman kullanımı	78
Şekil 2.43.	Ketenin kullanımı	79
Şekil 2.44.	Mimarlıkta kenevirin kullanımı	79
Şekil 2.45.	Ahşap kullanımı - The Circular Pavillion.....	81
Şekil 2.46.	Yapılarda kamış kullanımı	81
Şekil 2.47.	Yapılarda uygulanan yeşil duvar (sol görsel) ve Yeşil cephe (sağ görsel)	82
Şekil 2.48.	Saman Kullanımı - Sen Köyü Toplum Merkezi	82
Şekil 2.49.	Cuerden Valley Park Ziyaretçi Merkezi	83
Şekil 2.50.	Canlı organizmalar kullanılarak üretilen biyomalzemeler	83
Şekil 2.51.	Bakteri Çeşitleri	84
Şekil 2.52.	Bakterilerin fermantasyonu ile üretilen eko-deri	84
Şekil 2.53.	Biyoplastik Üretimi	85
Şekil 2.54.	(a) Bakteri yapısı, (b) bakteri hücre duvarındaki pozitif ve negatif yüklü iyonlar, (c) biyomineral üretimi	85
Şekil 2.55.	Alglerin mimaride kullanımı	86
Şekil 2.56.	Miselyum	88
Şekil 2.57.	Miselyum Kompozit Üretimi.....	88
Şekil 2.58.	Malzemelerin birden fazla sınıfa dahil olması	88
Şekil 2.59.	Mimarlık ve biyoloji ilişkisi	89
Şekil 2.60.	Biyo-esaslı yapı malzemesi örneği; Hempcrete	90
Şekil 2.61.	Cephe tasarımında kullanımı	90
Şekil 2.62.	Endüstriyel ürünlerin tasarımında kullanımı	91
Şekil 2.63.	Biyokompozitlerin üretimi ve yaşam döngüsü	92
Şekil 2.64.	Biyomalzemelerin kademeli kullanımı	93
Şekil 2.65.	Biyolojik malzemeler	98
Şekil 2.66.	Shou Sugi Ban tekniği ile yapılan cephe yüzeyi	103
Şekil 3.1.	Indus.....	116
Şekil 3.2.	AirBubble	117
Şekil 3.3.	Exhale	118
Şekil 3.4.	Miselyum maske üretimi	124
Şekil 3.5.	Bike Helmet	124
Şekil 3.6.	Mylo'nun üretimi	125
Şekil 3.7.	Flat House	127
Şekil 3.8.	Can Monges	128
Şekil 3.9.	Ottan Malzemelerin Farklı Kullanımı.....	129
Şekil 3.10.	Pomace üretimi	130
Şekil 3.11.	Ohmie Bileşenleri	131
Şekil 3.12.	AuReus malzeme detayları	132
Şekil 3.13.	Arboskin Pavillion	133
Şekil 3.14.	Sea Stone farklı şekillerde kullanımı	134
Şekil 3.15.	Shellworks malzeme çalışmaları	135

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1.	1998-2022 yılları arasındaki biyomalzeme kavramı üzerindeki tezlerin yıllara göre dağılımı	3
Çizelge 1.2.	Tez çalışmasının yöntemi	118
Çizelge 2.1.	Sürdürülebilirlik kavramının tarihsel gelişimi	11
Çizelge 2.2.	Yeşil yapı ve sürdürülebilir yapı	17
Çizelge 2.3.	Yapıların sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi için standart ve değerlendirme yöntemleri	19
Çizelge 2.4.	Yapıların ve ürünleri sürdürülebilirlik açısından değerlendiren standartlar	20
Çizelge 2.5.	Malzemenin temel özellikleri	22
Çizelge 2.6.	Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi	25
Çizelge 2.7.	Sürdürülebilirlik ölçütleri	30
Çizelge 2.8.	Sürdürülebilirlik kriterleri	31
Çizelge 2.9.	Biyomimikri tasarım spirali	41
Çizelge 2.10.	Biyomimikri düzeyleri	44
Çizelge 2.11.	Biyo-merkezli tasarımın gelişimi.....	47
Çizelge 2.12.	Biyofilik tasarım deneyimleri ve nitelikleri	49
Çizelge 2.13.	Mimarlığın üç dönemi	51
Çizelge 2.14.	Yapı biyolojisi kavram tablosu	57
Çizelge 2.15.	Yapı biyolojisinin temel ilkeleri	58
Çizelge 2.16.	Kullanılması ve kullanılmaması gereken malzemeler	61
Çizelge 2.17.	Mimarlık ve biyoloji	69
Çizelge 2.18.	Biyomalzemelerin tarihsel gelişimi	71
Çizelge 2.19.	Doğal liflerin sınıflandırılması.....	74
Çizelge 2.20.	Yeşil polimerlerin sınıflandırılması	76
Çizelge 2.21.	Biyomalzemelerin sınıflandırılması.....	77
Çizelge 2.22.	Farklı malzemelerin CO ² emisyonu ve gömülü enerji oranları .	93
Çizelge 2.23.	Malzemelerin küresel ısınma potansiyeli ve karbon depolaması	95
Çizelge 2.24.	Geleneksel tuğla ve biyotuğlaların termal özelliklerinin karşılaştırılması	96
Çizelge 2.24.	Neri Oxman'ın malzeme ekolojisi ilkeleri	100
Çizelge 2.26.	Nature x Humanity projesi, tasarım pratiği hakkında yeni bir düşünme biçimi	101
Çizelge 2.27.	Biyomalzemelerin avantajlarının sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi	102
Çizelge 2.28.	Biyomalzeme kriterleri ve sürdürülebilirlik kriterlerinin ortak değerlendirilmesi tablosu	104
Çizelge 2.29.	Biyomalzeme örneklerini sürdürülebilirlik açısından değerlendirme formu	106
Çizelge 3.1.	Proje inceleme çizelgesi	107
Çizelge 3.2.	Mimarlık alanında biyomalzeme çalışmaları	108
Çizelge 3.3.	Yapı malzemesi olarak kullanımı	109
Çizelge 3.4.	Yapım sistemi olarak kullanımı	110

Çizelge 3.5.	Endüstriyel tasarım olarak kullanımı	111
Çizelge 3.6.	Yapı malzemesi olarak kullanımı	113
Çizelge 3.7.	Cephe tasarımı olarak kullanımı	114
Çizelge 3.8.	Endüstriyel tasarım olarak kullanımı	118
Çizelge 3.9.	Yapı malzemesi olarak kullanımı	120
Çizelge 3.10.	Yapım sistemi olarak kullanımı	121
Çizelge 3.11.	Cephe tasarımı olarak kullanımı	123
Çizelge 3.12.	Endüstriyel tasarım olarak kullanımı	124
Çizelge 3.13.	Yapı malzemesi olarak kullanımı	127
Çizelge 3.14.	Endüstriyel tasarım olarak kullanımı	130
Çizelge 3.15.	Cephe tasarımı olarak kullanımı	132
Çizelge 3.16.	Yapı malzemesi olarak kullanımı	134
Çizelge 3.17.	Endüstriyel tasarım olarak kullanımı	134
Çizelge 3.18.	Biyomalzeme üretiminde kullanılan malzemeler ve işlevine göre seçilen örnek projelerin Noam Attias'ın (2016) yaklaşımından esinlenerek potansiyellerinin ve sürdürülebilirlik hedeflerinin yorumlanması	137
Çizelge 3.19.	Yapı malzemelerinin sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Bakteri ve alg)	139
Çizelge 3.20.	Yapı malzemesi sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Mantar)	140
Çizelge 3.21.	Yapı malzemesi sürdürülebilirliği (Tarımsal ve deniz kaynaklı atıklar)	141
Çizelge 3.22.	Yapım sisteminin sürdürülebilirliğinin incelenmesi	142
Çizelge 3.23.	Cephe tasarımının sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Alg)	143
Çizelge 3.24.	Cephe tasarımı sürdürülebilirliği (Mantar, tarımsal ve deniz canlısı atıklar)	144
Çizelge 3.25.	Endüstriyel tasarımın sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Bakteri ve tarımsal atık).....	145
Çizelge 3.26.	Endüstriyel tasarımın sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Alg) ...	146
Çizelge 3.27.	Endüstriyel tasarımın sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Mantar)	147
Çizelge 4.1.	Biyomalzemelerin sürdürülebilirliğinin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutu anahtar kavramları	146

1. GİRİŞ

Endüstri devrimiyle birlikte üretim artmış ve tüketim toplumları oluşmuştur. Zamanla yeryüzü zarar görmüş, küresel felaketler, petrol krizi gibi durumlar sonucunda Bruntland Raporu ile sürdürülebilirlik kavramını ortaya çıkarmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı çevresel bozulmanın arttığı dünyamızda son birkaç yılın en çok tartışılan konuları arasında yer almaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin yayınlanması ile birlikte; enerji ekonomisi, toplum ve çevre kavramlarının hepsini kapsayan ve bu kavramların iç içe geçtiği bir durumda yer almaktadır. Bundan dolayı sosyal bilimcilerden fen ve doğa bilimcilerine, politikacılardan yerel ve uluslararası çevre örgütlerine kadar uzanan çok geniş bir alanda tartışılmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı çok boyutlu olmasından dolayı bu konu üzerinde farklı bilim dalları çalışmalar yapmış ve farklı tanımlar geliştirmişlerdir. Tüm bu gelişmeler de mimarlık alanına yansımış ve sürdürülebilir mimarlık kavramı oluşmuştur.

Endüstrileşme ile kentlerin büyümesi ve enerji ihtiyacının artması, 20. yy'ın ortalarında ekolojik çalışmaların gelişmesine zemin oluşturmuştur. Enerji ve kaynakların kullanımı, ürünlerin üretimi ve atıklara dönüşümündeki insan sağlığına ve çevreye olan etkileri insan ve doğa ilişkisinin sorgulanmasına sebep olmuştur. 1973 yılındaki petrol krizi, petrol rezervleri olmayan ülkeler için dezavantajlı bir durum oluşturmuştur (Montgomery, 2014). Ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu gelişmelerinin mimarlığa etkisi yapılara “yeşil” özellikler kazandırılma şeklindedir.

Yapılı çevrenin ve insanın sebep olduğu çevresel sorunlara karşılık olarak mimarlık alanında sürdürülebilir bina kavramı, enerji verimliliği, sürdürülebilir bina değerlendirme sistemleri, ekolojik malzeme araştırmaları, yapı biyolojisi ve ekolojisi kavramı, biyomimikri, yaşayan mimari ve biyofilik tasarım gibi ekolojik yaklaşımlar ve uygulamalar geliştirilmiştir.

Son yıllarda artan nüfus, kaynaklarının bilinçsiz kullanımı, tüketim nedeniyle döngüsel bir sisteme geçiş bulunmaktadır. Yapı sektörü açısından baktığımızda yapı sektörü en çok atık üreten, çevreye zarar veren alanlardan biridir çünkü insan var olduğundan beri barınmak, yaşamını devam ettirebilmek için yapılar üretmekte ve malzemeyi şekillendirme ihtiyacı uymaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile de yeni malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Yapılaşma doğal çevreyi, havayı, suyu kirletmekte ormanların yok olmasına ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Küresel ısınmanın başlıca nedenlerinden biri olan CO² miktarının %35'i inşaat ve yapı sektöründen kaynaklanmaktadır (Roodman ve Lenssen 1995). Türkiye'de yapı sektörünün enerji tüketiminin toplam enerji tüketimine oranı 2008 yılındaki verilere göre %36'dır (Keskin 2010). Malzemeler; kullanıcıyı ve çevreyi etkilemekte, ömrü boyunca enerji tüketimine, CO² emisyonunun artmasına neden olmaktadır, buna rağmen yapıların vazgeçilmez taşıdır. Bu nedenle sürdürülebilir, doğaya zarar vermeyen, daha az enerji tüketen ve az atık oluşturan, karbon emülsiyonunu azaltan malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Doğal kaynaklarımız tükendiği için sürdürülebilir tasarım ve malzemenin birleşimi ile yapılar üretilmelidir. Bu yüzden pek çok tasarımcı yeni malzeme arayışlarına yönelmiştir, sürdürülebilir, çevreye daha az zarar veren ya da zarar vermeyen malzemeler üzerinde çalışmalar yaparak bu malzemeleri seçmeye başlamışlardır.

Son yıllarda mimarlık alanında biyomalzeme çalışmaları oldukça önem kazanmıştır. Biyomalzemeler, doğal kaynaklardan elde edilebilen, çevre dostu ve sürdürülebilir malzemelerdir. Bu malzemeler, inşaat sektöründe çeşitli alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Biyomalzemelerin kullanımı, yapıların enerji verimliliğini artırmakta ve karbon ayak izini azaltmaktadır. Örneğin, biyolojik malzemeler kullanılarak üretilen yalıtım malzemeleri, geleneksel malzemelere kıyasla daha iyi izolasyon sağlayamaktadır ve enerji tüketimini azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, biyolojik malzemelerin mimari tasarımda kullanımı, estetik ve fonksiyonel açıdan yeni olanaklar sunmaktadır.

Biyomalzeme araştırmaları; biyoloji, tıp, kimya, mühendislik gibi farklı disiplinlerin bir araya gelerek ortak çalışmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşım, farklı uzmanlık alanlarından gelen bilim insanlarının birlikte çalışmasını gerektirmektedir.

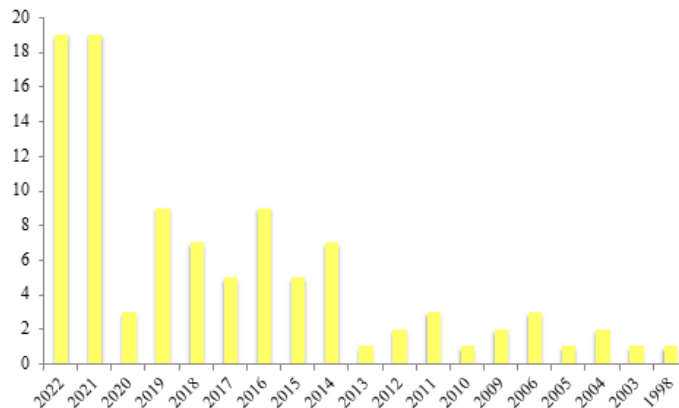
Biyomalzeme alanında yapılan araştırmalar, yeni malzemelerin keşfi, mevcut malzemelerin iyileştirilmesi ve daha sũrdũrũlebilir mimari zũmlerin geliştirilmesi gibi konuları kapsamaktadır.

Biyomalzeme çalışmalarının hedeflerinden biri, çevreye duyarlılık gösteren malzemelerin kullanımının yaygınlaşması ve sũrdũrũlebilirlik prensiplerinin mimarlık projelerine entegre edilmesidir. Bu şekilde, daha sũrdũrũlebilir ve evre dostu yapılar inşa edilebilir. Ayrıca, biyomalzemelerin mimari tasarımda kullanılması, doğal sistemlerden ilham alarak daha verimli ve uyumlu yapılar oluşturulmasını sağlar.

Sonuç olarak, biyomalzeme çalışmaları, mimarlık alanında sũrdũrũlebilirlik ve evre dostu uygulamaların geliştirilmesine yönelik önemli bir adımdır. Biyomalzemelerin kullanımıyla, çeşitli yapı elemanları ve ũrũnlerin daha evre dostu, enerji verimli ve estetik açıdan çekici bir şekilde tasarlanması mũmkũn olmaktadır. Bu çalışmaların ilerlemesi için farklı disiplinler arasında işbirliği ve bilgi paylaşımı bũyũk önem taşımaktadır. YK tez veri tabanında yapılan incelemelerde; sũrdũrũlebilirlik, biyomalzeme, biyokompozit kavramları geçen tez çalışmaları incelenmiştir. 2019 yılında sũrdũrũlebilirlik ile ilgili en çok tezin yazıldığı grũlmektedir. Bunun sebebi 2015'te yayınlanan Sũrdũrũlebilir Kalkınma Hedefleri 2030 olduğu dũřũnũlmektedir.

Biyomalzeme ile ilgili yapılan ilk tez 1998 yılında yazılmıştır. Tezlerin yıllara göre dağılımı aşağıdaki izelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. 1998-2022 yılları arasındaki biyomalzeme kavramı ũzerindeki tezlerin yıllara göre dağılımı



Biyomalzeme kavramı üzerine çalışılan tezlerde fiziksel boyutlar ne çıkılmaktadır. Fiziksel boyut kendi içinde malzemeler, alaşımlar, uygulamalar- yöntemler olarak alt başlıklara ayrılmıştır. Kullanılan malzemeler çeşitlilik göstermektedir. En çok hücre, biyoseramik gibi konularda yapılan çalışmalar ne çıkılmaktadır. Alaşımlı biyomalzemeler üzerinde yapılan çalışmalar mevcuttur. Biyomalzeme konularında yazılan tezler kimya, biyomühendislik, biyokimya, metalurji mühendisliği, ortopedi bölümlerine aittir. Bu tezler içinde 2019 yılında yapılan yalnızca 1 tezin mimarlık anabilim dalına ait olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde yapılan incelemelerde biomalzeme alanında yapılan çalışmalar oldukça eski yıllara dayansa da mimarlık alanı özelinde biomalzeme konusundaki çalışmaların son yıllarda yapıldığı ve oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Eksik kalan konuları belirlemek ve daha derinlemesine bir anlayış elde etmek için yapılan literatür taraması sonrasında, tez çalışmasının amacı ve yöntemi belirlenmiştir.

Endüstri devrimi sonucunda çevresel problemler artmış ve devamında Bruntland Raporu ile sürdürülebilirlik kavramını ortaya ıkımtır. Sürdürülebilirliği sağlamak için yeni teknolojiler ve farklı çözümler geliştirilmiştir. Etrafımızı incelediğimizde doğaya, yapılara, insanlara karşı verdiğimiz olumsuzlukların ne kadarının farkındayız? Günümüzde artan nüfus, kaynakların bilinçsiz kullanımı, artan tüketim nedeniyle döngüsel bir sisteme geçiş bulunmaktadır. Yapı sektörü açısından baktığımızda yapı sektörünün en çok atık üreten alanlardan biri olduğu görülmektedir. Sürdürülebilir, doğaya zarar vermeyen, daha az enerji tüketen ve az atık oluşturan, karbon emisyonunu azaltan malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez kapsamında yapılan literatür taraması sırasında sürdürülebilirlik kavramı üzerinde birçok çalışma olduğu grlmştir. Yapılan araştırmalarda yapı malzemelerinin çevreye verdiği zararlar, malzemelerin sürdürülebilir olması gibi konular üzerinde vurgu yapıldığı ve malzeme üzerindeki çalışmaların geliştirilebileceği tespit edilmiştir. Bununla birlikte 21.yy. ile birlikte gelişen yeni malzeme ve teknolojilerinden biri de biyomalzeme kavramıdır. Ülkemizde bu alanda yapılan çalışmaların daha çok sağlık, kimya, biyoloji, mühendislik gibi farklı disiplinlerde

çalışılırken mimarlık alanında yapılan çalışmaların az olduğu, bu konu üzerinde çalışmaların geliştirilebileceği görülmüştür. Bu yüzden mimarlıkta biyomalzeme kullanımının sürdürülebilirlik üzerine değerlendirilmesine yönelik çalışma yapılacaktır. Bu tez çalışması ile, biyomalzeme çalışmalarına sürdürülebilirlik bağlamında yapılacak laboratuvar çalışmaları ve tasarımlar için kapsamlı bir kaynak oluşturmaya çalışılmıştır. Biyomalzemenin yapı malzemesi olarak ele aldığı bu tez kapsamında aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır.

- Mimarlık alanında biyomalzeme kullanımı nasıldır?
- Biyomalzemeler neden diğer malzemelere göre daha sürdürülebilirdir?
- Biyomalzemelerin yapı ve mimarlık dünyasına katkıları neler olabilir?

Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Literatür taraması sonucunda incelenen çalışmalarda sürdürülebilir yapı malzemesi konusunda yeni çalışmaların yapılmaya başlandığı görülmüştür. Bu başlıklardan biri de biyomalzemelerdir. Biyomalzemeler içerisinde canlı organizmalar içeren malzemelerdir. Yapılan araştırmalarda biyomalzeme konusu üzerine daha çok yurtdışında deneysel ve uygulama üzerinde çalışmaların yürütüldüğü tespit edilmiştir. Ancak Türkiye için mimarlıkta biyomalzeme konusundaki araştırmalar ve gelişmeler henüz çok yenidir. Bundan dolayı tez kapsamında mimarlık ve biyoloji arakesitinde seçilen biyomalzemeler konusu ile aşağıdaki maddeler amaçlanmaktadır:

- Mimarlık alanında yazınsal çalışmaların az bulunduğu biyomalzemelerin tanımlaması, sınıflandırılması, geçmişten günümüze kullanımının örneklerle incelenmesi,
- Mimarlıkta biyomalzeme ve sürdürülebilirlik bilincinin oluşması,
- Biyomalzemelerin yapılarda kullanılması kapsamında sürdürülebilirlik kriterlerinin uygulanabilirliğini ortaya koymak,

- Yapılarda biyomalzeme kullanımını, sürdürülebilirlik ve mimarlık başlıkları altında irdelenip gelecek nesillere yönelik sürdürülebilir yapı malzemesi ve yapı tasarımları konusunda altlıklar oluşturması,
- Mimaride sürdürülebilirlik sorunları için biyomalzemeler ile yeni öneriler geliştirmek
- Mimarlık eğitiminde sürdürülebilirlik literatürüne katkıda bulunulması amaçlanmaktadır.

Yapılan tez çalışmanızın odaklandığı konu, mimarlık alanında biyomalzeme kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemi ve katkılarıdır. Çalışmanın amacı, bu konuda farkındalık yaratmak ve literatüre katkıda bulunmaktır. Hem yazınsal araştırma hem de uygulama açısından konuyu ele alarak, biyomalzemenin mimarlık alanında nasıl kullanıldığına ve sürdürülebilirliğe nasıl katkı sağladığına odaklanılmıştır.

Çalışma kapsamında mevcut literatürdeki bilgiler sentezlenerek bir araya getirilmiş ve eksik kalan noktalar belirlenmiştir. Biyomalzemenin mimarlık projelerinde nasıl kullanıldığı, çeşitli örnekler ve uygulamalarla desteklenerek açıklanmıştır. Bunun yanı sıra, biyomalzeme kullanımının sürdürülebilirlik açısından nasıl bir katkı sağladığı da ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Çalışmanın literatüre ve gelecekteki çalışmalara ışık tutmayı hedeflemesi, konunun önemini vurgulamaktadır. Bu çalışma, biyomalzeme kullanımının mimarlık alanında sürdürülebilirlik hedefleriyle nasıl uyumlu olduğunu göstererek, mimarlık alanındaki profesyonelleri ve araştırmacıları bu alanda daha fazla çalışmaya teşvik edecektir. Aynı zamanda, mimarlık öğrencilerine ve diğer profesyonellere konuyla ilgili bilinçlendirme sağlayarak, biyomalzemenin kullanımının çevresel etkileri azaltmaya nasıl yardımcı olabileceğini anlatılmaktadır.

Sonuç olarak, biyomalzeme kullanımı ve sürdürülebilirliğin mimarlık alanında ele alındığı bu çalışma, literatüre ve gelecekteki çalışmalara ışık tutmayı hedeflemektedir. Bilinçlendirme ve uygulama odaklı bir yaklaşım benimseyerek, biyomalzemenin

mimarlık alanında nasıl kullanılabileceğini ve sürdürülebilirlik hedeflerine nasıl katkı sağladığını vurgulamayı amaçlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında tarihsel süreç boyunca yapı malzemelerin Endüstri devrimi ile birlikte artan malzeme arayışlarına sürdürülebilir bir alternatif oluşturan biyomalzemeler incelenmiştir. İnceleme bağlamında belirlenen kriterler olan malzeme sınıfı, kullanım alanı, mimari eleman üretim potansiyelleri ve sürdürülebilirlik doğrultusunda ele alınan örnek projeleri kapsamaktadır. Çalışmanın kapsamı “sürdürülebilirlik” ve “biyomalzeme” ile sınırlandırılmaktadır. Çalışma ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik ilkelerinin biyomalzemeler bağlamında ilişkisini ele alarak, mimarlık alanındaki uygulamaların incelenmesini içermektedir. Sürdürülebilirliğin boyutları bağlamında biyomalzemelerin yapılarda kullanımı ve sonrasında uygulanabilecek olan sürdürülebilirlik adımları ile birlikte tüm bu konularla ilgili değerlendirmeler tez çalışmasının kapsamını oluşturmaktadır.

Çalışmanın Yöntemi

Biyomalzemeler hakkında dünyada ve ülkemizde yapılmış yazınsal çalışmalar incelenerek biyomalzemelerin yapılarda kullanımı, üretimi, yurt içinde ve yurt dışındaki örnekleri, sürdürülebilirlik kavramının tanımı tarihçesi ve boyutları, mimarlık ve biyoloji ilişkisi kapsamında tasarım, malzeme ve yapı biyolojisi açısından ele alınışı, biyomalzemelerin özellikleri, potansiyelleri, mimarlık alanında kullanımı ve sınıflandırılması yapılmıştır. Mimarlık alanında biyomalzeme çeşitleri üzerine yapılmış çalışmalar kullanım alanlarına göre yapı malzemesi, yapım sistemi, cephe sistemi ve endüstriyel tasarım olarak ayrılmaktadır. Kullanılan malzeme türüne göre ise biyomalzemeler kategorilere ayrılarak her başlık altında hem dünyada hem de Türkiye’de yapılmış örnekler incelenmiştir. Örneklem yapılarak mimarlık biyoloji ara kesitinde, belirlenen kriterler ve sürdürülebilir açılarından ele alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma ile biyomalzemelerin mimarlık alanındaki potansiyel uygulamalarını, sürdürülebilirlikle ilişkisini, avantajları ve dezavantajları değerlendirerek ve gelecekteki araştırmalara yol göstermektedir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. Tez çalışmasının yöntemi

Veri Toplama	Literatür taraması Tez (Yök Tez Merkezi), makale, dergi, seminer, kitap vb. kaynaklardan yararlanarak veriler toplanmıştır.
Veri Analizi ve Değerlendirme	Sürdürülebilir biyomalzeme kriterlerinin belirlenmesi Literatür taraması sonucunda biyomalzeme ve sürdürülebilirlik kriterleri incelenerek sürdürülebilir biyomalzeme kriterlerine ulaşılmıştır.
	Biyomalzeme çalışmalarının incelenmesi Ulusal ve uluslararası örnekler kullanım alanına göre yapı malzemesi, yapım sistemi, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarım olarak sınıflandırılmıştır.
	Belirlenen kriterler doğrultusunda biyomalzeme çalışmalarının değerlendirilmesi Biyomalzeme örnekleri biyomalzeme inceleme kriterleri açısından; mimarlık ve biyoloji arkesitinde Sürdürülebilir Kalkınmanın 17 hedefine göre; sürdürülebilir biyomalzeme kriterlerine göre değerlendirilmiştir.
Sonuç Öneri	İncelenen örneklerin karşılaştırılması ve öneriler Biyomalzemelerin sürdürülebilirlikle ilişkisi, biyomalzemelerin avantaj ve dezavantajları ve önerilere ulaşılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir yapı malzemeleri kavramlarının tanımı ve tarihsel gelişimi açıklanmıştır.

2.1. Sürdürülebilirlik Kavramının Tanımı

İngilizce’de “Sustainability” kelimesinden, Latince “tenere” kelimesinden türetilen sürdürülebilirlik kavramı, Türk Dil Derneği’nin Türkçe Sözlüğü’nde sürdürmek, “bir durumun, bir şeyin sürmesini, olmasını sağlamak” olarak, sürdürülmek ise “sürdürmek eyleminin yapılması” şeklinde tanımlanmaktadır (Kuhlman, 2010). Lélé (1991)’e göre sürdürülebilirlik birçok anlam ve fikri içermektedir. 1970’lerden günümüze sürdürülebilirlik kavramı ile ilgili bazı tanımlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.1. Sürdürülebilirlik (URL 1)

Sürdürülebilirlik, güncel ihtiyaçları gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama olanaklarına zarar vermeden karşılamak olarak açıklanabilir (McDonough, 1992). “Sürdürülebilirlik, bugünün gereksinimlerinin, gelecek nesillerin kendi gereksinimlerini giderme yetisini tehlikeye atmadan karşılama becerisidir.” (WCED, 1987). Sürdürülebilirlik kavramı inşa etme eylemini, zamana karşı yapının sağlamlığını, canlandırma ve kurtarma başlıklarını içermektedir (Kayıhan, 2006).

Sürdürülebilir tasarım arsa seçimi, projenin tasarımı, malzeme seçimi, malzemenin tedarik edilmesi ve uygulanması süreçlerini içeren ve mimar, mühendis, müşterinin bir arada çalışmasını gerektiren tasarım sürecidir (Yan ve Plainiotis 2006).

Sev (2009)' e göre sürdürülebilirlik kavramı yaşayan tüm canlıları ilgilendirmekte olduğu için yalnızca bir meslek dalı ile kısıtlı değildir. Büyüyen ve sanayileşme ile gelişen kentlerde sosyal, ekonomik ve toplumsal etkenleri göz önünde bulundurarak geliştirilen fikir şeklidir.

Sürdürülebilirlik kavramı sabit bir tanımdan daha çok, zaman içerisinde farklı tanımlara sahip olan farklı bakış açıları kullanılarak yorumlanan bir kavramdır. Bu bölümde sürdürülebilirlik kavramının farklı tanımları yapılarak mimarlık, felsefe, ekonomi, çevre ve daha birçok alanda tanımlamasının mümkün olduğu görülmektedir.

Günümüzde yaşanan pek çok sorun 1970'lerde sanayi devrimi ile ortaya çıkan problemlerden kaynaklanmaktadır. Sanayi devriminden önce buharlı makinelerin olmaması, nüfusun yaşanan savaşlar sebebiyle az olması ve tüketimin çok yapılmaması gibi nedenlerden dolayı ortaya çıkan sorunlar daha azdır (Şekil 2.2) (Tufan ve Özel, 2018).



Şekil 2.2. Atıkların çevreye verdiği zararlar (URL 2-5)

Ancak çeşitli sanayi alanlarının artması, kentlerde hızlı büyüme, nüfusta hızlı şekilde artış meydana gelmiş. Ve doğal kaynakların azalmaya başlaması, yenilenemeyen enerji ve malzemelerin kullanılması hem de üretilmesinden dolayı küresel ısınma, çevre kirliliği, su kirliliği gibi çevre ve insanların geleceğini tehdit eden sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu gelişmeler sonucunda ise Birleşmiş Milletler yerel, ulusal ve uluslararası araştırmalar ve konferanslar düzenlenmeye başlanmıştır (Çizelge 2.1) (Tufan ve Özel, 2018).

Çizelge 2.1. Sürdürülebilirlik kavramının tarihsel gelişimi (SKD, 2017 kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır)



Sürdürülebilirlik kavramının 1700'lü yıllarda ormanların yönetimi ile ilgili olarak ortaya çıktığına ilişkin bir düşünce bulunmaktadır. Bunun nedeni Alman maden işletmecisi hem de muhasebeci olan Hans Carl von Carlowitz'in 1713 yılında yazdığı "Yabani Ağaç Yetiştirme Kılavuzu" adlı kitaptır (Wiersum, 1995; SKD, 2017).

1950’lerde ve 60’larda nükleer enerjinin fosil yakıtların yerine geçebilmesi hakkında konuşmalar devam ederken, alternatif enerji kaynakları aranmaya başlanmıştır ve sıcak suyun, rüzgar enerjisinin ve diğer yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımının teknolojinin gelişmesi ile kullanılabileceği bulunmuştur. 1960’ların sonu 1970’lerin başında teknolojik gelişmelere karşı güven azalmış ve hem 1968 olayı hem de Hippi hareketi ile doğaya dönüş başlamıştır. 1970’de petrol krizinin etkisiyle de alternatif enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin araştırmaların yapılması başlamıştır (Baysan, 2003).

1970’lerde sanayi devriminin etkisiyle birlikte günümüzde yaşanan sorunlar ortaya çıkmıştır. Sanayileşmenin yarattığı çevre problemleri ilk kez uluslararası alanda 5-16 Haziran 1972’de Stockholm’de düzenlenen Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı’nda dile getirilmiştir. Konferansta; gelişmiş ülkelerdeki sanayileşmenin yarattığı çevre problemlerinin kalkınma üzerindeki etkileri, gelişmekte olan ülkelerde ise ortaya çıkan çevre sorunları ve sorunlara yönelik çözümler üretmek üzerinde durulmuştur. 5 Haziran Dünya Çevre Günü olarak kabul edilmiştir. Stockholm Konferansı sonrasında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) kurulmuştur (Paul, 2008).

1972 ‘de Büyümenin Limitleri (Limits to Growth) adlı bir rapor yayınlanmıştır. Artan nüfus ve doğal kaynakların hızlı şekilde tüketilmesi, gezegenin taşıma ve dönüştürme kapasitesinin çok üzerinde atık üretilmesinin sonucunda rapor çözüm olarak sıfır büyümeyi önermektedir (SKD, 2017).

1987’de Brundtland Raporu, Ortak Geleceğimiz başlığıyla yayınlanmıştır ve ilk defa sürdürülebilir kalkınma kavramından bahsedilmiştir. Brundtland Rapor’unda, sürdürülebilir kalkınma *“Gelecek kuşakların kendi gereksinimlerini karşılayabilme yetilerini tehlikeye atmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilme”* şeklinde tanımlanmaktadır. Kavram ve tanım uzun yıllar boyunca kabul edilmiştir. Sosyal eşitlik, ekonomik büyüme ve çevresel koruma olan bu üç boyutu kapsayan yaklaşım üzerine durmaktadır (Paul, 2008).

1990'lara gelindiğinde yedi kere en sıcak yıl rekoru kırılmıştır. Sıcaklıklar kutuplardaki buzulların erimesine ve denizlerin yükselmesine neden olurken atmosferdeki ozon tabakası da incelmıştır (Baysan, 2003).

3-14 Haziran 1992'de, Rio de Janeiro'da Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı düzenlenmiştir. Bu konferansta sürdürülebilirlik kavramı ön plana çıkmıştır. İklim değişikliği, biyoçeşitlilik, CO² emisyonlarını düşürme, çevre sorunlarının azalması ve ormanların korunması gibi konular üzerinde durulmuş ve Gündem 21 adlı belge yayınlanmıştır. Bu belge yaşam kalitesi, doğal kaynakların verimli kullanılması gibi başlıkları içermektedir. Konferansın sonunda Gündem 21 adlı belge, Orman Yönetimi İlkeleri Bildirgesi ve Birleşmiş Milletler Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi düzenlenmiştir (Tufan ve Özel, 2018; United Nations Conference on Environment & Development, 1992).

BM tarafından 1995 yılında Kahire'de düzenlenen Nüfus ve Kalkınma Konferansı'nda sürdürülebilir kalkınma kavramı ve nüfus kavramı üzerinde durulmuştur. 1996'da İstanbul'da Habitat II BM İnsan Yerleşimleri Konferansı düzenlenerek insan yerleşim alanlarına sürdürülebilir kalkınma entegre edilmeye çalışılmıştır (Şen, Kaya ve Alpaslan, 2018). 1997'de Kyoto'da Birleşmiş Milletler Küresel Isınma Konferansı Kyoto Protokolü düzenlenmiştir. Kyoto Protokolü'nde iklim değişimine neden olan sera gazlarının atmosferdeki miktarını azaltmak için ülkelerin kendi eylem planını hazırlaması gerektiği hakkında fikir birliğine varıldı. 2005 yılında yürürlüğe girmiştir (Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change, 1998). 2000 yılında ise Birleşmiş Milletler Binyıl Kalkınma Hedefleri adlı sekiz kalkınma hedefi açıklanmıştır (SKD, 2017).

26 Ağustos-4 Eylül 2002 tarihlerinde Güney Afrika Johannesburg'da Sürdürülebilir Gelişme Dünya Zirvesi (Rip+10) düzenlenmiştir. Son 10 yılın değerlendirmesi yapılarak çevre korunması, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, sağlık, yoksulluk gibi konularda konuşulmuştur. (Tufan ve Özel, 2018).



Şekil 2.3. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri (URL 6)

2015 yılına geldiğimizde Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri adı verilen, 2030 yılına kadar hayata geçirilmesi planlanan 17 hedef yayınlanmıştır ve sürdürülebilirlik insani gelişmenin boyutlarından sadece biri olarak değil, gelişmenin nasıl olması gerektiğini belirten en önemli nitelik olarak ortaya çıkmıştır. “Sürdürülebilir olmayan kalkınmanın zaten mümkün olamayacağı” fikri uluslararası ajandanın artık kaçınılmaz bir parçası haline gelmiştir (United Nations, 2015). Aşağıda Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden mimarlık alanı için önemli olan bazı maddeleri yer almaktadır (Şekil 2.3).

Hedef 9. Dayanıklı altyapıların inşası, kapsayıcı ve sürdürülebilir sanayileşmenin desteklenmesi ve yenilikçiliğin güçlendirilmesi

Hedef 11. Şehirlerin ve insan yerleşimlerinin kapsayıcı, güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir kılınması

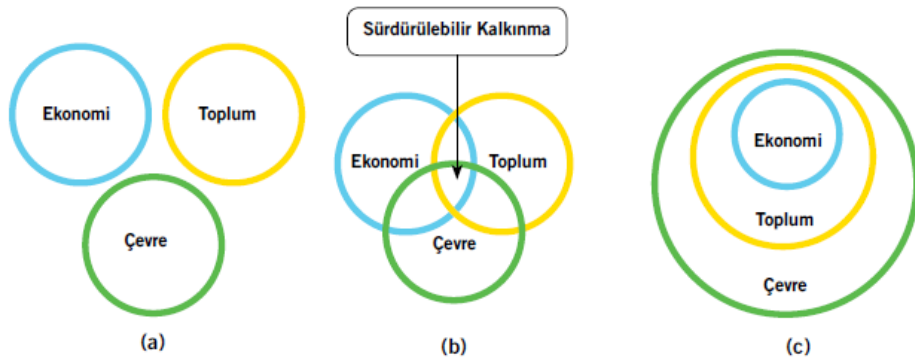
Hedef 13. İklim değişikliği ve etkileri ile mücadele konusunda acilen eyleme geçilmesi

Hedef 14. Sürdürülebilir kalkınma için okyanuslar, denizler ve deniz kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanılması

Hedef 15. Karasal ekosistemlerin sürdürülebilir kullanımının korunması, geliştirilmesi ve desteklenmesi, ormanların sürdürülebilir yönetimi, çölleşme ile mücadele, karasal bozulmanın durdurulması ve iyileştirilmesi ve biyoçeşitlilik kaybının engellenmesi (United Nations, 2015). Mimarlık açısından insan sağlığını, çevre korunumunu, dayanıklı yapılar inşa edilmesini içeren bu maddeler biyomalzemelerin gelecek vadettiğini göstermekte ve biyomalzemelerin mimarlık alanı için önemli olduğu görülebilmektedir.

Sürdürülebilirlik kavramının çevresel, sosyal ve ekonomik boyutları bulunmaktadır. Sürdürülebilirliğin üç boyutu bazen kısmen, bazen tamamen kesişse de üç boyutun kesiştiği alan sonuç olarak ulaşılmak istenilen konumdur (Sev, 2009).

Çevresel boyut, doğal kaynakların ve çevresel mirasın korunarak gelecek kuşaklara aktarılması ve değerini arttırmaktır. Çevresel sürdürülebilirlik, içinde yaşadığımız çevrenin korunumu, hammadde - doğal kaynakların korunumu, atıkların yönetimi, malzemelerin geri dönüştürülmesi gibi durumları kapsamaktadır. Çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için geri dönüştürülebilir malzemeler kullanmak, yenilenebilir kaynakları tercih etmek, atık miktarını azaltmak, çevrenin kirlenmesine neden olabilecek maddeleri kullanmamak ve atıkları yeniden kullanarak dönüştürmek gerekmektedir. Sosyal boyut; eğitim, güvenlik, sağlık ve toplumu ilgilendiren konulardan sınıf ve cinsiyet ayrımı gözetmeksizin eşit olarak yararlanabilmektir. Toplumsal sürdürülebilirliği sağlamak için, toplumundaki her bir bireyin yaşama kazandırılması, yaşam kalitesinin iyileştirilmesi ve sağlık eğitim gibi temel ihtiyaçların karşılanabilir olması gerekmektedir. Ekonomik boyut, nüfusun ihtiyaçlarına cevap verebilecek gelir ve iş olanaklarının sağlanması, korunmasını içeren boyuttur. Ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanması için kaynak ve enerjiyi üretimde verimli kullanmak, yeni pazar alanları geliştirme gerekmektedir (Tufan ve Özel,2018; Sev, 2009).



Şekil 2.4. Sürdürülebilirlik kavramının zaman içerisindeki değişimi (SKD, 2017)

Sürdürülebilirlik için ilk olarak Şekil 2.4-a'da görüldüğü gibi ekonomik, toplumsal ve çevresel boyutları ayrı ayrı ele alan bir yaklaşımın hakimdi. Brundtland Raporu ile birlikte, sürdürülebilir kalkınmanın ancak sosyal eşitliği, ekonomik büyümeyi ve çevresel korumayı aynı anda gözeten bir yaklaşımla mümkün olabileceği, yani bu üç boyutun Şekil 2.4-b'de gösterildiği gibi kesiştiği noktada bulunması gerektiği dile getiriliyordu. 2015 yılında yayınlanan Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nde, sürdürülebilirlik kavramını insani gelişmeyi kapsayan bir yere koyduğu ve Şekil 2.4-c'deki gibi ekonomi, toplum, çevre ancak iç içe geçtiği bir yaklaşım haline gelmiştir (SKH, 2017).

Sürdürülebilirlik kavramı ekonomik, toplum ve çevre kavramıyla ilişkisi bulunduğu gibi ekosistem, enerji ile de ilişkisi bulunmaktadır. Bu kavramlar arasındaki ilişki, mimarlık alanına sürdürülebilir mimarlık olarak yansımaktadır.

2.1.1. Sürdürülebilir yapı

Yapı sektörü büyüyen, enerji ve kaynakları tüketen, ozon tabakasına zarar veren, karbon emisyonunu arttıran, iklim değişimini etkileyen bir sektördür. Sürdürülebilir mimarlık, dünyada yaşanan problemlere karşı doğal sistemleri ve geleceği koruyarak insanlara ihtiyaç duydukları mekanları karşılamaktır (Sev, 2009). Sürdürülebilir mimarlığın amacı yapıların, canlıların ve insanların varlığını devam ettirebilmesini sağlamaktır.

Sürdürülebilir yapı, var olan malzemenin özelliklerinde değişme ve malzemeyi besleyen malzemedede azalma olmadan sürecin özelliklerini taşıyan bir sistem bütünüdür (Nicholson, 2004). Sev (2009)'a göre sürdürülebilir yapı kullanıcının sağlığını, konforunu sağlar ve yapılarda iç mekandaki hava kalitesi ve ışık verimli kullanılırken, yapılar yapım ve kullanım ve yıkım aşamasında az miktarda doğal kaynakları kullanır, çevreye zarar vermez ve kendisinden sonraki yapılarda kullanılacak malzemeler oluşturulmasına imkan sağlar (Sev, 2009). Yapı Kilbert'e (1994)'e göre kaynakları verimli kullanıyorsa, sağlıklı bir çevre sunuyorsa ve ekolojik ilkelere uygunsa sürdürülebilirdir.

Yapıların sürdürülebilirliği teknik, ekonomik, biyofiziksel ve sosyal sürdürülebilirlik olarak dörde ayrılmaktadır. Teknik sürdürülebilirlik güvenilir, sağlam ve işlevsel binaların inşa edilmesidir. Ekonomik sürdürülebilirlik inşaat alanında çevreye zarar vermeyen bilinçli tedarikçilerin seçilmesi, fiyatların satın alınabilir olması ve istihdam yaratılmasını sağlamaktır. Biyofiziksel sürdürülebilirlik, su, toprak gibi doğal kaynakların kullanımının, enerji ve malzeme tüketiminin azaltılıp yenilenemez-yenilenebilir kaynakların kullanımının azaltılmasıdır. Sosyal sürdürülebilirlik gelenek nesillere eşit bir gelecek sağlamak, yaşam kalitesini arttırmak, güvenilir alanlar sağlamakla ilişkilidir (Çillioğlu Karademir ve Dağ, 2021; Hill ve Bowen, 1997;).

Sürdürülebilir yapı ve yeşil yapı kavramları çoğu kez birbirinin yerine kullanılabilmektedir. Yeşil yapılar çevreye verilen zararı azaltan, enerji ve suyu verimli kullanan yapılar olarak tanımlanmaktadır (Yudelso, 2007). Aşağıdaki Çizelge 2.2' ye göre sürdürülebilir yapı kavramı yeşil yapı kavramından geniş bir alanı kapsamaktadır.

Çizelge 2.2. Yeşil yapı ve sürdürülebilir yapı (Berardi, 2013; UNEP, 2003)

	Yeşil Yapı	Sürdürülebilir Yapı
Su tüketimi	✓	✓
Malzeme tüketimi	✓	✓
Arazi kullanımı	✓	✓
Yenilenemeyen kaynakların tüketimi	✓	✓
Kentsel ve planlama	✓	✓
Site ekolojisi üzerindeki etkiler	✓	✓
Sera gazı emisyonu	✓	✓
Katı atık ve sıvı atıklar	✓	✓
İç mekan refahı: hava kalitesi, aydınlatma, akustik	✓	✓
Uzun ömür, esneklik		✓
İşletme ve bakım		✓
Sosyal konular (erişim, eğitim vb.)		✓
Ekonomik		✓
Kültürel değerlerin korunumu ve ilham		✓
Tesisin kullanımı ve yönetimi		✓

Sürdürülebilir yapıların ilkeleri:

1. Yapı sahiplerinin ihtiyaçlarını anlama, tasarım ve yapım aşamasına kadar işbirlikçi yaklaşım izlenmelidir.
2. Sürdürülebilirliğin uygulanmasını sağlayarak, teşvik edebilmelidir.
3. Altyapı sistemleri planlanmalı, geliştirilmelidir ve bir ağ sistemi oluşturulmalıdır.
4. Yapı ömrü boyunca kaynakları minimum düzeyde kullanmalı, atık ve emisyonu azaltmalı, çevreye zarar vermemelidir.
5. Yapı planlama, tasarım, üretim, kullanım ve yıkım aşamaları boyunca yaşam döngüsünü ele alarak tasarlanmalıdır.
6. Sürdürülebilir yapı yerel kültürle ve sosyal değerlerle ilişki kurmalı, kişilere aitlik duygusunu hissettirebilmelidir.
7. İşletme, bakım, kullanım, yıkım gibi aşamalarda yaşam döngüsü kapsamında ekonomik olabilmelidir.
8. İç hava kalitesini, termal ve akustik konforu, güveni, sağlık için yaşanılabilir bir alanı sağlayabilmeli ve herkese için erişilebilir olmalıdır.
9. Yapı hizmet ömrü boyunca farklı işlevlere uyum sağlayabilecek esneklikte olmalıdır.
10. Yapının kullanıcı dostu, basit ve uygun maliyetli olmalıdır, kullanıcılar yapının kullanım ve bakım kuralları arkasındaki felsefeyi anlayarak sürdürülebilir davranmaya yönlendirilmelidir (Berardi, 2013; CIB, 2010).

Sürdürülebilir yapı beşikten mezara yaklaşımı içinde kaynakları verimli kullanan, sosyal eşitlik, ekolojik ilkeler ve yaşam döngüsü, insan sağlığını göz önüne alarak, insanların ferahını sağlayan, kültürel değerlerin korunmasını gözetken yaklaşım tasarlanmış ve inşa edilmiş yapı şeklinde tanımlamak mümkündür.

Sürdürülebilir yapıların yararları; kullanıcıların konfor koşullarını sağlamakta ve çevreye zarar vermemektedir. Yapılar döngüsel yaklaşım ile tasarlandığı için atık oluşumu azaltmakta, kullanıcıların sağlığına zarar vermemekte, kişilerin güvende hissetmesini sağlamaktadır. Sürdürülebilir yapılar, sürdürülebilir tasarım yaklaşımı ile ele alınarak bulunduğu yere değer ve önem kazandırmaktadır. Sürdürülebilir yapıların üretimindeki maliyetleri yüksek olsa da bakım maliyetleri daha düşüktür (Sev, 2009).

2.1.2. Sürdürülebilirlik ölçümünde kullanılan sertifikalar

Yapıların ve ürünlerin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için farklı ülkelerdeki kamu, sivil toplum ve özel kuruluşlar standartlar geliştirerek, standartların seviyelerini belirlemek için puanlama sistemi tasarlamışlardır. Yapıların sürdürülebilirlik açısından değerlendirme yöntemleri yapı bileşen ve ürünlerine ilişkin standartlar, yapıyı bütün olarak ele alan standartlar olarak ikiye ayrılmaktadır (Çizelge 2.3). Yapı bileşen ve ürünlerine ilişkin standartlar başlığı altında Orman Yönetim Konseyi, Energy Star, Green Spec, ASHRAE Standartları ve Küresel Ekoetiketleme Ağı yer almaktadır (Sev, 2009). Yapıyı bütün olarak ele alan standartlar başlığı altında ise LEED, BREEAM, DGNB, R-2000, CASBEE, EDGE yer almaktadır (Kaymaz, 2017).

Çizelge 2.3. Yapıların sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi için standart ve değerlendirme yöntemleri (Kaymaz, 2017 kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır)

Yapı Bileşen ve Ürünlerine İlişkin Standartlar	Yapıyı Bütün Olarak Ele Alan Standartlar
Green Spec	LEED
Energy Star	BREEAM
Orman Yönetim Konseyi	R-2000
ASHRAE Standartları	DGNB
Küresel Ekoetiketleme Ağı	CASBEE
	EDGE

Yapıların çevresel faktörlerinin somut değerlendirmesi Yaşam Döngüsü Değerlendirme ve ölçütlere dayalı sertifika programları ile yapılmaktadır. Malzeme seçiminden yapının tasarım aşamasına kadar değerlendirmeleri içeren Yaşam Döngüsü Değerlendirme programları içinde ENVEST 2 (İngiltere), BEES (Amerika Birleşik Devletleri), TEAM (Fransa), ATHENA (Kanada) yer almaktadır. Ölçütlere dayalı sertifika programlarından bazıları LEED (Amerika Birleşik Devletleri), BREEAM (İngiltere), GREEN STAR (Avustralya)'dır (Utkutuğ, 2011). Çizelge 2.4'te bu standartlar kısaca açıklanmaktadır.

Çizelge 2.4. Yapıların ve ürünleri sürdürülebilirlik açısından değerlendiren standartlar (Sev, 2009 kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır)

Yapı Bileşen ve Ürünlerine İlişkin Standartlar		
GreenSpec	Building Green tarafından belirlenen ürünler CSIMasterFormata göre listede yer almaktadır.	Listede yer almak için çevresel etkiyi azaltmalı, su ve enerji tasarrufu sağlamalı, zehirli gaz emisyonunu düşürmeli, geri dönüştürülmüş ya da atık malzemelerden üretilmeli, üretiminde doğayı korumalıdır.
Energy Star	Enerji tüketimini azaltmak ve karbon emisyonunu düşürmek için Amerikan Çevre Koruma Ajansı tarafından oluşturulmuştur.	Geniş ürün etiketleme sistemine sahip olduğu için her bir ürün için enerji etkinliği kriterleri bulunmaktadır.
Orman Yönetim Konseyi	Ahşap ürün ve bileşenleri üretimindeki yöntemleri konsey sürdürülebilirliğin boyutlarına göre inceleyerek sertifikalandırmaktadır.	Sertifika almak için, ormanların sürdürülebilirliğini sağlamalı, ekosistemi korumalı, yazılı idari plana sahip olmalı, topluma avantaj sağlamalı, hasat için yasal hakları sağlamalıdır.
ASHREE Standartları	Yapılardaki ısıtma, havalandırma, soğutma elemanlarına yönelik Amerikan Isıtma Soğutma ve Havalandırma Derneği tarafından oluşturulan standartlardır.	9003-Aktif Güneş Isıtmalı Tasarım Rehberi, 55-1992-Kullanıcılar İçin Çevresel Isıtma Koşulları, 62-1989-Kabul Edilebilir İç Mekan Hava Kalitesi İçin Havalandırma gibi ASHREE standartları bulunmaktadır ve bu standartlar sürdürülebilirliği sağlayan maddeleri içermektedir.
Küresel Ekoetiketleme Ağı	Bir ürünün çevresel etkilerini benzer ürünlerle kıyaslamak için 1994 yılında farklı kuruluşlar tarafından oluşturulan standartlardır.	Ürünlerin ekolojik özelliklerinin geliştirilmesini amaçlamaktadır.
Yapıyı Bütün Olarak Ele Alan Standartlar		
LEED	Yapıların yaşam döngülerinin değerlendirilmesini sağlayan Amerikan Yeşil Binalar Konseyi tarafından geliştirilen ulusal ve uluslararası sertifikasyon sistemidir.	Yapıları sürdürülebilir arsalar, enerji ve atmosfer, su etkinliği, malzeme ve kaynaklar, yenilik, iç mekan kalitesi başlıkları altında sürdürülebilirliği değerlendirilmektedir.
Energy Star	Yapı ürünleri haricinde konut, hastane, otel gibi yapılar için enerji etkinliğini değerlendiren etiketleme sistemidir.	Konutlarda HERS adlı puanlama sistemi kullanılarak konutun enerji etkinliğini konutun model üzerinden karşılaştırarak değerlendirmekte ve etiket verilmektedir.
BREEAM	Yapıların çevresel özelliklerini geliştirmek için Yapı Araştırma Kurumu tarafından 1990 yılından beri kullanılan uluslararası değerlendirme standardıdır.	Yapıları enerji, su, bina idaresi, sağlık ve konfor, malzeme, arsa kullanımı, ulaşım, çevresel ekoloji, kirlilik başlık altında puanlayarak değerlendirmektedir.
R-2000	Konutların çevresel etki ve enerji kullanımı inceleyen Doğal Kaynaklar Kanada tarafından geliştirilen standartlardır.	Konutların temelde drenajı olmalı, yalıtım malzemeleri ve sıvaları geri dönüştürülebilir malzemeleri içermeli, enerji tüketimi yönetmeliklerine göre daha az olmalı, cihazlar enerji etkin olması ve soğutma sistemlerinin yüksek etkinlikli olması gerekmektedir.

2.2. Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri

TDK'ya göre malzeme, "Gereç" veya "Bir eserin hazırlanmasında yararlanılan bilgi ve kaynakların tamamı" olarak belirtmektedir. Duyularla algılanabilen, parçalanabilen, ağırlığı ve kütlesi olan nesnelere; uzay boşluğunu dolduran her türlü maddeye "Malzeme" denilmektedir. Duyularımızla algıladığımız şekil almış nesnelerin somut halinin yapılarda kullanımı "Yapı malzemesi" olarak adlandırılmaktadır (TDK, 2023).



Şekil 2.5.Yapı malzemeleri (Oxman, 2023)

Hasol bir şeyin yapılması için gereken, kullanılan maddeleri malzeme olarak tanımlamaktadır. Malzemelerin bileşimlerine göre inorganik (mineral) malzemeler (taş, cam, beton), metalik malzemeler (madenler), organik malzemeler (ahşap, plastik vb.) olarak ayrılmaktadır. Yapı gereci-malzemesi, yapı bileşenlerinin üretiminde kullanılan işlenmemiş veya az işlenmiş maddedir. Mimarlık tarihi boyunca taş, ahşap ve kilden oluşan temel malzemeler, madenlerin, çimento, beton, cam gibi malzemelerin eklemesi ile çeşitlenmiş 20.yy.'da eski ve yeni yapı malzemelerinin kullanımı ve yapım tekniklerinin gelişmesiyle yeni malzemeler üretiminin önünü açmıştır (Hasol, 2017).

Hammaddenin elde edilmesinden, işlenmesi, kullanımı, bakımı ve atık oluşumu aşamasına kadar çevreye ve insana zarar vermeyen hem kaynakları hem de enerjiyi en az düzeyde kullanan malzemeler sürdürülebilir yapı malzemeleridir (Sayar vd., 2009).

Bu malzemeler:

- Bulunduğu bölgenin yerel kaynaklarından ve üreticilerinden üretimi sağlanır.
- İnsan sağlığına zarar vermez çünkü içerisinde zararlı bileşenler bulunmamaktadır.
- Geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanımı mümkündür.
- Malzemeler işlevini tamamladıktan sonra çevreye zarar vermezler (Tufan ve Özel, 2018).

Her malzemenin kendine özgü özellikleri bulunmaktadır. Hegger, Drexler ve Zeumer (2007) malzemelerin temel özelliklerini üçe ayırmıştır. Birincisi algılanan özellikler, ikincisi beklenen özellikler, üçüncüsü teknik özelliklerdir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5. Malzemenin temel özellikleri (Çorbacı, 2015)

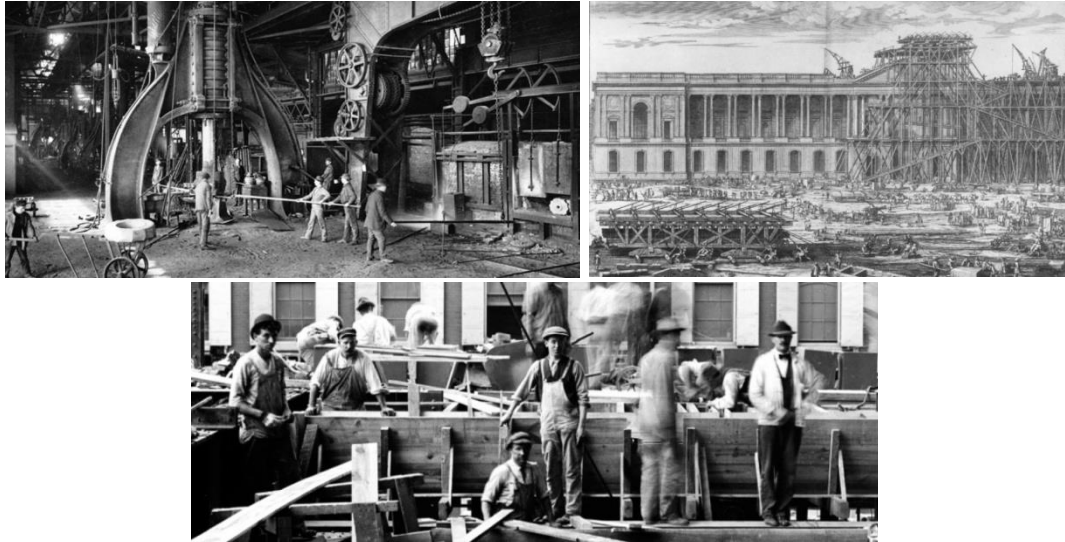
Malzemenin Temel Özellikleri		
<i>Algılanan Özellikler</i>	<i>Beklenen Özellikler</i>	<i>Teknik Özellikler</i>
Görsel	Kullanışlı	Kimyasal
Dokunsal	Ekolojik	İnşa
Termal	Ekonomik	Mekanik
Kokusal	Gereklilikler	
Akustik	Uygunluk	

Görsel, dokunsal, termal, akustik ve kokusal özellikler malzemenin algılanan özelliklerini oluşturmaktadır. Beklenen özellikler kendi içinde kullanışlı olma, ekolojik gereklilikler ve ekonomik gereklilikler olarak üçe ayrılmaktadır. Kullanışlı olma; uygun, toksik madde içermeyen, dayanıklı, kolay temizlenerek bakımının yapılabilmesi özellikleri içermektedir. Ekolojik gereklilikler çevreci, dayanıklı, malzeme döngüsüyle ilgili ve kolay temizlenerek bakımı kolay yapılabilir olmasıdır. Ekonomik gereklilikler işleme maliyeti düşük, yatırıma uygun- fiyatı uygun, yaşam maliyet döngüsü etkin olmasıdır. Teknik özellikleri ise kimyasal özellikler, inşa özellikleri ve mekanik özelliklerden oluşmaktadır (Çorbacı, 2015).

Malzemeler tüm bu özelliklerinin bir araya gelmesiyle mimarlık alanında mekanı yaratırken, yapının özünü ve dokusunu da oluşturur. Yapıyı taşıyan strüktür ile insan iskeleti arasında ilişki kurulduğunda, strüktürün sabit tuttuğu malzeme vücuda biçim veren cilde benzer. Yapım teknikleri ve malzemeler mimari tasarımda başlangıçtır; mekan, biçim, tasarım için seçenekler oluşturmaktadır (Farrelly, 2012).

Teknolojinin gelişmesi insanları yeni ve farklı malzeme arayışlarına yöneltmiştir. Baktır' a (2006) göre yeni olan zamanın geçmesiyle eski malzeme olmaktadır. Yeni ve farklı malzeme arayışları malzemenin gelişmesini, malzemelerin gelişimi de tasarlanan mekanların, mimarlık stillerinin değişimine neden olmuştur.

İnsanlar tarih boyunca varlıklarını, ihtiyaçlarına ve isteklerine cevap verecek mekanlar kurgulayarak tanımlamaya çalışmışlardır. Bu mekan yaratma çabası, malzemeyi şekillendirerek fiziksel karşılığını bulmaktadır. Tarihsel süreçte malzemenin yapıda kullanımı gelişmiş ve çeşitlenmiştir. Nedeni insanların yeni olanın arayışı içinde olmasıdır. Yeni olanın arayışının başlıca nedeni; insanların isteklerine veya ihtiyaçlarına cevap vermelerini sağlayan teknolojik gelişimdir ve Endüstri Devrimi ile başlamaktadır (Tufan ve Özel, 2018).



Şekil 2.6. Yapı malzemeleri (URL 7-8-9)

Endüstri Devrimi'yle dini yapıların baskınlığı azalmış, sergi, müze, tren garı gibi insanların kamusal kullanımlarına cevap veren yapıların ihtiyacı doğmuştur. Yapıda daha geniş açıklıkların geçilmesini, malzemelerin standart boyutlarda üretilmesini gündeme getirmiştir.

Sosyo-kültürel ve fiziksel etkilerin mimarlık üzerinde dönüştürücü etkisi bulunmaktadır. Fiziksel etkilerin başında yapı malzemeleri gelmektedir çünkü iklimsel özellikler, afetler gibi birçok veri bir araya geldiğinde mimarlık tarzlarını değiştirmekte aynı zamanda malzemenin kullanımını da etkilemektedir. Örneğin insanlar yakın çevrelerindeki buldukları malzemeler yerel yapı malzemelerini kullanmaları yerel yapım tekniklerini ve yerel mimariyi oluşturmuştur. Malzemeler de teknolojinin gelişmesi ile değişmiş dönüşmüş mimarlık alanında dönemsel değişimleri sağlamıştır (Çizelge 2.6) (Çakmak, 2021).

Çizelge 2.6. Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi (URL 10-12)

[illegible]

İnsanların ilk yapı malzemeleri, toprak, orman ürünleri, saz ve saman türü bitkiler ve dere yataklarındaki toplama taşlar olan yakın çevrelerindeki yerel malzemelerdir.



Şekil 2.7. Çatalhöyük (M.Ö. 7400) - Colosseum (yakl. 70-80) (URL 10, URL 13)

İlk çağın yapı malzemesi, güneşte ya da ilkel fırınlarda pişirilerek şekillendirilmiş kilden meydana gelen pişmiş topraktır (Şekil 2.7 Çatalhöyük M.Ö. 7400). Tuğla sert iklime sahip bölgelerde soğuğa ve rutubete karşı dayanımı yüksek olması, güneşten gelen ısıyı depolayıp güneş battıktan sonra ısı vermeye devam etmesi gibi özelliklerinden dolayı tercih edilen malzeme olmuştur. M.Ö. 3100 Stonehenge’de taş yapıların inşası sırasında ahşap yapılar ortaya çıkmıştır, buluntular günümüze kadar gelen en eski ahşap yapılardan biridir. Yaklaşık M.Ö. 2560’larda Mısır, eski Yunan ve Roma’da taş kullanılmıştır. İnsanlar mağaralarda yaşarken taşı yapı malzemesi olarak değil avcılık ve hayvanlardan korunmak için kullanmışlardır. Fakat göçebe bir yaşam şekline geçmesiyle barınma ihtiyacını karşılamak için taşı yapı malzemesi olarak kullanmışlardır. Taş ve tuğla çıkarıldığı bölgeye aittir bu yüzden coğrafya ve kültür ile yakın ilişkisi bulunmaktadır. Çünkü neolitik çağda insanlar yapıları yaparken yakınlarında küçük ocaklar bulunmuştur (Çakmak, 2021; Farrelly, 2012).

Ateşin keşfi malzeme ve tarih açısından önemli bir dönüm noktasıdır. Çünkü ısı ile demir işlenmiş, kil tuğlaya dönüşmüş birçok malzemenin bulunmasını etkilemiştir. Mezopotamya’da M.Ö. 27. yüzyılda demir ısıtılıp dövülerek şekillendirilmiştir. Yunan ve Roma döneminde demir ankraj ve bağlama elemanı olarak kullanılmıştır. M.S. 70-80 İtalya’daki anfityatro oyunları ve gladyatör dövüşleri için inşa edilen Colosseum dışı traverten taşından, iç mekanlar ise daha sonradan tuğladan yapılmıştır (Farrelly, 2012; Akman, 2003).



Şekil 2.8. Pantheon (M.S. 125) – Stonehenge (M.Ö. 3100) (URL 14, URL 11)

Romalılar kireç içerisine Pozzuoli toprağını ekleyerek bağlayıcı malzeme üretmişlerdir. Ürettikleri bu bağlayıcı malzeme içerisine kum ve çakıl eklemiş daha sonra taş, tuğla kırığı, kireç harcı ya da puzzolana'yı karıştırarak Roma betonunu üretmişlerdir (Çakmak, 2021). Roma betonunun kullanımına örnek Pantheon'dur (Şekil 2.8). Pantheon kubbesi taş duvarlar üzerine oturan kademeli beton halkalardan oluşmaktadır. Bu yapı Roma'daki beton yapılar içindeki en eski örneklerinden biridir (Farrelly, 2012). Suya dayanıklı, dayanımı yüksek olan Bizans, Selçuklu, Osmanlı gibi dönemlere ait yapıların restorasyonunda kullanılan Horasan Harcı Miladi 0'a yakın bir zaman diliminde tuğla tozu ve kirecin karıştırılması ile üretilen bağlayıcı bir malzemedir (Çakmak, 2021). Malzeme alanında ilk deneysel çalışma Robert Hooke tarafından 1635-1703'de yapılmıştır. 1678 yılında Elastiklik modülü kanununu yayınlamıştır (Çorbacı, 2015).

- 18. yüzyılda 1. Endüstri Devrimi buharlı makinenin icadı ve üretimin mekanikleşmesi ile başlamıştır bu sayede yapı malzemeleri üzerine yapılan çalışmalar teknolojinin gelişmesi ile artmıştır. Bu dönemde çimento, beton, çelik gibi malzemeler üzerine yapılan çalışmalar başlamıştır.

1781-1840 yıllarında Denies Poisson, Poisson katsayısını boydaki uzama ile endeki daralma olarak açıklamıştır. James Somatan 1756 yılında kalker üzerinde suda erimeyen harç yapmak için çalışmalar yaparak çimento üzerindeki ilk çalışmaları başlatmıştır. İngiltere'de 1774 yılında James Somatan sertleşebilen kalker çeşidini bularak Roman Cemant olarak adlandırdı. 1824'de Joaeph Aspdin killi ve kalkerli malzemeyi karıştırıp fırında pişirerek ilk defa çimentoyu buldu. Malzeme Portland Çimentosu olarak adlandırıldı ve 1825'de ilk fabrika kuruldu (Çorbacı, 2015).



Şekil 2.9. Kristal Palace (1851) –L’Institut du Monde Arabe (1987) (URL 15, URL 16)

1851 yılında Kristal Palas Joseph Paxton tarafından çelik çerçeve ve cam paneller kullanılarak Hyde Park'ta Büyük Sergi için inşa edilen dünyanın ilk prefabrik cam yapısıdır (Şekil 2.9). Kum, soda ve kirecin ısı ile reaksiyonu sonucu üretilen cam ilk kez İ.Ö. 3000'lerde Ortadoğu'da kullanılmıştır. M.Ö. 25. yüzyılda pencere olarak kullanılan camın üretim teknikleri gelişmesiyle 15. yüzyılda Venedik'te ilk düz cam kullanılmış ve vitraylı camlar üretilmiştir. Demir ve çelik kullanımı yapılarda geniş açıklık geçmeyi sağladığı için cam cephelerde kullanılmaya başlanmıştır. 1868 yılında Monier beton ve çeliği ilk defa bir arada kullanarak betonarmeyi buldu ve patent aldı. Frederic Ransome döner fırınları geliştirmesiyle çimento kullanımı yaygınlaştı. 1880'de Wasay firması Berlin'de betonarmeyi binalarda uygulamaya başlamıştır. 1880-1890 yıllarında çelik üretim yöntemleri ve kaynağın gelişmesi malzeme üzerine yansımıştır. Demire alternatif basınç dayanımı yüksek olan font, Abraham Darby tarafından 1778 tamamladığı düşünülen Coalbrookdale Köprüsü'nde kullanmıştır. Henry Cort 1780'de pudding ve yüksek fırın metotları ile çelik üretimi yapmıştır (Çakmak, 2021; Çorbacı, 2015; Farrelly, 2012). 1960-70 yıllarında süper akışkanlaştırıcı adı verilen betonun işlenmesini kolaylaştıran katkı malzemeleri bulunmuştur (Akman, 2003).

- 19. yüzyılın sonlarında elektrikli motorun kullanımı ve seri üretimin başlaması ile 2. Endüstri Devrimi başlamıştır.

Doğal kaynaklarının tüketimi, nüfus artışı, yaşanan çevre sorunlarının artması, sıcaklıkların yükselmesi beraberinde sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkmasına neden olmuş bu kavram önem kazanarak yapı alanında sürdürülebilir inşaat kavramının meydana getirmiştir. Bu kavram ilk kez 1993 yılında uluslararası bina konseyi ve

katılımcıları tarafından kullanılmıştır. İnşaat sektörü sürdürülebilirlik için önemli bir noktada bulunmaktadır. Çünkü insanların barındıkları, kullandıkları her bir yapı için üretiminden, malzeme seçimine kadar doğal kaynaklar bilinçli şekilde seçilmesi, enerjinin verimli kullanımı sürdürülebilir kalkınma için önemli katkı sağlamaktadır (Tufan ve Özel, 2018; Müftüoğlu, 2017; Sırkıntı, 2012).

İnşaat sektörünün çevre üzerindeki etkisini enerji tüketimi ve sera gazı emisyonu üzerinden izlemek mümkündür. İklim değişikliğinde etkisi yüksek olan malzemelerden bazıları beton ve çeliktir. Bu malzemeler üretimi ve kullanımı aşamasında su tüketimi, enerji kullanımı yüksek olmasından dolayı çevresel problemleri oluşturmaktadır (Civan, 2006). Bu malzemelerin üretimi ve sonrasında atıklar oluşmakta bu atıklar doğayı, suyu kirletmekte, ekosistemin ve canlıların yaşam döngüsünü bozmaktadır. Malzemeler çıktığı bölgelerde toz ve gürültüye neden olmaktadır (Du Plessis, 2001). Bunlardan dolayı mimarlık alanında sürdürülebilir yapı malzemeleri üzerinde çalışmalar başlamıştır. Bu malzemeler inşaatta kullanılan malzeme israfını, atık miktarını azaltmakta, inşaat maliyetini düşürerek yapıların daha ekonomik olmasını sağlamaktadır. İnşaatte elde edilen atık malzemelerin geri dönüştürülerek kullanımı doğal kaynakların tüketimini, malzeme kullanımını, atık miktarının ve enerji tüketiminin azalmasını etkilemek, suyun ve enerjinin verimli kullanımı yapılarda ve yapı malzemelerinin üretiminde tasarrufu sağlamaktadır. Sürdürülebilirliğin sosyal, çevresel ve ekonomik boyutları malzeme açısından ele alınmaktadır (Tufan ve Özel, 2018; Du Plessis, 2001; Civan, 2006). Sürdürülebilirlik ölçütleri aşağıdaki Çizelge 2.7' de yer almaktadır.

Çizelge 2.7. Sürdürülebilirlik ölçütleri (Tufan ve Özel, 2018)

Sürdürülebilirlik Ölçütleri	
Çevresel Boyut	Atıklarda azalma meydana gelmiş mi?
	Hava kirliliği engelleniyor mu?
	Üretilen malzeme doğa için zehirli mi?
	CO ² emisyonunu düşürüyor mu?
	Doğada var olan biyolojik çeşitliliği koruyor mu?
	Malzemenin toprağa zararlı etkisi var mı?
	Malzeme çevredeki kokuların emilimini sağlıyor mu?
	Malzeme geri dönüştürülebilir özellikte mi?
	Yeniden kullanılabilir mi?
	Görsel açıdan çevre kirliliğini engelleyebiliyor mu?
	Gürültü kirliliğini engelleyebiliyor mu?
	Enerji tüketimi az mı?
	Doğal ve yerel kaynaklardan elde edilebilir mi?
	Su kirliliğini engelleyebiliyor mu?
Ekonomik Boyut	Hammaddenin depolanan yere taşınması sırasında harcanan enerji miktarı az mı?
	Nakliye maliyetini düşürebiliyor mu?
	Dayanıklı ve uzun ömürlü malzeme mi?
	Bakım ve onarımı kolay mı?
	Mal ve hizmet sunumunda malzeme kullanımını azaltıyor mu?
Sosyal Boyut	Bölgenin sosyal dokusuna uygun mu?
	Sağlıklı bir çevre sunabiliyor mu?
	Güvenli bir malzeme mi?
	Yerel iş gücünün desteklenmesine katkı sağlıyor mu?
	Ev, iş, eğitim, kültürel ve sosyal etkinliklerin dengesini sağlayabiliyor mu?

Yapılar üretiminde hammadde, su, enerjiyi kullanılırken bir yandan da atık oluşturmaktadırlar. Yapıların oluşturdukları atıkların %10-20'si yapı malzemelerinden kaynaklanmaktadır. Yapı malzemelerinin yaşam döngüleri boyunca çevreye zarar vermeden, kişilerin sağlığına ve konfor koşullarına olumsuz etki oluşturmaması yani sürdürülebilir olması bu yüzden önemlidir. Yapılarda malzeme seçerken, sürdürülebilirlik koşullarına uygun olup olmadığı incelenmelidir. Sürdürülebilir yapı malzemesi, hammaddeleri verimli kullanan, doğaya zarar vermeyen, geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilen, üretimi sırasında enerji ve suyu etkin kullanan ve insan sağlığında olumsuz etkiler oluşturmeyen malzemelerdir (Sev, 2009).

Sev (2009) yapı malzemelerinin hangi seviyede sürdürülebilir olduğunu değerlendirmek için sürdürülebilirlik kriterlerini kaynak etkinliği, iç mekan kalitesine etki, karşılanabilirlik ve estetik olarak üçe ayırdığı kriterler Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Sürdürülebilirlik kriterleri (Sev, 2009)

Sürdürülebilirlik Kriterleri	
Kaynak Etkinliği	Malzeme doğal haliyle ve az işlenerek kullanılabilir mi?
	Malzeme geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılır mı?
	Yerel kaynaklardan elde edilebilir mi?
	Dayanıklı ve kolay üretilebilir olduğu için kaynakları verimli kullanıyor mu?
	Malzemenin paketlenmesinde kullanılan malzemeler geri dönüştürülebilir mi?
	Malzeme su tasarrufu sağlıyor mu?
	Ön üretim, modüler tasarıma uygun mu?
İç Mekan Hava Kalitesine Etki	İnsan sağlığına zararlı mı?
	Uçucu organik bileşen ileriyor mu ve zehirli gaz emisyonuna neden oluyor mu?
	Malzeme neme dayanıklı mı?
Karşılanabilirlik ve Estetik	Malzeme üretim, yapım ve yıkım süreçlerinde ekonomik mi?
	Geleneksel bir yapı malzemesi ile karşılaştırıldığında ekonomik açıdan karşılanabilir malzeme mi?
	Kullanıcıların estetik açıdan memnun ediyor mu?

Sürdürülebilir malzeme üzerinde yapılan çalışmalar bilim ve teknolojinin gelişimi ile çeşitlenmiştir. Yapı malzemesi teknolojilerinin gelişmesiyle; koşullara uyum sağlayan ve özelliklerini, enerjilerini değiştirerek cevap veren akıllı malzemeler 19. yüzyılın başlarında kullanılmaya başlamıştır. Jean Nouvel tarafından yapıda ilk kez kendini çevresel koşullara uyarlayan bir yapı kabuğu çelik ve camdan tasarlanmıştır (Farrelly, 2012). Malzemelerin atomlarına ve nötronlarına ayrılmasıyla ve kimyasal özelliklerinin değiştirilmesiyle ortaya çıkan nanoteknolojik malzemeler mimarlık alanında 1990'ların başında yapılan Deldi araştırması ile geliştirilmeye başlanmıştır. Ball State Üniversitesi'nde George Elvin nanomalzemeleri araştırması üzerine Yeşil Binalar için Nanoteknoloji adlı raporu yayınlamıştır (Perker, 2010). Bu sayede küçük, hafif, istenilen özelliklerde malzemeler üretilmeye başlanmıştır.



Şekil 2.10. Guggenheim Müzesi-Eden Projesi-Serpentine Sackler Gallery (URL 18, URL 19, URL 20)

Gelişen malzemelerden biri titantumdur. Guggenheim Müzesi Frank Gehry tarafından 1997'de tasarlanmıştır, yapıda malzeme olarak titanyum kullanılmıştır (Şekil 2.10). 2001 yılında Eden Projesi, Grimshaw Architects tarafından yapılan projede altıgen ETFE paneller ve çelik çerçeve kullanılmıştır. ETFE bir tür plastiktir (Farrelly,2012). 2013 yılında tamamlanan Serpentine Sackler Gallery'de, Zaha Hadid Architects tarafından malzeme olarak Corian kullanılmıştır. Corian 1965'te Dupont firması tarafından keşfedilmiştir ve Türkiye'de 2010 yılında üretilmeye başlanmıştır. Malzeme katı haldeyken ısıtılıp şekil verilebilen sıvı halde kalıplara dökülebilen ultraviyole ışınlarına karşı dayanımlı, küf ve bakteri oluşturmeyen, kolay işlenen, ek yerleri belli olmayan, çevre dostu malzeme katkısız akrilik polimer ve kimyasal yöntemlerle oluşturulan inorganik doğal maddelerin birleşimiyle üretilen yeni bir malzemedir (Beke, 2017).

21. yy'da çevresel sorunlar önemini korumakta, kullanılabilir enerji kaynaklarının sınırlı olması bina tasarımlarında önceliklerin değişmesine neden olmaktadır. Kentlerdeki nüfusun artması, kentleşme ve sanayileşme, tüketimin artması atık miktarını arttırmaktadır. Atık miktarını artması doğanın kaldırabileceğinden daha fazla kaynak kullanımı nedeniyle çevre sorunlarını arttırmaktadır (Palabıyık ve Altuntaş, 2004). 1983 tarih 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda atık; herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan veya bırakılan her türlü madde olarak tanımlanmaktadır (Çevre Kanunu, 1983). TÜİK (2018) verilerine göre Türkiye'deki belediyelerde toplanan atık miktarı 2018 yılında 32,2 milyon tondur. Dünyada her yıl ortaya çıkan atık miktarı ise 2.12 milyar tondur ve 2100 yılına kadar artan nüfus, insan sağlığı ve çevre için ciddi bir tehdit oluşturan bugünkünden üç kat daha fazla atık üretilecektir (Theworldcounts, 2021).

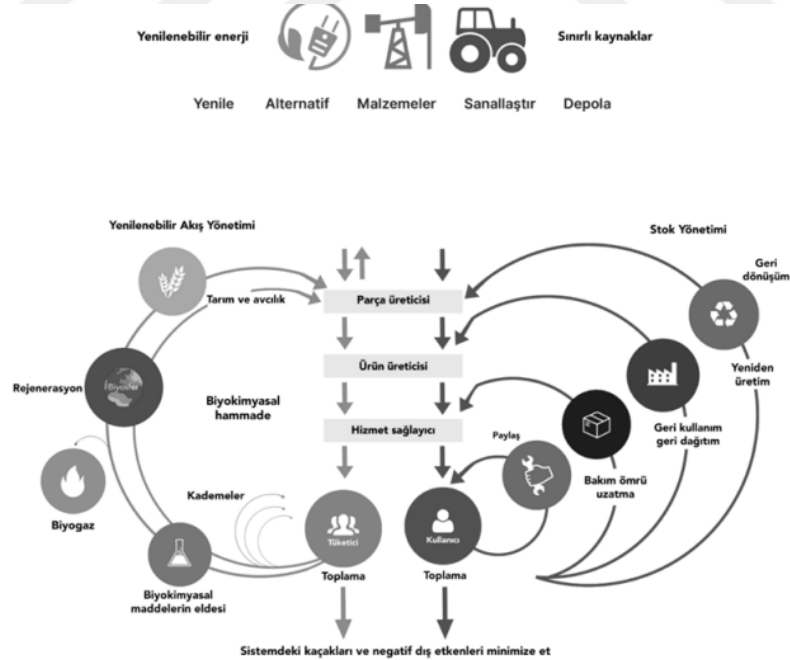
Atık üretiminde inşaat sektöründe oluşan yapısal atıklar önemli bir bölümü kaplamaktadır. Ahşap malzeme atıkları ağaçların kesilmesine neden olmakta, doğal kaynaklarımızı tüketmekte, yakılmasından dolayı hava kirliliğine sebep olmaktadır. Metal malzemelerin tüketimi sanayileşme ile artmış ve ağır metal kirliliğine neden olmuştur. Ağır metal grubunda kurşun, demir, krom, bakır, nikel, çinko ve cıva gibi metaller bulunmaktadır. Ağır metallerin asit yağmurları gibi nedenlerle çözmesi ile ırmak, göl ve yeraltı sularına karışarak çevreyi kirletmektedir (Kahvecioğlu, Kartal, Güven ve Timur, 2003). 192 ülke tarafından doğaya atılan atıkların % 11'ini plastiklerden meydana gelmektedir (Jambeck vd., 2015). WWF (World Wildlife Fund- Dünya Doğayı Koruma Vakfı) tarafından hazırlanan plastik atıklar hakkındaki raporda Akdeniz'deki atıkların %95'i plastik atıklardır (WWF, 2018). Bu atıkların yanması hava kirliliğine sebep olurken, solunum yolu rahatsızlıklarına yol açmakta, çevreyi kirletmekte ve doğadaki canlılar tarafından tüketilmesi ise onların ölümüne neden olabilmekte bundan dolayı ekosistemin dengesini bozmaktadır (Kayan ve Küçük, 2020). Atıkların doğada yok olma süreleri binlerce yılı bulabilmektedir. Bu tür atıkların verdiği zarar dünyanın ekolojik dengesinde tahribata sebep olmaktadır (Çevre Mühendisliği Portalı, 2021).

Atık azaltmayı veya önlemeyi teşvik etmenin bir yolu olarak, azaltın, yeniden kullanın ve geri dönüştürün olan 3'R kuralı oluşturulmuştur (Moreira, 2020).

- 21. yüzyılda yapı malzemelerin oluşturduğu atıklara karşı mimarlık alanında kullanılan yapı malzemelerine alternatif olabilecek, sürdürülebilir yapı malzemesi başlığı altında yer alan biyolojik süreçlerin yapı malzemelerine dahil olduğu biyomalzemeler üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Ataç, 2019).

2.2.1. Yapı malzemelerinin yaşam döngüsünün değerlendirilmesi

Yapıların ve yapı malzemelerinin çevresel etkilerini sistemli bir şekilde ele alabilmek için yapının ya da ürünün üretiminden yıkımı aşamasına kadarki tüm adımları içeren yaşam döngüsünü inceleyen Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi (YDD) kullanılmaktadır. Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü: yapı öncesi, yapı ve yapı sonrası dönem olarak üçe ayrılmaktadır (Sev, 2009).



Şekil 2.11. Döngüsel ekonomi (URL 22)

- Yapı öncesi dönem; üretim süreçlerini kapsayan hammaddenin çıkarılması, işleme, paketlenme ve ulaşım aşamalarını içermektedir ve çevreye verilen etkilerin önemli bir kısmını kapsamaktadır.
- Yapı dönemi; yapı malzemelerinin kullanılması yani yapım, bakım onarım, işletme adımlarını içeren ve atık oluşumuna neden olabilecek dönemdir.
- Yapı sonrası dönem; yapı malzemesinin ömrünü tamamladıktan sonra tamamı ya da bir kısmının geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılmasıdır. Yapı malzemelerinin yok edilmesi aşamasının göz ardı edilmesi, malzemelerin çevreye verdiği zararı arttırmakta, gömülü enerjiyi korumamaya neden olmaktadır.

Yapıların yaşam döngüsünü değerlendirirken sistemli olmak gerekmektedir bu yüzden pek çok ülke kendi kurallarını (ISO gibi) oluşturmuşlar ve YDD programları tasarlamışlardır. Yapı malzemelerinin sürdürülebilir olması için yaşam döngüleri dikkate alınarak, üretimde kirliliği engelleme, üretim sürecinde atık üretimini azaltma ve geri dönüşümlü bileşen içeriğini artırma önlemlerini almak gerekmektedir. Üretimde kirliliği engellemek için; hammaddenin nasıl ve nereden elde edildiğine, üretiminde kullanılan su miktarına, üretim sonrası oluşabilecek zehirli atık suların su kaynaklarına karışıp karışmadığına yönelik önemler almak gerekmektedir. Yapı sektöründeki malzemelerin hatalı imalat, malzemenin kullanımında zarar görmesi gibi durumlarda atık malzemeler oluşmaktadır. Bu oluşan atık malzemeleri üretimde yeniden kullanarak veya geri dönüştürerek kullanılacak enerji miktarından tasarruf edilmekte ve atık malzeme miktarı azaltılmaktadır (Sev, 2009).

Sürdürülebilir yapı malzemesi seçim adımları:

1. Tasarımın amacı belirlenme ve hangi sürdürülebilirlik kriterlerini sağlayacağı sıralanmalıdır.
2. Yapıda taşıyıcı sistemde, cephe elemanı gibi malzemeler gruplandırılarak önce en maliyetli olacak malzemelerin seçimi üzerinde durulmalıdır.
3. Projede kullanılacak malzeme seçenekleri belirlenmelidir.

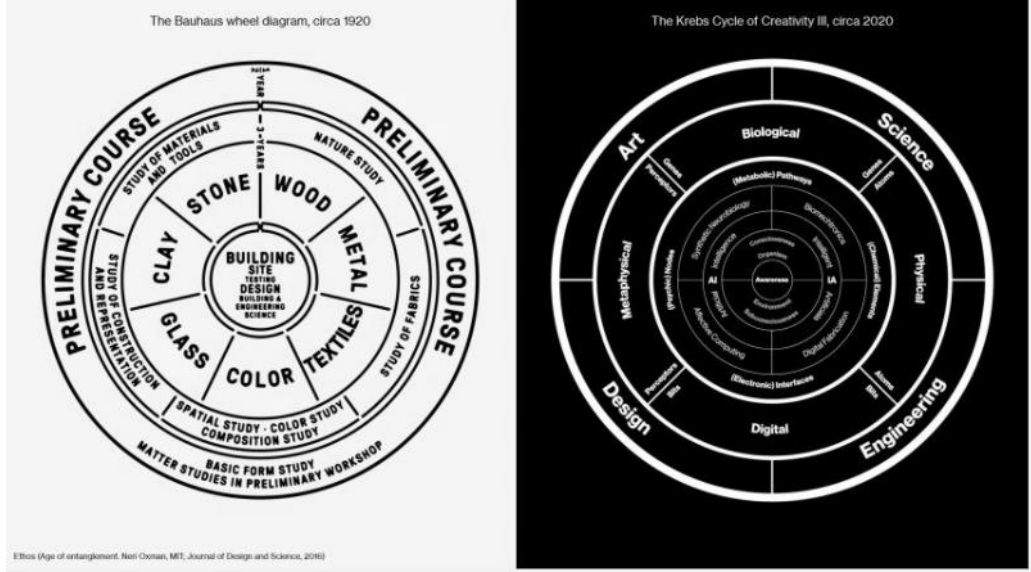
4. Malzeme üreticilerinden malzemeye yönelik teknik bilgiler temin edilmelidir.
5. Avantaj ve dezavantajlarına göre malzemeler değerlendirilmelidir.
6. Malzemenin uygulandığı yerler ziyaret edilerek görsel veriler elde edilmelidir.
7. Malzeme şantiye koşullarında test edilmelidir.
8. Proje şartnameleri hazırlanmalıdır.
9. Yapı malzemesini hakkında yüklenici ile fikir alışverişi yapılmalıdır.
10. Malzemelerin sürdürülebilirlik seçim ölçütleri yazılı olarak saklanmalıdır (Sev, 2009).

Sürdürülebilirlik kavramının çok boyutlu oluşu tasarım, yapım ve malzemeyi etkilerken; bilim ve teknolojinin gelişimi mimarlık alanına da yansımış bu yansıma yeni tasarım yaklaşımları, yapım sistemlerini ve malzeme arayışlarını beraberinde getirmiş olması daha sürdürülebilir bir gelecek için doğaya yönelimi tetiklemiştir. Bu etkileşim mimarlık ve biyoloji arasında bir ilişki kurulabilir mi, kurulan ilişki sürdürülebilirlikle nasıl ilişkilendirilebilir konusu hakkında merak uyandırmıştır. Tezin bundan sonraki bölümlerinde bu sorulara cevap aranmaktadır.

2.3. Mimarlık ve Biyoloji İlişkisi

Mimarlık kişilerin temel ihtiyaçlarını karşılayan yapılardan kentsel tasarıma kadar uzanan, yapı ve mekan tasarımıyla üretimini içeren eylemler bütünüdür. Toplumun kültürel, sosyal, ekonomik, teknolojik yapısını yansıtan sanattır (Hasol, 2017). Mimarlık ve biyoloji kavramları günümüzde artık bir arada kullanılmaya başlanmış ve çalışmalar geliştirilmiştir.

John Meada 2007 yılında bilim, mühendislik, tasarım ve sanatı bir dörtgenin dört farklı köşesi olarak kurgulamış; bilime keşif, tasarıma iletişim, sanata ifade, mühendisliğe buluş görevlerini yüklemiştir ve her birini birbirinden ayrı olarak ele almıştır. Oysaki bir insanın zihnini böyle keskin sınırlarla ayırabilmek mümkün müdür? Oluşturulan bu Bermuda Dörtgeni'ni yeniden nasıl kurgulayabiliriz de bir alandan diğer alana kolay bir geçiş olur ve yaratıcı enerjiye dönüşür sorusunun sonucunda, Oxman Krebs Yaratıcılık Döngüsünü (Şekil 2.12) tasarlamıştır (Oxman, 2016).



Şekil 2.12. Krebs yaratıcılık döngüsünü (KCC) (Oxman, 2016)

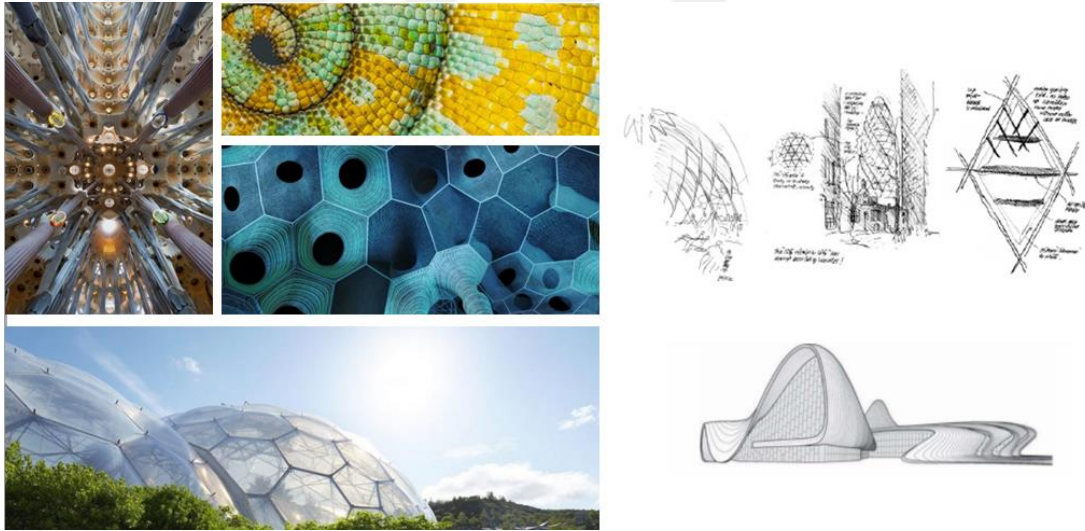
Krebs Döngüsü vücudumuz için gerekli ATP' nin kimyasal reaksiyonlarla üretilmesi, gerekli olanın kullanımı ve yeniden üretimini içeren bir döngüdür. Görüş ve bakış açılarını da bu döngüye göre değiştirilmesiyle, yaratıcı enerjinin haritasını oluşturan Krebs Yaratıcılık Döngüsü ortaya çıkmıştır. Bu döngüde bilim, mühendislik, tasarım ve sanat insan yaratıcılığını oluşturan dört temel bileşen olarak ele alınmış ve her birinin ürettiği diğerine katkı sağlamış başka bir şeye dönüşmüştür. Bilim bilgiye, mühendislik bilgiyi uygulamalar ile faydaya, tasarım işlevi insanlar için en uygun olana ve programı davranışa dönüştürür ve sanat insana farklı bakış açılarından bakmasını sorgulamasını sağlayarak davranışı farkındalığa dönüştürür. Ancak bu döngü saat yönünde ilerlemek zorunda değildir birbirleri üzerinde atlayarak da ilerleyebilir. Örneğin malzeme bilimcisi malzemenin özelliklerini, biyologsa işlevini inceler. Oysaki ikisi aynı pencereden bakabilse hem özellikleri hem de işlevi birlikte görebilir (Oxman, 2016).

Sonuç olarak bilim, mühendislik, tasarım ve sanatı içerisinde yer alan disiplinler ortak çalıştığında bir kişinin bakış açısıyla değil, bir araya geldiği kişilerin ortak bakış açısıyla görebilir. Disiplinler arası çalışmanın mimarlığa katkısı nelerdir diye sorguladığımızda, mimarlık ve biyoloji ara kesitinde yapılan çalışmalar yeni yaratıcı enerjiler üretmekte ve geleceğimiz için inovatif bakış açısını beraberinde getirmektedir.

2.3.1. Mimari tasarım açısından mimarlık ve biyoloji ilişkisi

Bu bölümde mimarlık ve biyoloji ilişkisi; biyomimikri, biyofilik tasarım ve biyotasarım kavramlarının tarihçesi, gelişimi ve mimarlık alanına yansması üzerinden incelenmiştir. İncelenen kavramlar örnekler üzerinden açıklanmıştır.

Biyomimikri: Doğadaki sistemler incelendiğinde iklim, çevre koşulları gibi pek çok duruma uyum sağlayıp gelişmesi milyonlarca yıl sürmüştür ve kendi sürdürülebilirliğini sağlamışlardır. Doğada var olan bu sistemler günümüz problemleri açısından incelendiğinde birçok çözümü barındırdığı görülmüş sürdürülebilirlik kavramı mimarlık alanında önemli hale gelmiş ve yeni yaklaşımlar aranmıştır. Bu yaklaşımlardan biri biyomimikridir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Biyomimikri (URL 23-28)

Grekçe bios (hayat) ve mimikos (taklit) kelimelerinin birleşiminden meydana gelen Biyomimikri Benyus’a göre (1997), “Doğanın dehasına bilinçli bir öykünme. Doğadan ilham alan inovasyon” şeklinde açıklanmıştır. Doğayı taklit etmek onu kopyalamak demek değildir doğadaki çözümün problem için geliştirilerek çözüm olarak uygulanmasıdır.

“Tasarımcımın bakış açısından soruyorum: Neden ağaç gibi bir bina tasarlayamıyorum? Oksijen yapan, nitrojeni sabitleyen, karbonu tutan, suyu damıtan, toprağı oluşturan, güneş enerjisini yakıt olarak biriktiren, kompleks şekerler ve yiyecekler yapan, mikro iklimler oluşturan, mevsimlere göre renk değiştiren ve kendini kopyalayan bir yapı. Bu, doğayı model almak ve bir akıl hocası, bir rahatsızlık olarak değil. Bu keyifli bir ihtimal...” (McDonough ve Braungart, 1998).

Doğa evrimi sürecince kendi kendini devam ettirebilen döngüler oluşturmuş, kaynakları tüketmeden ve kirliletmeden bir gelecek kurmuştur. Problemleri çözmek için tasarımlarda doğaya dönerek bu süreci Benyus (1997), Biyomimikri olarak adlandırmıştır. Bu yaklaşım sanayi devriminden farklı olarak doğadan ne öğrenebileceğimize yönelik Biyomimikri Devrimidir. Biyolojik bu dünyada doğada kendi kendine yok olabilen malzemeler, yazılım sistemlerini vb. üretmek mümkündür. Dünyamız doğaya ne kadar benzerse yalnızca bize ait olmayan bu dünyaya kabul edilebilir oluşumuz o kadar artmaktadır.

Biyomimetikte bir ürünü tasarlamak için biyolojik sistemleri incelemek ve biyolojiden teknolojiye geçişte yorum yapmak gerekmektedir. Biyolojik süreçler kendiliğinden doğal bir süreç içerisinde gerçekleşirken, mühendislik çalışmaları kurallar, sistemler ve sınıflandırmalara sahiptir. Vincent ve diğerleri (2006)’da Rusya’da geliştirilen problem çözme yöntemlerinden biri olan Triz yöntemini biyoloji ve mühendislik sistemlerini birleştirmek için kullanmıştır. Trizle biyomimetik problemleri çözmek için:

- Problemi tanımlamalı
- Sorunları analiz etmeli
- Biyoloji ve mühendislik açısından uyumlu çözümler bulmalı
- Çözümleri doğa ve biyoloji ile uyumlu hale getirmeli
- Yeni teknolojiler geliştirmek için biyolojik ve teknik olanaklardan yararlanmak gerekmektedir (Vincent ve diğerleri, 2006).

1982 yılında ortaya çıkan biyomimikri terimini, Benyus tarafından 1997 yılında Biomimicry Innovation Inspired by Nature (Biyomimikri: Doğadan İlham Alan İnovasyon) adlı kitabında kullanmıştır. Doğayı insan problemlerine cevap verecek

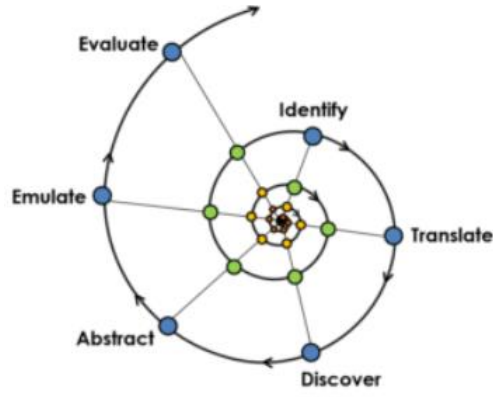
çözümler üretmek için inceleyerek ilham alan bir bilim olarak ele almıştır ve amacının sürdürülebilirlik olduğunu belirtmiştir. (Aziz ve El sherif, 2016, Benyus, 1997). En bilindik biyomimetik buluşa bir örnek Wright kardeşlerin akbabaları inceleyerek 1903 yılınca uçuşunu gerçekleştirdikleri uçaktır (Benyus, 1997).



Şekil 2.14. Doğadaki biyomimikri örnekleri (URL 29)

Benyus ve biyolog Dr Danya Baumeister 1998 yılında Biomimicry Guild (Biyomimikri Birliğini) kurarak, NASA, ARUP, Nike gibi birçok tasarım ekipleri ve mimarlar için biyolojik dünya konusunda danışmanlık hizmeti vermişlerdir. Benyus tasarımlarında doğaya bakarak “Yerel bitkiler, hayvanlar ve ekolojiler bu ortamda nasıl başa çıkıyor?” sorusuyla yola çıkarak yerin ekolojik, kültürel vb. özelliklerini inceleyerek tasarımlarına yansıtmıştır (Biomimicry Guild, 2007). 2006 yılında Janine Benyus, Bryony Schwan ve Dayna Baumeister tarafından Biyomimikri Enstitüsü kurulmuştur. Enstitü tasarımın sürdürülebilir ve ekolojik olmasını sağlamak için performans ölçütleri geliştirmektedir. Bu performans ölçütleri her yapı için değişkenlik göstermektedir çünkü yerine özgü biyolojik ve ekolojik çalışmalar sonucu üretilmektedir. Ekip birbirinden farklı uzmanlardan oluşmaktadır. Enstitünün diğer bir çalışması da 2008 yılında geliştirdikleri AskNature.org adlı veri tabanıdır. Veri tabanında öğrenci, eğitmen, mimar ve bu konuda meraklı olan herkes için kaynaklar ve çalışmalar bulunmaktadır (Biomimicry Institute, 2022; Biomimicry Guild, 2007).

Biyomimikri Enstitüsü biyomimikriyi anlamak ve üzerinde çalışmalar yapılabilmesi için Biyomimikri Tasarım Spiralini geliştirmiştir (Çizelge 2.9). Ürünün tasarlanması için aşağıdaki adımlardan geçmesi, eğer çözüme ulaşamazsa en başa dönerek tasarım kararları gözden geçirilmesi gerekmektedir (İleritürk, 2016).



Çizelge 2.9. Biyomimikri tasarım spirali (Biomimicry Institute, 2016)

Tasarımın amacının, işlevinin ne olduğunu belirlemek için doğadaki canlıların incelenmesi tanımlama adımı ile başlanmaktadır. Doğadan seçilen modelin kullandığı stratejiler keşfedilir ve soyutlaştırılır. Üçüncü adımda problemin çözüme yönelik teknik çalışmaların etkileri takip edilmektedir. Dördüncü adımda tasarım sürdürülebilirlik ilkelerine göre değerlendirilir ve tasarıma eklenmektedir. Son adımda çözüm gözden geçirilerek tasarımın ve doğanın ilkeleri ve sürdürülebilirlik ilkelerine göre değerlendirilir ve bir sonraki çalışmalar için neler yapılabileceği sorgulanmaktadır (Biomimicry Institute, 2016; İleritürk, 2016).



Şekil 2.15. Mısırlılar ve Yunanlılar Döneminde bitkilerden esinlenerek inşa edilmiş sütunlar - Yere Batan Sarnıcı (MdRiann ve Sassone, 2014)

Biyolojiden ilham çok eski tarihlere dayanmaktadır, tarih öncesi çağlarda ağaçlar ve bitkiler mağaraların duvarlarında süsleme için kullanılmıştır. Mısırlılar lotus bitkisinden esinlenerek (Şekil 2.15), Yunan ve Roma dönemindeyse bitkiler ve ağaçlardan esinlenerek korint sütunlar yapılmıştır (MdRiann ve Sassone, 2014).

6.yüzyıl Bizans Dönemi'nde inşa edilen Yerebatan Sarnıcı'nda ormanlardan esinlenerek 300 mermer sütun üretilmiştir. 19.yüzyılın sonu 20.yüzyılın başı olan Art Nouveau Dönemi'nde bitkisel desenlerin ve organik formların kullanımı artmıştır; Gaudi biyomimikriyi yapılarında kullanmıştır (Şekil 2.16). Biyo-ilhamlı yapılarında organik formu ters çevirerek kablolarla askıya almak için deneyler yapmıştır (MdRiann ve Sassone, 2014).



Şekil 2.16. Gaudi La sagrada Familia, Wright'ın mantar sütunları ve Los Manatiales restoranında biyomikri yaklaşımları (MdRiann ve Sassone, 2014).

19.yüzyılda biyolojinin oran ve orantı dengesi yapılara uygulanmış, 20.yüzyılda beton kullanılarak; Öklid ve çeşitli geometrik şekiller soyutlanarak mantar, şemsiye vb. şekillerde minimal elemanlar üretilmiştir. Örneğin Felix Candela 1958 yılında Meksikada yer alan Xochimilco'daki Los Manatiales restoranda hiperbolik paraboloidten olan geometrik şekilden esinlenerek, birbirine bağlı sekiz hiperbolik formu içeren yapısında betonu kullanmıştır. Günümüzde ise doğadan referansla yapılan tasarımlarda dijital hesaplama teknolojilerinden yararlanılabilmektedir. Üç boyutlu yazıcılar ile tasarlanan yapılar kolaylıkla üretilmektedir (Aziz ve El sherif, 2016; MdRiann ve Sassone, 2014).

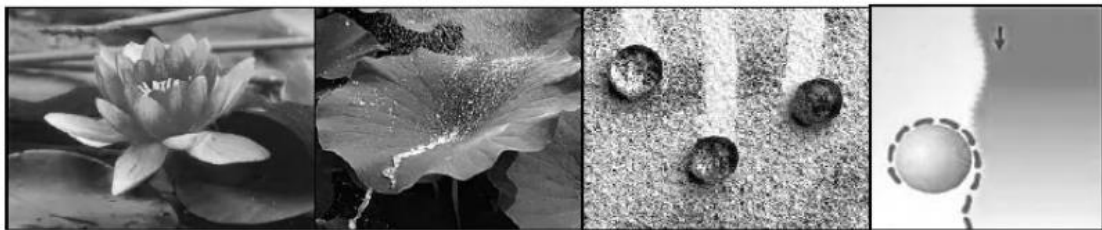
Mimarlık ve biyoloji ilişkisi kapsamında organizmalar üzerine yapılan araştırmalar mimaride yeni bakış açıları geliştirmiştir. Biyomimikri yaklaşımları Yukarıdan Aşağıya Tasarım ve Aşağıdan Yukarıya Tasarım olarak ikiye ayrılmaktadır. Yukarıdan Aşağıya Tasarım veya Biyolojiye bakan tasarım, tespit edilen problemlerin belirlenmesi ve biyologların benzer problemleri yaşamış canlılarla eşleştirilmesidir. Örneğin DaimlerChrysler'ın Biyonik Arabası'nın tasarımında geniş hacimli ve daha az yakıt yakan araç tasarımı için kutu balığı incelenerek modellenmesi yapılmıştır böylece

malzeme ve yakıttan tasarruf sağlanmıştır (Şekil 2.17). Tasarımcılar, canlıları veya organizmaları gözlemleyebildiği için biyolog olmadan da biyomimetik çözümler bulması mümkündür. Ancak sınırlı bilimsel bilgiye sahip olunması tasarımın yüzeysel kalmasına neden olabilmektedir. Yine de böyle bir yaklaşımla yapılı çevreyi daha sürdürülebilir yapmak için bir adımdır. Bu yaklaşımda önemli nokta mimari tasarıma nasıl yaklaşıldığının farkında olmaktır (Zari, 2007).



Şekil 2.17. Kutu balığından esinlenerek geliştirilen DaimlerChrysler'ın Biyonik Arabası (Zari, 2007)

Aşağıdan Yukarıya Tasarım veya biyolojiyi etkileyen tasarım, biyolojik bilginin tasarıma yön vermesi için problemlerden daha çok biyolojik araştırmalar hakkında bilgi sahibi kişilere bağlıdır. Örneğin Nilüfer çiçeğinin kendini temizleme özelliğinin bilimsel araştırmalar ile bulunması sonucu kendini temizleyebilen boyalar geliştirilmiştir. Bu yaklaşım insanların belirlediği problemler dışında daha önce farkına varılmamış sistemler, çözümler içeriyor olması önemli bir avantajdır. Böylece sorunun kökeninde değişiklik yaparak çözüm bulmak mümkündür (Şekil 2.18). Biyolojik araştırma yapan kişilerin, araştırma yaptıktan sonra tasarımla bağlantı kurabilmesi için araştırmaların etkisinin bilincinde olabilmeleri dezavantajdır (Zari,2007).



Şekil 2.18. Lotus bitkisinden esinlenerek geliştirilen kendini temizleyebilen boyalar (Zari, 2007)

Benyus (1997) biyomimikri yaklaşımında doğayı model olarak, ölçü olarak ve akıl hocası olarak ele almaktadır. Model olarak doğa, problemleri çözmek için doğayı incelemek ve ondan ilham almaktır. Ölçü olarak doğa, doğa 3,8 milyar yıllık süreç boyunca neyin nerede kullanıldığı ne işe yaradığına yönelik standartlar geliştirmiştir bu standartları tasarımların kontrolü için kullanılmasıdır. Akıl hocası olarak doğa, biyomimikri yaklaşımında doğaya değer vererek ondan öğrenmektir.

Benyus (1997)'a göre doğa kanunları aşağıdaki gibidir:

“ Doğa güneş ışığında çalışır.

Doğa sadece ihtiyaç duyduğu enerjiyi kullanır.

Doğa, biçimle işleve uyar.

Doğa her şeyi geri dönüştürür.

Doğa işbirliğini ödüllendirir.

Doğa çeşitliliğe güvenir.

Doğa yerel uzmanlık gerektirir

Doğa aşırılıkları içeriden engeller.

Doğa, sınırların gücünden yararlanır.”

Biyomimikri yaklaşımları organizma, davranış ve ekosistem olan üç düzeyden oluşmaktadır (Biomimicry Guild, 2007). Her bir düzey Zari (2007)'e göre biçim, malzeme, süreç, inşaat ve fonksiyon olarak beş boyutta incelenmektedir. Malzeme tasarımında ne kullanıldığı, biçim tasarımının neye benzediği, inşaat nasıl üretildiği, süreçte nasıl bir yol izlendiği ve fonksiyonda neler yapabildiği ele alınmaktadır.

Çizelge 2.10. Biyomimikri düzeyleri (Zari, 2007 kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır)



Organizma Düzeyi: Canlı organizmalar günümüze kadar pek çok evrim geçirdiği için koşullara uyum sağlayabilir duruma gelmişlerdir bu yüzden organizmaların incelenmesi mevcut sorunları çözmek için birçok seçenek sunmaktadır. Fakat canlının bütün özelliklerinin yerine bir özelliğine odaklanması yapılarda entegrasyonu sağlamaktan ziyade yeni bir eklenti gibi durmasına neden olabilmektedir. Bu yüzden biyolog gibi bilim insanlarının bilgilerinden yararlanılarak yapılan tasarımlar malzeme, yeni teknolojiler ve sürdürülebilirlik gibi çalışmaların gelişmesine katkı sağlayabilmektedir.

Davranış Düzeyi: Canlıların yüzyıllar içinde farklı durumlarla karşılaşarak oluşu onları geliştirirken aynı zamanda koşullara uyum sağlayan davranışlara sahip olmalarını sağlamıştır. Bu düzeyde taklit edilen canlı değil davranıştır. Pasif havalandırma sistemine sahip termit yapılarındaki bina davranışlarından esinlenilerek yapılar yapılması davranış düzeyine bir örnektir.

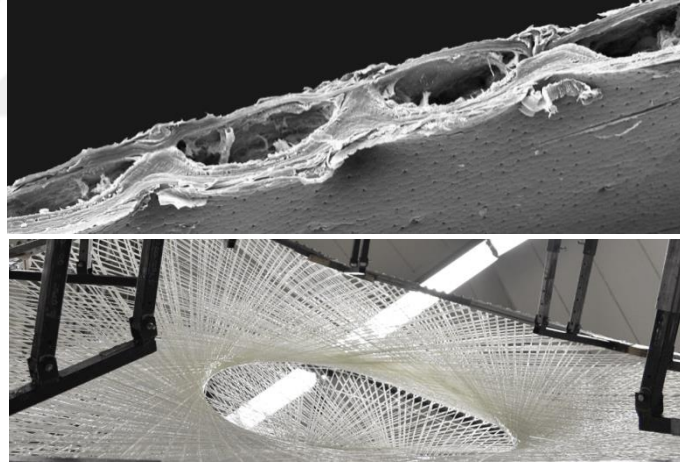
Ekosistem Düzeyi: Sürdürülebilirliğin sağlanması için ekosistemin taklit edilmesidir. Bu yaklaşımın uygulanması çevre için de yararlı etkiler göstermektedir. Mimar, biyolog gibi farklı meslek dallarının bir arada çalışması tasarımı bambaşka boyutlara taşınmasına olanak sağlayabilmektedir (Çizelge 2.10) (Zari, 2007).

Yapılarımızın Biyolojik Dünya'ya uyum sağlaması için doğa ile olan ilişkimizi değiştirmemiz gerekmektedir. Malzemeleri nasıl tasarlayacağımızı, yapılarımızı nasıl geliştireceğimizi, nasıl daha sürdürülebilir bir sistem kurgulayacağımızı doğadan öğrenmemiz gerekmektedir (Benyus, 1997). Bu yüzden Biyolojik Dünya'da doğaya uyumlu, ondan öğrenen ve öğrendiklerini tasarımlarına aktaran çalışmalar yapılmaktadır. Aşağıda mimarlık ve biyoloji ilişkisi kapsamında biyomimikri yaklaşımıyla yapılmış olan ICD-ITKE Araştırma Pavyonu örnek olarak incelenmiştir (Şekil 2.19).



Şekil 119. ICD-ITKE Araştırma Pavyonu (ICD-ITKE Research Pavilion, 2014)

ICD - ITKE Research Pavilion 2013 - 2014 yılında Almanya’da, Stuttgart Üniversitesi’nde; mimarların, mühendislerin, biyologların ve paleontologların ortak çalışması sonucu böcek liflerini inceleyerek, bunlara benzer, sağlam polimerler oluşturup, sayısal ortamdan aktarılması sonucu; robotlarla üretim yapmışlar ve malzeme olarak cam ve elyaf kullanarak pavyon tasarlamışlardır (ICD-ITKE Research Pavilion, 2014).

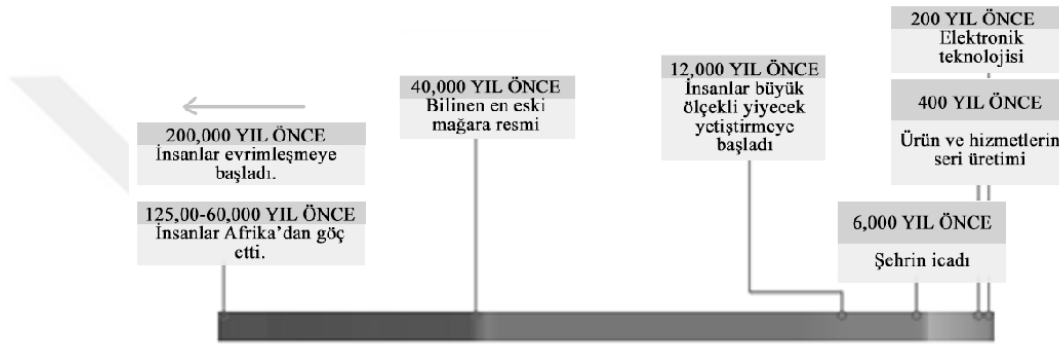


Şekil 2.20. Böceğin ve robotun malzeme kullanımı (ICD-ITKE Research Pavilion, 2014)

Yukarıda yer alan Şekil 2.20’de ilk görsel böceklerin (örümcek) ördüğü liflerken, alttaki görselde böceklerin üretim sistemlerinin biyolojileri incelenmesiyle geliştirilen malzemenin detayı yer almaktadır. Teknolojinin gelişimi bizleri doğadan uzaklaştırmanın tersine doğaya yaklaştırmaya ve tasarımlara yansımaya bir örnektir. Mimarlık ve biyoloji ilişkisi kapsamında geliştirilen yaklaşımlardan biri de biyofilik tasarımıdır.

Biyofilik tasarım: Biyofilik, insanların doğa ile ilişki kurmaya yönelmesidir. Bu düşünce insanların tasarladığı dünyaya karşı biyolojik bir yaklaşımı içeren insan evrimini kaynak olarak ele almıştır. Bu süreçte büyük şehirler kuruldu, seri üretime geçildi, teknolojik gelişmeler yaşandı fakat 19. yüzyıldan beri insanlar tarafından geliştirilmemiş tasarlanmamış biyo-merkezli dünyaya dönüşüm başlamıştır (Çizelge 2.11) (Kellert ve Calabrese, 2015).

Çizelge 2.11. Biyo-merkezli tasarımın gelişimi (Kellert ve Calabrese, 2015 kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır)



İş, okul, ev, hastane ve daha birçok günlük hayatımızı geçirdiğimiz alanlar kapalı yapılara evrilmiş, ışık almayan, doğal havalandırması bulunmayabilen, malzeme seçimleri farklılaşmış, manzara, yeşil alandan kopuk hale gelmiş ve doğadan giderek uzaklaşma eğilimi mimariden tarıma kadar pek çok alanda kendini göstermektedir. Oysaki doğa ile yapılan temasın artışı kişilerin, üretkenliğini, fiziksel ve ruhsal sağlığına katkı sağlamaktadır. Örneğin hastanelerde doğayla temas kuran kişilerin ağrıların azaldığı, moralinin düzeldiği, hastalıklarının iyileşmesini hızlandırdığı tespit edilmiştir (Şekil 2.21) (Kellert ve Calabrese, 2015).



Şekil 2.21. Hastane odaları (Kellert ve Calabrese, 2015).

Biyofilik tasarım, modern dünyada kişilerin yaşam kalitesini, sağlığını iyileştiren biyolojik bir organizma olarak yaşam alanı tasarlamayı amaçlamakta ve doğa ile teması arttıracak çözümler üretmektedir (Şekil 2.22). Biyofilik tasarımın temel ilkeleri:

- Doğa ile etkileşim kopukluk olmadan devam etmesi
- Doğaya insan yaşamını uyarlamayı
- Bireylerin çeşitli mekanlar ile bağ kurmasını sağlamasını
- Bireylere doğaya karşı sorumluluk duygusunun gelişmesini
- Doğa ve mimariyi bir arada barındıran çözümler üretmeye yönlendirmeyi içermektedir (Kellert ve Calabrese, 2015).



Şekil 2.22. Biyofilik tasarım (Kellert ve Calabrese, 2015).

Biyofilik Tasarımın Faydaları:

Biyofilik tasarımın doğru şekilde uygulanmasının davranışsal, fiziksel ve zihinsel faydaları bulunmaktadır. Davranışsal faydaları; odaklanmayı ve dikkati artırır, sosyal etkileşimi geliştirir. Fiziksel faydaları; hastalık belirtilerini azaltır, konfor koşullarını iyileştirerek yaşam memnuniyetini yükseltir, fiziksel açıdan zindelik sağlar ve kan basıncını düşürür. Zihinsel faydaları, stresi azaltır, problem çözme becerisini geliştirerek hayal gücümüze ve yaratıcılığa katkı sağlar, motivasyonu yükseltir. Bitki örtüsü, su, organik şekiller, patina ve kentin bir araya gelişi yer duygusunu güçlendirir (Kellert ve Calabrese, 2015).

Çizelge 2.12. Biyofilik tasarım deneyimleri ve nitelikleri (Kellert ve Calabrese, 2015)

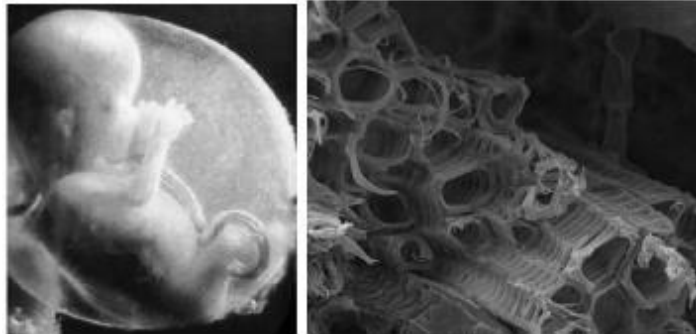
BİYOİLİK TASARIM DENEYİMLERİ VE NİTELİKLERİ		
Doğanın Doğrudan Deneyimi	Doğanın Dolaylı Deneyimi	Mekan ve Yer Deneyimi
		
• Işık • Hava • Su • Hayvanlar • Bitkiler • Ateş • Doğal peyzajlar ve ekosistemler	• Doğa materyaller • Doğa görüntüleri • Doğal ışık ve havanın simüle edilmesi • Doğal renkler • Doğayı çıkarmak • Doğal şekiller ve formlar • Yaş değişim ve zaman patinası • Bilgi zenginliği • Doğal geometriler • Biyomimikri	• Organize karmaşıklık • Beklenti ve sığınma • Geçiş mekanları • Parçaların bütüne entegrasyonu • Hareketlilik ve yol bulma • Mekana kültürel ve ekolojik bağlılık

Biyofilik tasarım uygulaması deneyim, nitelik, tasarım, seçimler, ekolojik ve kültürel değerler gibi pek çok bileşenin bir araya gelmesiyle gerçekleşmektedir. Biyofilik tasarımda üç doğa deneyimi bulunmaktadır, bunlar doğanın doğrudan deneyimi, doğanın dolaylı deneyimi ve mekan ve yer deneyimleridir (Çizelge 2.12). Bu üç doğa deneyimi biyofilik tasarımın temel kategorileridir. Doğanın doğrudan deneyimi yapılı çevredeki çevresel özellikler olan su, hava, bitki, doğal ışık, hayvan, ateş, ekosistemler ile doğrudan temastır. Doğanın dolaylı deneyimi doğanın temsilinin belli formlara süreçlere dönüşmüş haliyle doğa fotoğrafları, mekanlarda kullanılan doğal malzemeler,

iç mekanda seçilen doğa renkleri ve doğal ışık ve havanın simüle edilmesiyle kurulan etkileşimdir. Mekan ve yer deneyimi ise doğal çevrenin mekansal özelliklerine vurgu yapmasıdır. Üç kategori biyofilik tasarımın niteliklerini oluşturan beş duyu organımızla deneyimlenen toplam 24 özelliği içermektedir (Kellert ve Calabrese, 2015).

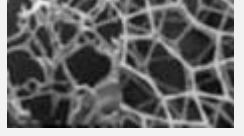
Biyofilik tasarım biyolojik canlı olan insan için doğayı deneyimlememizi sağlarken sağlıklı, fiziksel ve zihinsel açıdan iyi hissettikleri alanlar tasarımını sağlamaktadır. Bunun için yapıdan, malzemeye, kentsel alan tasarımına kadar birbiriyle entegre olmuş nihai ürünleri içermektedir. Modern devirde çevre kirliliğinin yaşanması, biyo-çeşitliliğin azalışı gibi problemler sürdürülebilirlik önlemleri almaya yeni malzeme arayışlarına, tasarımsal ve düşünsel arayışlara, enerji kullanımı gibi çalışmalara insanları yönlendirmektedir. Tüm bunlar doğadan kopuştan çok bağlılığı ve sevgiyi pekiştirmeye bir çağrı niteliğindedir (Kellert ve Calabrese, 2015). Mimarlık ve biyoloji ilişkisinin arakesitinde geliştiren yaklaşımlardan bir diğeri biyotasarımdır.

Biyotasarım: Salvador Dali'ye göre mimarlığın geleceği yumuşak ve tüylü olacaktır. Gaudi ise 2000 yılında Barselona'da genetik ve mimariyi uyarlayarak tasarımlarına yansıtmıştır. Bu da mimarlık alanında genetik yani biyoloji ve dijital teknoloji üzerine çalışmaları başlatmıştır. DNA ve yazılımın bir araya gelişi doğal ve dijital sistemlerin sistemleri mimariye yansıtarak kendiliğinden büyüyen mimari ve malzemelerin oluşmasını ve Biyo-dijital mimarinin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Şekil 2.23) (Estévez, 2009).



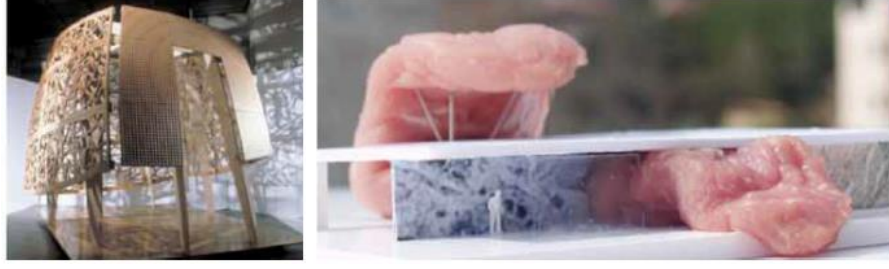
Şekil 2.23. Estévez'in biyo-dijital tasarımla ilgili büyüme temelli görselleri (Estévez, 2005; Estévez, 2014)

Çizelge 2.13. Mimarlığın üç dönemi (Estévez, 2005)

			
Dönemler	Klasik Dönem	Modern Dönem	Biyo- Dijital ve Gelecek
Kronoloji	-19.yy	20.yy	21. yy-....
Form	Dikey	Yatay	Organik
Materyal	Taş, tuğla, ahşap	Beton, çelik, plastik	Doğa ve DNA
Strüktür	Sıkıştırma	Çekiç	Yaşayan
Süreç ve Üretim	El Üretimi	Seri Üretim	Doğal Gelişim ve Robotik Üretim

Bugün gezegenimiz sürdürülebilir bir gelecek için tehlike altındadır. 21. yüzyılda mimaride klasik ve modern dönemden sonra doğaya dönüş ile gelişen teknoloji ve biyoloji tekniklerinin birleşimi biyo-dijital olarak adlandırılan bir dünya sunmaktadır. Mimarlık alanında sadece dijital teknolojilerin kullanılması yeterli değildir bundan dolayı biyoloji ve dijital tekniklerden yararlanarak biyodijital mimariyle organikleşmeye ve bu alanda yeni çalışmalar yapılmasına yönelim olmuştur (Çizelge 2.13). Biyodijital dünyaya adapte olmak için doğadan öğrenmeli, araştırma yapmalı ve çeşitli uygulamalar ile geleneksel yöntemlerimizi geliştirmemiz gerekmektedir (Estévez, 2014). Biyoloji ve mimarinin birleşimi iki yaklaşım sunmaktadır:

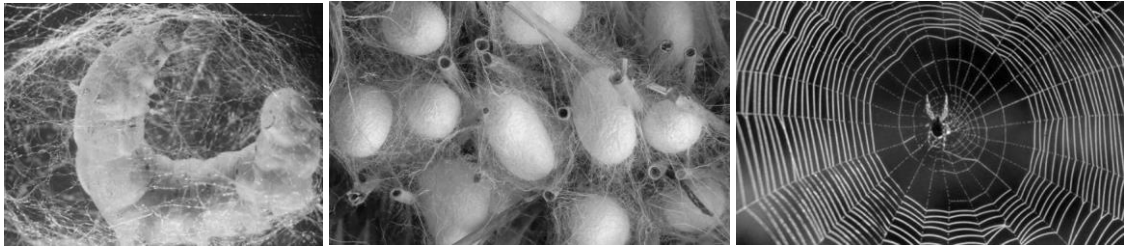
1. Dijital tasarım ve ürünler geliştirmek üzerine yapılan çalışmalardır. Model ve kalıp olmadan 1:1 ölçekte kendi kendini inşa eden biyo-dijital tasarımları kapsamaktadır.
2. Mimarlık alanında canlı yapı malzemeleri, yapı elemanlarının kullanımınıdır. Mimarlar ve farklı disiplinlerden kişiler bir araya gelerek sürdürülebilir bir gelecek için genetik tasarımlar ile canlı hücreleri birleştirerek elde edilen yapı malzemelerini yaşam alanlarına uygulamak için çalışmalar yürütmektedirler (Estévez, 2009).



Şekil 2.24. Genetik Barselona Pavyonu- Dijital Barselona Pavyonu (Estévez, 2014)

1. yaklaşım için örnek olarak Dijital Barcelona Pavyonu Bernard Cache ve öğrencileri tarafından ESARQ (UIC) Dijital Mimari Laboratuvarı'nda 2001 yılında dijital teknolojiler kullanılarak üretilen ilk yapıdır. Bu çalışma Paris'te Centre Pompidou'da “Mimarlıklar standart dışı” sergisinde 2003-2004'te sunulmuştur (Şekil 2.24).

2. yaklaşım için örnek olarak Mies van de Rohe tasarımı Almanya Pavyonu'nun yumuşak genetik uyarlaması olarak Genetik Barcelona Projesi 2007 yılında Estévez ve Marina Serer tarafından tasarlanmıştır (Şekil 2.24). Projede hücrelerin genetik olarak büyümesi ele alınarak, canlı bir malzeme kurgusuna yönelik çalışmalar kapsamında yapılmış ve 2007 yılında “Bios 4: Biotechnological and Environmental Art” sergisinde sergilenmiştir (Estévez, 2014).

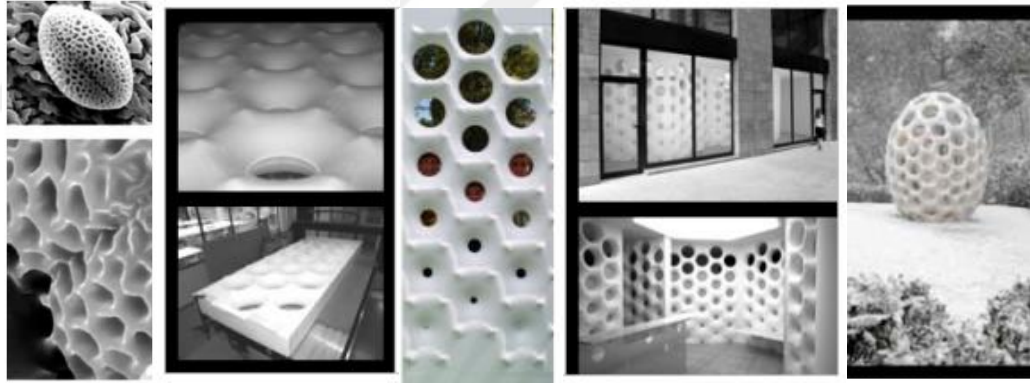


Şekil 2.25. İpek böceği kozasının ve örümcek ağının oluşumu (URL 30, URL 31, URL32)

Doğa yapı, malzeme, form arasındaki dengeyi sağlayan tasarımlarında zengin çeşitliliğe sahiptir ve verimli hesaplama biçimlerini kullanmaktadır. Doğadaki malzemenin şekillenışı çevre koşullarına göre değişim göstermektedir. Örneğin örümcek ipeği avlarını yakalamak için kullanırken, koza ipekleri yumurtaları korumaktadır (Şekil 2.25), bundan dolayı biyolojik sistemleri hesaplayan olarak ele almak mümkündür. 21.

yüzyılla beraber gelişen teknolojinin de etkisiyle dijital tasarımda form ve malzeme arasındaki uyum biyolojik sistemlerden farklı olarak, form oluşturma ve form oluşturduktan sonra malzemenin uygun olması aşamalarını izlemektedir. Ve biyolojik sistemlerde malzeme her yerde aynı özelliği gösterebilirken, dijital tasarımlarda ise malzemenin içeriği atomik açıdan yöne göre farklılık göstermektedir (Oxman ve ark., 2013). Sonuç olarak biyolojik sistemlerdeki gibi bir yaklaşımla biyotasarımın yapılara uygulanması üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Böylece dijital hesaplamalar ile biyolojik süreçler bir araya geldiğinde hem form hem de malzeme arasındaki uyum yakalanabilmektedir. Bu yaklaşım malzeme üzerinde farklı disiplinlerin çalışmasıyla yeni malzeme türlerinin gelişmesine katkı sağlamıştır.

Aşağıda mimarlık ve biyoloji ilişkisi kapsamında biyo-tasarım yaklaşımıyla ele alınmış Danışma Odaları (Şekil 2.26) ve İpek Köşk Pavyonu (Şekil 2.27) hem tasarım hem de malzeme kullanımı açısından örnek olarak incelenmiştir.



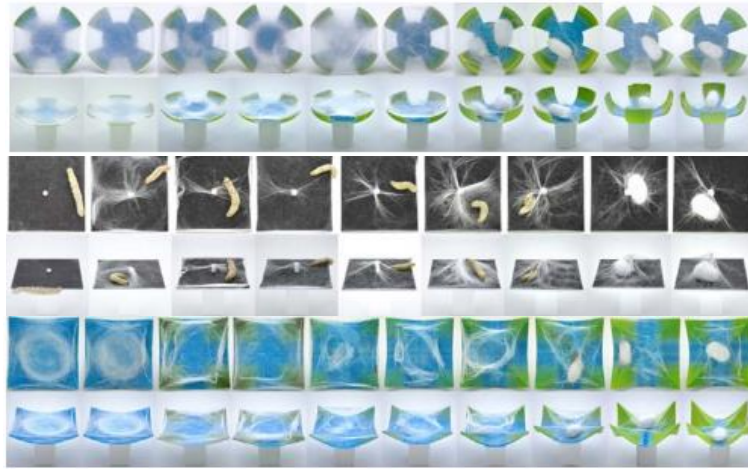
Şekil 2.26. Danışma Odaları (Estévez, 2014)

Danışma Odaları: Mimaride yapıların kendi kendine oluşmasını sağlamak ve model yok kalıp yok açıklamasına bir örnek olarak Estévez 2008 yılında Barselona’da tasarlanan projede, öncelikle polen yapılarının genetik dizilimleri ve yapısal şekillerini anlamak için mikroskopla inceleyerek başlamıştır. Doğadan biyo-öğrenme süreci sonrasında ESARQ Dijital Mimari Laboratuvarında CAD-CAM teknolojileri kullanılarak CNC makinalarında soldaki ilk görsellerde gösterilen paneller üretilmiştir. Bu paneller sağdaki son görselde olduğu gibi birleştirilerek 1:1 ölçekte üretim yapılmıştır (Şekil 2.26).



Şekil 2.27. İpek Köşk (Oxman ve ark., 2013)

İpek Köşk Pavyonu: Canlı biyolojik süreçlerin (ipek böcekleri) ve dijital üretim teknolojilerinin arasındaki ilişkinin araştırıldığı ve ikisinin ortak çalışması sonucu tasarlanan ve üretilen bir pavyondur (Şekil 2.27). İpek böceklerinin koza oluşumundan esinlenilerek tasarlanan yapıda, ilk adımda CNC makinesiyle malzeme olarak ipek iplik kullanılarak 26 modül üretilmiştir. Çevredeki ışık, sıcaklık gibi koşullardan etkilenen ipek böceklerinin tek bir bölgede toplanmamaları için modül tasarımı sırasında güneş yörüngesi haritası oluşturularak modüllerin boşluk büyüklükleri ve yerleri hesaplanmıştır. Yapının yapımı süresince ipekböcekleri ve dijital üretim süreçlerindeki hem malzeme hem tasarım hem de yapı arasındaki optimizasyonu sağlamak için farklı boyut, şekil, yüksekliklerde tasarlanan birimler üzerinde ipek böceğinin üretimini görmek için deneyler yapılmıştır (Şekil 2.28) (Oxman ve ark., 2013).



Şekil 2.28. İpek Köşk deneyleri (Oxman ve ark., 2013)

İkinci adımda 3B yazıcı gibi üretim yapan ipekböcekleri birleştirilen modüllerin üzerine yerleştirilerek aralardaki boşlukları doldurmaları sağlanmıştır. Sonuç olarak dijital süreçlere biyolojik sistemlerin birleşimiyle elde edilen biyo-hesaplamalı yöntem kullanılan yapı, malzeme açısından yeni olanaklar sunmaktadır (Oxman ve ark., 2013).

Biyomimikri, biyotasarım, biyofilik tasarım gibi yaklaşımlar insan ve doğa ilişkisini yapılı çevremize uygulaması mimarlık ve biyoloji arasındaki etkileşimi sağlamaktadır. Tasarımlarda bu bakış açılarının kullanımı yeni malzemelerin keşfini sağlamakta biyomalzemeleri günlük hayatımıza adapte etmeyi; ürünlerin daha sürdürülebilir olmasını, farkındalığı yükselterek, yenilikçi kullanımlarla inovatif yaklaşımlar sergileyerek merak duygusunu tetiklemekte, malzeme algısının değiştirmesini ve doğa ile etkileşimi sağlamaktadır (Ahmad Sayuti, Ayn, Sommer ve Ahmed-Kristensen, 2020).

21. yüzyılda başlayan mimarlık, biyoloji, genetik, ve farklı disiplinleri kapsayan biyo-dijital tasarım bitkiler ve diğer canlılar gibi yaşayan, kendi kendini üretebilen gibi özellikleri içeren tasarımlar ile günümüzde kullandığımız geleneksel sistemlerin gelişerek mevcut problemlere cevap vermesine olanak sağlayacaktır. Bundan dolayı doğadan öğrenerek gelişen bu sistemin teknoloji ile birleşmesi mimarlık alanı için sürdürülebilir bir gelecek sunmasından dolayı önemlidir.

2.3.2. Yapı biyolojisi açısından mimarlık ve biyoloji ilişkisi

Bu bölümde mimarlık ve biyoloji ilişkisi; yapı biyolojisi kavramının tarihçesi, gelişimi ve mimarlık alanına yansımaları üzerinden incelenmiştir.

Biyolojik yapılaşma gün geçtikçe önemli hale gelmektedir. Doğa kendisini insana yöneltmek yerine insan kendisini doğaya yöneltmektedir. Gelişen teknoloji, nüfus artışı ve göçler sonucu şehirler büyümüş, altyapı çalışmaları yeterli gelmemeye başlamış ve doğa insan ilişkisinin odak noktası birbirinden uzaklaşmıştır. Kentlerde yaşanan bu değişimler kültürel problemleri de tetiklemiş ve stresin arttığı, yapay ortam koşullarının

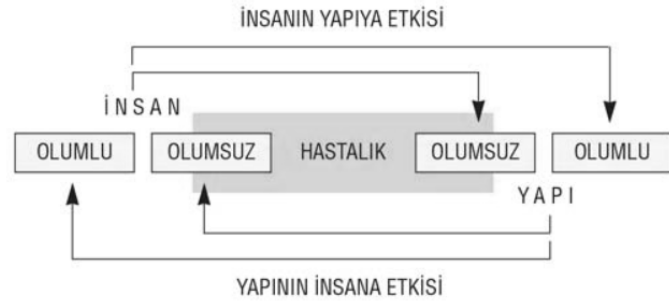
tercih edildiği alanlar tercih edilir hale gelmiştir. Oysaki evre koşulları bunlarla bir bütün oluşturmakta, hem fiziksel hem de psikolojik ihtiyaçlarımız ve ekolojik denge için önemli bir noktadadır (Akman,2013).



şekil 2.29. Yapı biyolojisi (Yapı Biyolojisi, 2022)

Bireyler kendi ihtiyaçlarını karşılayacak yaşam alanlarına ihtiyaç duymaktadır. Günlük hayat döngüsünden uzaklaşıp doğa ile etkileşim kurabilecek alanlar stres ve olumsuz duygulardan uzaklaşıp kişisel gelişime katkı sağlamaktadır. Yapıların oluşumunu sağlayan malzemelerin seçiminin önemi burada kendisini göstermektedir. Çevrede görülen beton, cam, elik gibi malzemelere yönelmek yerine bilinçli bir şekilde seçim yapmak gerekmektedir. Çünkü yapılar organizma gibidir eğer içerisinde bir hastalık varsa insan vücudu gibi tüm sistemi etkilemekte ve insanların sağlığı üzerinde etki göstermektedir (Akman,2013). Bu yüzden yapı malzemeleri insan sağlığına zarar vermemelidir. İnsan ve yapı- evre arasındaki sorunları çözmek için yapı biyolojisi olarak isimlendirilen bilim dalı altında çalışmalar yürütülmektedir.

Yapı biyolojisi, insan ve evre arasındaki problemleri çözmek için, yapının yapım aşamasından kullanım aşamasına kadar insan sağlığını gözetten ve kontrol eden bir bilim dalıdır. Yapı kullanıcısının biyolojik, psikolojik gibi ihtiyaçlarını tanımlamak ve yapının fiziksel ve sosyal iç- dış çevresi bu ihtiyaçları yerine getirmektedir (şekil 2.30) (Balanlı ve Küçükcan, 1999). Yapı biyolojisi alanı insan, yapı, biyoloji ile ilgili pek çok bilim dalı ile etkileşim içerisindedir.



Şekil 2.30. İnsan ve yapı arasındaki etkileşim (Balanlı ve Taygun, 2005)

Akman (1990)'a göre yapı biyolojisi: “Yapılan çevrenin ve bu yöndeki alternatif yapıların, kullanıcıların fiziksel, zihinsel ve ruhsal sağlığına etki ettiği araştırmalardan elde edilen bilimdir”. Akman yapı biyolojisini yapı, bio ve logi kavramı ile şekillendirmektedir. Aşağıdaki Çizelge 2.14’te kavramlar yer almaktadır.

Çizelge 2.14. Yapı biyolojisi kavram tablosu (Akman, 1990)

YAPI	Ev, Yuva, Korunak, Emniyet, Yerleşim, Barınak, Kabuk
BİO (biyos)	Yaşam, Habitat, Canlılık, Doğa, Çevre
LOJİ (logos)	Evren, Yaratıcılık, Bütünlük, Vücut Bulma, Enerji

Yapı biyolojisi 1960’ların sonunda Almanya’da tıp doktoru Hubert Palm tarafından yapılı çevrenin insan üzerindeki etkilerini inceleyen yapı biyolojisi olarak adlandırılan uzmanlık alanı ortaya çıkmıştır (Yapı Biyolojisi, 2022; Dietrich, 1990). 1970’li yılların başında ahşap mühendisi Karl Ernst Lots, doktor Hubert Palm ve elektrobiyolog olan Anton Schneider ve Alfred Hornig tarafından yapı biyolojisinin temelleri atılmıştır ve Almanya’da B.A.U. (Mimarlık & Çevre Birliği) ve BAB (Yapı Biyolojisi & Mimarlık Birliği) bugünkü İBN’nin (Alman Yapı Biyolojisi & Ekolojisi Enstitüsü) kurulmuştur (Yapı Biyolojisi, 2022; Tuğlu, 2005). Yapı biyolojisi üzerindeki çalışmalar insan ve doğaya karşı farkındalığı yüksek sürdürülebilir bir gelecek için adım atan ülkelerde daha önce başlamış bilim dalının gelişimi ile 1980’lerden sonra çalışmalar artarak devam etmiştir (Balanlı ve Taygun, 2005). Yapı biyolojisi üzerine yapılan çalışmalar

Türkiye’de And Akman tarafından 1989 yılında başlamıştır (Kokulu, 2017). Türkiye’de Yapı Biyolojisi ve Ekolojisi Enstitüsü’nü 2007 yılında kurmayı amaçlayan Akman tarafından, 2014 yılında resmi adımlar atılmıştır (Yapı Biyolojisi, 2022). Yapı biyolojisinin yirmi beş temel ilkesi bulunmaktadır ve ilkeler Çizelge 2.15’te beş kategoriye ayrılmaktadır (Yapı Biyolojisi, 2022).

Çizelge 2.15. Yapı biyolojisinin temel ilkeleri (Yapı Biyolojisi, 2022 kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır)

Sağlıklı İç Mekan İklimi	İç mekandaki havayı tazelemek
	Zararlı mantar, bakteri ve alerjenleri önlemek
	İyi kokan ve ya nötr kokulu malzemeleri tercih etmek
	Elektromanyetik alanları azaltmak
	Isınma için ısıtım sıcaklığını öncелеmek
Yapı Malzemeleri ve İç Mekan Donatıları	Doğal, zararlı malzemeler barındırmayan malzemeleri tercih etmek
	Nem oranını dengeleyen malzemeleri kullanmak
	Isı yalıtımla depolanan ısı ve iç mekan sıcaklıkları arasındaki dengeyi sağlamak
	Yeni yapıdaki neme önem vermek
	İç mekanı akustik açıdan konforlu duruma getirmek
Mekan Kurgusu ve Mimarlık	Oran ve ölçü uyumunu sağlamak
	Fiziksel ve ergonomik koşulları optimum duruma getirmek
	Beş duyu organını aktif hale getirmek
	Doğadaki renklerle uyumlu renkler ve titreşimsiz aydınlatma elemanı kullanmak
	Zanaatı ve yerel yapı kültürünü korumak
Çevre, Enerji ve Su	Enerji tüketimini azaltarak yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak
	Doğal kaynakları korumak
	İnşaat sürecinde çevreye zarar vermemek
	Yerel inşaat yöntemlerine öncelik vererek, malzemeleri yaşam döngüsüne göre seçmek
	Gerektiği kadar su kullanmak
Ekosoyal Yaşam Alanı	İnsancıl ve çevreyi koruyan yaşam alanları tasarlamak
	Kırsal ve kentsel yerleşim alanlarında yeşil alanları tasarlamak
	Ulaşılabilirliğe dikkat etmek
	İnşaat alanlarını gürültü kirliliği gibi etkenlerin olmadığı yerlerden seçmek

Yapı biyolojisinin temel ilkelerinin amacı:

1. Yapı ve biyoloji bilgilerinin yayılmasını sağlamak
2. Yapıların çevresel kirliliğe ve hastalıklara neden oluşunun farkında olunmasını sağlamak
3. Yapı ve biyoloji- sağlık arasındaki ilişkiyi göstermek
4. Araştırmalar ve uygulamaların artmasını sağlamak
5. Yapı olgusunun gelişimini sağlamak
6. Konuyla ilgili kişilerle birlikte olmayı sağlamak
7. Yapı malzemesi seçimi ve yapılarda uygulanmasında danışman olmak
8. Yapı kültüründeki biyoloji ve ekolojik yaklaşımların toplumda gelişmesini sağlamaktır (Akman, 2013).

Endüstrinin gelişimi ile doğal malzemelerden yapay malzemelere yönelim olmuş bu durum insan sağlığını olumsuz etkilemiştir. Doğadaki hava sürekli bir dönüşüm halinde olduğu için temizlenmektedir, yapı biyolojisi açısından iç mekanda hava sirkülasyonu sağlanmalıdır. Kapalı alanların havalandırılmaması boyaların, yapıştırıcı, halı gibi malzemelerin yaydığı kirli hava solunum yolu, alerji gibi rahatsızlıkları meydana getirmektedir. Günümüzde tercih edilen plastik doğramalar eski zamanda kullanılanlara oranla havalandırmayı yaklaşık 10 kat azaltmaktadır (Akman, 2013; Kokulu, 2017). Modern yapı malzemelerinin üretimi sürecinde iç hava kalitesinin düşürmekte ve yapılarda kullanılan yapay havalandırma sistemleri bağışıklığın azalmasına, motivasyon düşüklüğüne, çeşitli alerjilere, yorgunluk gibi belirtileri ortaya çıkararak Hasta Bina Sendromuna neden olmaktadır (Dietrich, 1990).

Malzemeleri seçerken bu yüzden yapı biyolojisinin önemi gözle görülür hale gelmiştir. İnsan ve yapı arasındaki ilişki çok boyutlu bir durum olduğu için yapı biyolojisi açısından detaylı bir şekilde ele almak gerekmektedir.

Şehirlerde bahçe, açık alan gibi ortak kullanım alanlarına uygun malzeme seçilmelidir. Çünkü şehirler kırsal yaşam alanlarına oranla yaklaşık 100 kat daha kirli bir havaya sahiptir bu yüzden mekanlardaki hava sirkülasyonu sırasında kendini temizleyen

malzemeler kullanılmalıdır. Temiz hava sirkülasyonuna sahip olmayan yerlerde oksijen giderek azaldığı için alerjileri tetiklemekte ve hücre yenilenmelerini azaltmaktadır (Akman, 2013).

Yapıda fazla miktarda bulunan nem bakteri, mantar gibi canlıların barınmasına, kötü koku oluşuna ve insanlar üzerinde küf mantarı alerjik reaksiyonlara neden olmaktadır. Yanlış malzeme seçiminden dolayı malzemelerden çıkan su buharı içerisinde betondaki katkı maddeleri, cila gibi kimyasal maddeler yer almaktadır. Hava koşulları ve doğal elektriksel iklim dengesinin değişimin bakteri ve virüs gibi canlıların artmasına; kolera, kalp problemleri, çocuk felci ve beyin zarı iltihabına neden olmaktadır. Elektrostatik olarak yüklenmeyen malzemelerden bazıları, mantar, ahşap, yün, kerpiç gibi malzemelerdir. (Akman, 2013).

Yapı biyolojisinde malzemenin değerlendirilmesi için aşağıdaki ölçütler belirlenmelidir:

- Yerel kaynaklardan temin edilebilir olması
- İnsan sağlığına ve yaşam konforuna etkileri
- Üretiminde gerekli olan enerji miktarı
- Üretim aşamasında kullanılır olması
- Üretimi kolay ve uygulanabilir olmasıdır (Eriç ve Ersoy, 1995).

Krusche ve arkadaşları 1982 yılında malzemeleri kullanılması gereken ve kullanılmaması gereken şeklinde ikiye ayırdığı aşağıdaki Çizelge 2.16'da yer almaktadır.

Çizelge 2.16. Kullanılması ve kullanılmaması gereken malzemeler (Krusche ve diğerleri,1982; Kokulu, 2017)

Kullanılması Gereken Malzemeler	Kullanılmaması Gereken Malzemeler
Duvar yapı malzemeleri olarak ahşap, tuğla ve kerpiç	Sentetik reçine esaslı boyalar
Zemin kaplaması olarak taş, ahşap ve muşamba	Polistiren ve sentetik köpük, fiberglas, genişletilmiş perlit
Yalıtım malzemesi olarak odun yünü ve saman	Sentetik halılar
Cephe malzemesi olarak pres tuğla ve ahşap	Tuile
Su bazlı boyalar	
Ahşap paneller, lambri, yüzey kumaş kaplamaları	
Yün ve keten halılar	

Betonlaşarak giderek yükselen yapılaşma koşulları doğal çevre ile uyumsuz ölçeklere bu da kapalı mekanların oluşmasına neden olarak psikolojik, zihinsel gelişimi olumsuz etkilemektedir. Oysaki doğa ile uyumlu yapılaşma yapı biyolojisi ve yapı kültürü için önemli bir etkidir.

Günlük yaşantımızın büyük bir kısmını geçirdiğimiz yapılarda insan sağlığına uygun olmayan malzemelerin kullanılması insan sağlığını olumsuz etkilemekte ve doğal çevremizi kirletmektedir, malzeme seçimlerini ekolojik dengemizi koruyacak şekilde yapmamız gerekmektedir. Bu yüzden:

- Yenilenebilir yapı malzemeleri örneğin mantar, saz, saman, yün, kenevir, ahşap gibi malzemeleri tercih etmelidir.
- Kolay ulaşılabilecek malzemeler kullanılmalıdır (kum, doğal taş, kerpiç vb.).
- Üretim uygulama geri dönüşüm gibi aşamalarda Enerji tüketimi düşük malzemeler tercih edilmelidir.
- Kendi içerisinde ısıtma aydınlatma gibi sistemleri kullanmalıdır (güneş- rüzgar enerjisi, atık ahşap ve tezek gibi).

- Çevre dostu atık malzemeleri yapılarda yeniden kullanmak (saman, kerpiç, kâmiş, ahşap vb.) gerekmektedir (Akman, 2013).

Yapı ve insan arasındaki olumsuzlukların giderilmesi için yapı bir bütün olarak ele alınarak Balanlı ve Taygun (2005)'e göre aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

- Yapıdaki sorunların kaynağı
- Kaynağa bağlı sorunlar
- Sorunlara bağlı insan sağlığına zarar verecek durumlar
- Meydana gelen sağlık problemleri şeklinde bir sıralama ile gidilebildiği gibi ya da tam tersi sıralama ile de gidilerek çözüme ulaşılabilmektedir.

Yapının yapılacağı alan belirlenirken doğal ve teknik bütün parametreler göz önüne alınmalıdır. Yapı plan kararları güneşlenme süresi, rüzgar yönü gibi veriler düşünülerek yapılmalı, üretiminde biyolojik çevreye zarar vermeyen malzemeler kullanılmalıdır (Dietrich, 1990). Güneş enerjisinden faydalanarak kendi enerjisini üreten, geri dönüşüme atıf yapan, çevreden alınan yeşil alanı geri veren tasarımlar doğa-biyoloji ve yapı üzerine sürdürülebilir farkındalığı arttırmaktadır.

Yapı biyolojisinde malzeme seçerken: çevreye zarar vermeyen, düşük enerji gerektiren, dayanıklı, geri dönüştürülebilen, radyasyon yayma oranı düşük olan, doğayı kirletmeyen, kolay ulaşılabilen, içerisinde zararlı kimyasal maddeler içermeyen, az işlenmiş malzemeler tercih edilmelidir (Kokulu, 2017).

Yapılı çevre insan sağlığı üzerinde fiziksel, psikolojik ve sosyolojik etkiler bırakmaktadır bu etkileri en aza indirmek için yapı biyolojisini yapılı çevremize entegre ederek karar vermemiz gerekmektedir. Daha yaşanılabilir bir gelecek için farklı disiplinler arası çalışmalarla yapı ve biyoloji arasındaki ilişkiyi yeniden keşfetmek gerekmektedir.

2.3.3. Malzeme üretimi açısından mimarlık ve biyoloji ilişkisi

Mimarlık tarihi süresince tasarım form ve malzeme arasında bir etkileşim olmuştur. Form ve malzemenin birlikte geliştiği geleneksel düşüncesinin aksine modern tasarımlar ile birlikte aralarındaki ilişki uzaklaşarak bağımsız bölümler haline gelmesiyle sonuçlanmıştır (Oxman, 2014; Sennett, 2008).

Sanayi devrimi el yapımını zanaattan uzaklaşarak hızlı, seri, ucuz, modüler üretimin yerini aldığı Fordist sistem ortaya çıkmış fakat teknolojinin gelişmesi tasarım ve yapımın bilgisayar destekli tasarım ile güçlenmesini sağlamıştır. Sanki analogdan dijital çağa geçişi andıran dijital devrimle çizim fiziksel gerçekliğinden farklılaşarak tasarımsal anlamda özgürlük getirmiş ancak form ve malzeme arasındaki uzaklaşma giderek artmaya devam etmiştir. Mimarlıkta gelişmiş hesaplamalı tasarım araçlarının kullanımı geometride karmaşık şekillerin kullanımına yaratıcılığın artmasına ve tasarımın serbestleşerek sıra dışı olmasına olanak sağlayarak Sanayi Devrimi neticesinde ortaya çıkan makineleşmiş dünyaya karşı dünyaya yeni bir bakış açısı getiren organizma olarak dünya ortaya çıkmıştır. Dijital çağın getirisi olan teknolojik gelişmeler biyolojik çağ olarak adlandırılan yeni bir çağı başlatmakta ve yeni bir tasarım kültürünü oluşturmaktadır. Bu çağ doğa ile üretimi mümkün kılmakta, günümüzde teknolojinin de kullanımıyla yenilikçi malzemeler olan biyomalzemeler üretilmekte, duyarlı ve kompozit malzemeler gelişmektedir. Örneğin mikroorganizmalar ile inşaat malzemeleri ve giysiler tasarlanmakta, nişasta plastiğe dönüşebilmektedir. Malzeme ve dijital üretim üzerinde farklı disiplinlerden kişilerin malzeme bilimi üzerinde bir arada çalışması; malzeme, biyoloji, tasarım, çevre gibi farklı bileşenlerin bir araya gelmesi malzeme ekolojisi terimini ortaya çıkarmıştır (Oxman, 2016b; Oxman, 2014).

Bir yapının yaşaması aslında bizim kültürümüze ve mimarlık algısına çok da uzak değildir. Çünkü tarihi bir yapıyı düşündüğümüzde yapı eğer kullanılırsa ayakta kalmakta fakat kullanılmadığında bir canlı gibi yaşamını tamamlamakta ve yıkılmaktadır. Yapılar ve insanlar birbirine böylesine benzerken neden yapılarımız yaşamasın, malzemeler kendi kendine büyümesin ve doğadan üretilmesin?



Şekil 2.31. Malzeme ekolojisi (Oxman, 2016c)

Neri Oxman' a göre (2010) malzeme ekolojisi “Ürünler, binalar, sistemler ve çevreleri arasındaki bilinçli ilişkileri ifade eden tasarımda gelişmekte olan bir alandır.” Biyoloji, malzeme bilimi ve mühendisliği, mimarlık, bilgisayar biliminin ortak çalışması sonucu dijital hesaplamalı tasarım ve malzeme üretim, tasarım süreçlerini inceleyip uygulayan bir alandır. Malzeme ekolojisi, mimarlık ve biyoloji arasında kurduğu ilişki doğayı hammadde olarak görüp tüketmenin ötesinde doğayı iyileştirip biyolojik bir kaynak oluşturmayı önermektedir. Biyolojik sistemlerin yani biyolojik olarak sentezlenip aşağıdan yukarıya büyümesiyle, katmanlı olarak yukarıdan aşağıya üretilen formun birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Malzeme ekolojisi mimarlığa yansımaları karbondioksiti emerek fotosentez yapan cephelere, mantarlardan üretilen sürdürülebilir yapı malzemelerine, atıktan ya da bakterilerden üretilen kıyafetlere ve daha birçok farklı tasarıma dönüşmektedir. Biyolojik çağ yapıların büyüyebileceği, hasarlarını onarabileceği, doğaya yeniden katılıp yok olabileceği yeni bir gelecek oluşturmaktadır (Oxman, 2016b; Oxman, 2014).

Neri Oxman ve The Mathworks ekibi tarafından Bitmap Printing geliştirilmiştir. Bitmap Printing, biyolojiden ilham alarak katmanlı üretimi sağlayan voksel (3-D piksel) ve maksel (malzeme-voksel kelimesi birleşimi) kavramlarını barındıran malzeme tasarımları için geliştirilen teknoloji ve tasarım yaklaşımıdır. Bu sayede tasarımcılar form oluştururken malzeme özelliklerini ve davranışlarını dahil ederek hesaplayabilecektir. Ekip insan vücudunun esnekliğini, rahatlığını ve fonksiyonunu desteklemek için tasarım yaparken birçok işlevi içeren malzemeleri uygulamak

amacıyla 18 prototip üretilmiştir (Şekil 2.32). Bunun için insan vücudunun anatomik ve fizyolojik haritasının analizi ve sentezi yapılmıştır. Bitmap Printing 3 boyutlu yazılımı sağlayan dijital üretim yöntemi ile malzeme bileşenleri tasarlanarak basılmıştır. Aşağıda insan kafatasının yumuşak ve sert dokusunun anatomik ve fizyolojik analizler ile incelenerek Bitmap tekniği kullanılarak üretilmiş bir prototip yer almaktadır (Oxman, 2014).



Şekil 2.32. Doku bileşimlerinin malzeme özelliklerine yansması ile yapılan kask tasarımı (Oxman, 2014)

Kahn için tuğla, Oxman için vokselle aynı şeydir. Çünkü bir piksel ne olmak istiyor sorusunu yönelterek maddi bir ekolojiye geçmekte böylece malzeme biliminin fiziksel özelliklerine çevre koşulları eklendiğinde kendini organize edebilen bu malzeme biliminin kullanımı tasarım, analiz ve üretimi birleştirmektedir. Sonuç olarak madde, tasarım ve üretimin bir araya gelmesiyle mimari tasarımda malzeme ekolojisi yani yapay olanın ekolojisine ulaşılmayı sağlayacaktır (Oxman, 2014). Malzeme ekolojisi kapsamında mimarlık ve biyoloji arakesitinde ve biyomalzemeler üzerine yapılan çalışmalardan biri Sentetik Arı Kovanları I-II projesidir.



Şekil 2.33. Sentetik Arı Kovanları I (Oxman. 19 November 2021)

Sentetik Arı Kovanları I çalışmasında Neri Oxman ve The Mediated Matter Group 2016'da biyoçeşitliliğin sürdürülebilirliğini sağlayan bal arılarının balmumu ile

oluşturdukları yapıları incelemiş, çalışmalarını gözlemlemek için ışık, nem, sıcaklık gibi faktörlerin uygun koşullara getirildiği bahar ortamının simüle edildiği alan tasarlanmıştır (Şekil 2.33). Bu sayede insan-arı ilişkisi, arıların sağlıkları ve yapı yapma biçimlerinin gözlemlenmesine olanak sağlamıştır. Çünkü insanlar yaşamı boyunca doğadaki sistemi ve canlıları izleyerek öğrenmiş, hayatta kalmış ve sürü davranışı göstermiştir. Arılarda tıpkı mimarlar gibi kovanlarını inşa etmek için balmumunu kullanıp sürü zekası ve kollektif çalışma ile ihtiyaçları olan yapılar üretmektedir. Öyleyse biz de onları anlayıp bunu yapılarımıza nasıl uygulayabileceğimizi öğrenebiliriz düşüncesi ile yola çıkmışlardır (Oxman, 2021a). Yukarıdaki Şekil 2.33’de arılar ve insanların ortak çalışması sonucu üretilen yapılar ilk görselde bulunmaktadır.



Şekil 2.34. Peteklerin hesaplamaları analiz verileri ve balmumu hücresel özellikleri (Oxman. 19 November 2021)

Sentetik Arı Kovanları II, bal arıları ve insan işbirliğiyle ortak üretim üzerine yapılmış Sentetik Arı Kovanları I’in devamıdır (Şekil 2.34). Bu çalışmada bal arıları ve insanlar arasında bir dil geliştirilmeye çalışılmış böylece insan ve arı iş birliği ile kovanlar üretilmiştir. Arıların ürettiği kovan yapısı yüksek verimli X-ışını bilgisayarlı tomografi (CT) taramaları ile analiz edilmiştir. Böylece arıların tasarım süreçlerinin gözlemlenmesi ile oluşan yeni dil biyoyumlu yeni malzemeler üretmek için mimarlık, mühendislik ve pek çok disipilin işbirliği içerisindeki çalışmalarla yeni biçimler ortaya çıkarılmıştır. Sonuç olarak doğanın dilini öğrenirsek; kendi yapılarımızı doğa ile uyumlu hale getirebiliriz sonucuna ulaşılmıştır (Oxman,2021a).

Bizler biyoloji ve mimarlık arakesitinde yapılan çalışmalarda bu etkileşimden yararlanmalı ve daha sürdürülebilir gelecek için tasarımlarımızda, malzemelerimizde ve yapılarımızda yer vermeliyiz.

2.4. Biyomalzemeler

Biyomalzemeler insan vücudundaki zarar gören ya da işlevini devam ettiremeyen dokuların görevlerini yapmak için kullanılan doğal ve sentetik (yapay) olarak ayrılan malzemelerdir (Güven, 2014). Amerikan Ulusal Sağlık Enstitüsü'ne göre biyomalzemeler; kişilerin yaşam kalitesini yükseltmek için vücuttaki var olan bir doku ya da organın görevini belli bir süre ya da kalıcı olarak sürdüren doğal ya da yapay şekilde üretilmiş malzeme ve malzeme çeşitleridir (Williams, 1999).

Biyomalzeme kavramı ile birlikte sık sık kullanılan kavramlardan bir diğeri biyoyumluluktur. 1970 yılında RJ Hegyeli ve CA Homsy tarafından kullanılan bu kavram biyomalzemenin vücuda uyum sağlaması, alerji, iltihaplanma gibi reaksiyon göstermemesi olarak açıklanmaktadır. Biyomalzemelerin vücut içerisinde üzerine alacağı yüklere karşı dayanımı yüksek olması onun aranan özelliklerinden biridir (Güven, 2014).



Şekil 2.35. Biyomalzeme örnekleri (URL 33-41)

Günlük hayatımızda kullandığımız lensler, diş implantları, ameliyat iplikleri, kalp standleri birer biyomalzeme örneğidir (Şekil 2.35). Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu alanda yapılan çalışmalar, yöntemler gelişmiştir. Bugün biyomalzemeler tıp, kimya, biyoloji, mühendislik, mimarlık gibi farklı pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Biyomalzemelerin en yaygın kullanımı sağlık alanıdır çünkü ilk örnekleri bu alanda bulunmaktadır.

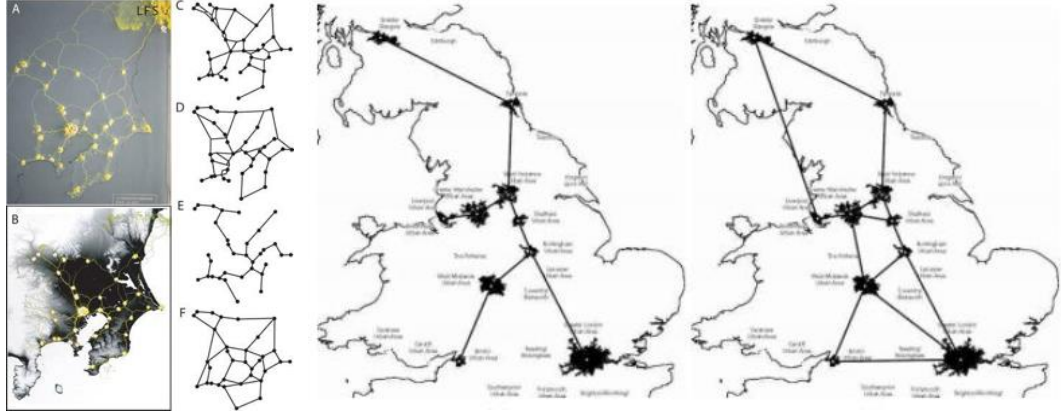
Biyomalzemeler eski dönemlerde harç içerisinde hayvan kılları eklenerek elde edilmesi geçmişten kullanımına bir örnek ve kullanımının eski zamanlara dayandığını göstermektedir. 1938 yılında Henry Ford araba gövde panelinde soya fasulyesi esaslı reçine kullanmıştır (Netravali ve ark., 2003). Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ilk örnekleri sağlık alanında olan biyomalzemelerin kullanımına alternatif çalışmalar; mimarlık, mühendislik, otomotiv, gıda, ambalaj gibi pek çok alanlarda gelişim göstermiştir (Hazar Yoruç ve Uğraşkan, 2018).

Tekstil alanında miselyum esnek, yumuşak kolay üretilabilir bir malzeme olduğu için ayakkabı, kıyafet gibi farklı tasarımlarda yer almıştır. Sürdürülebilir tasarım ve malzeme arayışları sonucu Philip Lim ve McCurdy tasarımı elbise, alglerin ısıtılıp kalıplanmasıyla elde edilen biyoplastik payetler bitki liflerinden elde edilen bir taban üzerine dikilerek elde edilmiştir (Şekil 2.36) (Hahn, 2021).



Şekil 2.36. Tekstil ürünleri tasarımında kullanımı (Hahn, 2021)

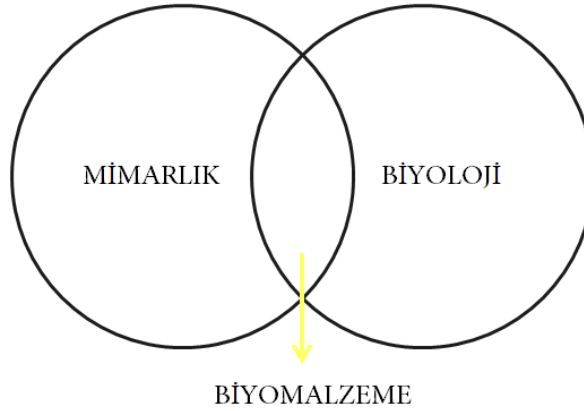
Nagakaki ve Toth (2000) cıvık mantarlar üzerinde labirent çözme deneyi tasarlamışlardır. Bu deney kapsamında tasarladıkları labirentin giriş ve çıkışına besin koyarak cıvık mantarları gözlemlemişlerdir. Cıvık mantarlar besine ulaşmak için labirenti çözmüşlerdir, buradan ilham alarak mühendisler de Tokyo ve çevresindeki şehirlerin haritası üzerinde ağ haritaları oluşturmak cıvık mantarla deneysel çalışmalar yaparak onların yayılımını izlemişlerdir. Cıvık mantarlar tarafından üretilen ağın Tokyo metrosuna benzediği görülmüştür cıvık mantarların oluşturduğu bu ağ matematiksel bir veri barındırmaktadır. Mantarların iki besin arasındaki yolları değerlendirerek çok kısa sürede en kısa yolu bulduklarının belirlenmesi bu mantarların oluşturacağı ağlardan afet gibi olağanüstü durumlarda yararlanılabileceğini ortaya koymuştur (Şekil 2.37).

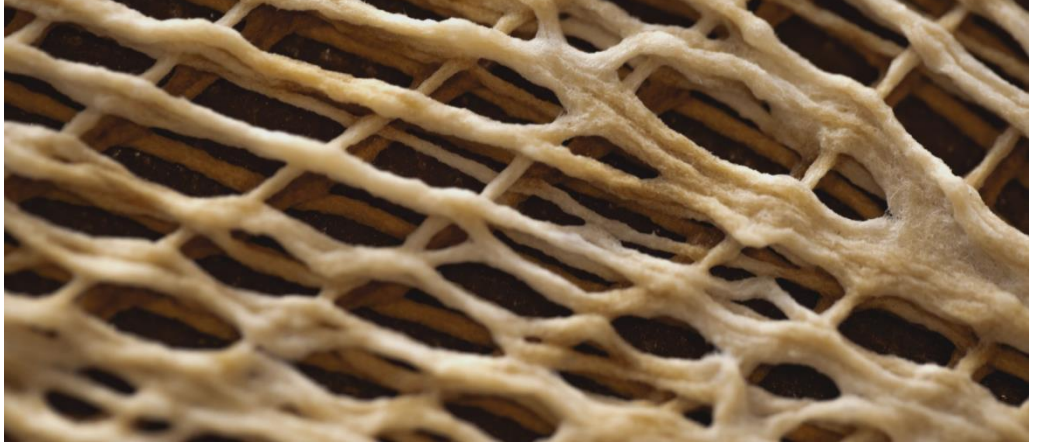


Şekil 2.37. Kentsel tasarım alanında kullanımı (Nagakaki ve Toth, 2000)

Mimarlıkta biyomalzemeler çalışmaları son yıllarda çalışılmaya başlanmıştır, biyomalzemeler sürdürülebilir malzeme üretimi konusundaki yapılan çalışmaların bir bölümüdür (Çizelge 2.17). Biyomalzeme araştırmaları biyoloji ve mimarlık alanının ortak çalışmasıdır. Bu yaklaşım ve uygulamaların gelişmesi ile mimarlık alanının biyoloji, çevre mühendisliği gibi farklı disiplinlerle birlikte çalışması gerekmektedir.

Çizelge 2.17. Mimarlık ve biyoloji





Şekil 2.38. Biyomalzemeler (URL 42)

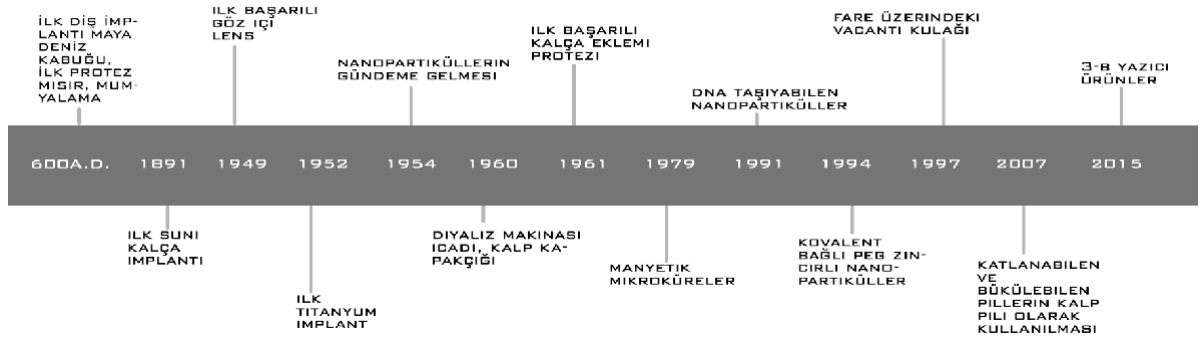
Biyomalzemeler sağlık alanında cansız bir malzemenin mevcut canlı doku ya da organ ile uyumluluk göstererek hasar görmüş ya da kaybolmuş canlı bir doku ya da organ yerine kullanımı uygun olan malzemelerdir. Bu alanda cansız bir malzeme, yaşayan bir sistemin parçası olarak sistemin çalışmasını sürdürmesini sağlar ve biyomalzeme olarak tanımlanmaktadır (Güven, 2004).

Mimarlık alanında ise cansız bir yapı elemanına ya da yapı malzemesine, canlı organizmalar entegre edilerek elde edilen malzemeler biyomalzeme olarak adlandırılmaktadır (Ataç, 2019). Biyomalzemeler çevreye zarar vermeme, termal konforu sağlama, karbon ve enerji emisyonunu azaltma, fotosentez ile kendini yenileyebilme gibi özellikleri barındırdığı için sürdürülebilir malzemelerdir (Yadav ve Agarwal, 2021).

2.4.1. Biyomalzemelerin tarihsel gelişimi

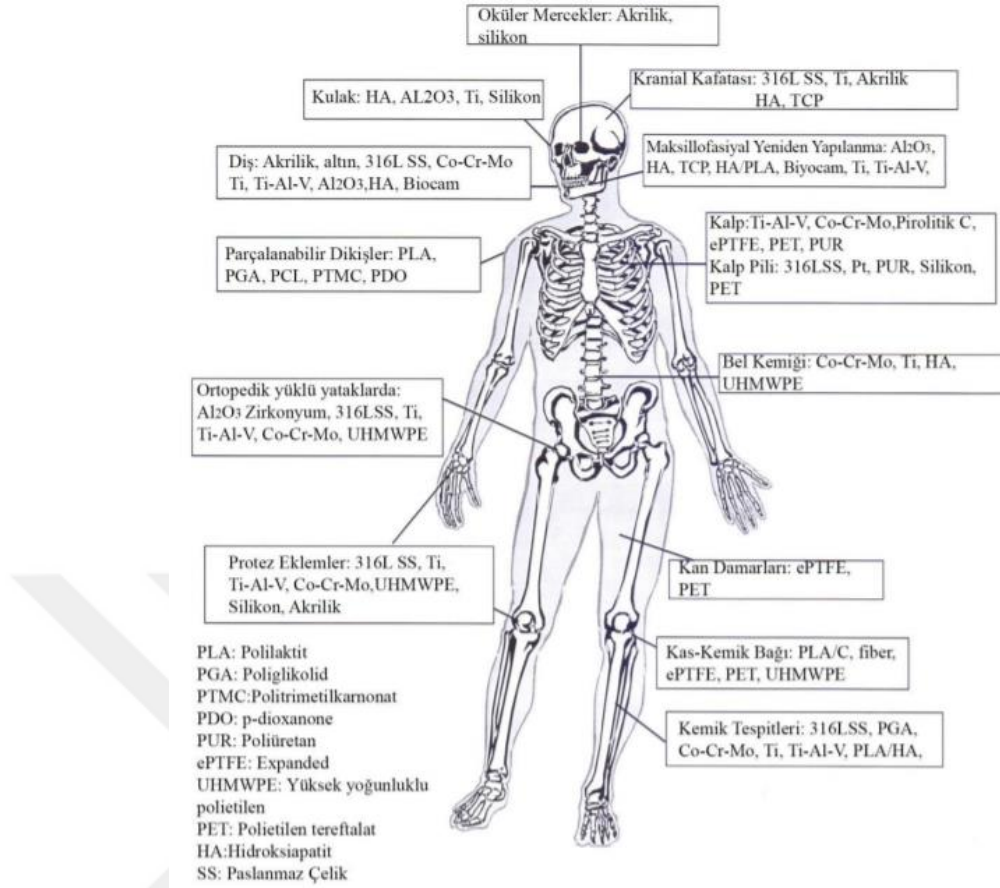
Biyomalzemeler farklı formlarda insanlık tarihinde binlerce yıldır kullanılmaktadır. Fakat geçen yüzyıla gelindiğinde biyomalzeme biliminde yoğunlaşan ilgi ile beraber kullanılan yöntemler ve malzemelerde gelişmeler yaşanmış ve biyomalzeme bilimini ortaya çıkarmıştır (Güven, 2014).

Çizelge 2.18. Biyomalzemelerin tarihsel gelişimi (Garipcan, 2018)



Biyomalzeler tarih öncesi devir, cerrahi kahramanlık devri, mühendislik devri ve modern devir olarak dört döneme ayrılmaktadır. İlk biyomalzemeleri Mayalar diş implantında deniz kabuğu kullanarak, Mısırlılar ise mumyalama işlemlerinde ve ilk ahşap protezde kullanmışlardır. Amerika’da arkeologlar erkek bir kişinin kalçasında 900 yıllık tarih öncesi devire ait biyomalzeme örneği bulmuşlardır. Milattan sonra 200’lerde demirden, Mayalarsa 600’lerde deniz kabuklarından elde ettikleri ilk diş implantlarını kullanmışlardır. 1880’de fildişi protezler, 1938’de vitalum alaşımdan ilk metal protez üretilmiştir. Fakat metal vücut içerisinde korozyona uğradığı için 1972 yılında seramik olan alimüna ve zirkonya biyomalzemeleri kullanılmaya başlanmıştır. 1900’lü yıllara kadar biyomalzeme çalışmalarında ilerleme olmamıştır. Sanayi devrimi ile teknolojinin gelişmesi sonucu bu alanda yapılan çalışmalarda artmıştır (Çizelge 2.18) (Garipcan, 2018).

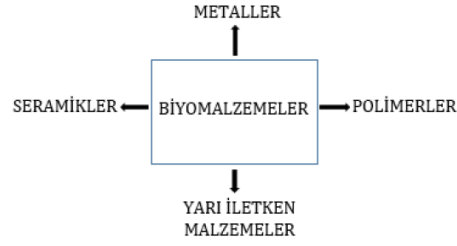
İlk yapay kalp çalışmaları organlara pompalar ile kanı pompalama üzerine yapılan deneysel çalışmalar 1828-1868 arasında devam etmiş, Etienne-Jules Marey 1881’de yapay kalbi tasarlamıştır. 1950’lerde yapay kalp patenti Dr. Paul Winchell almıştır (Akyıldız, 2014; Ratner, Hoffman, Schoen, ve Lemons, 1996).



Şekil 2.39. İnsan vücudunda kullanılan biyomalzemeler (Güven, 2014)

2. Dünya Savaşında askerlerin gözlerinden yaralanmış askerlerin uçak içerisindeki plastik malzemelerden yaralansalar da vücutlarının tepki göstermemesi üzerine biyomalzemelerin optik alanda kullanımı hakkında çalışmalar başlamıştır. 1940'da Harold Ridley tarafından göz lensi icat edilmiştir. 1949 yılında ilk başarılı göz içi lens uygulaması yapılmıştır. 1950 yılında yapay kan vanaları geliştirilmiş ve kan damarları değişimi konusunda çalışmalar yapılmış, 1952 yılında ilk titantum implant, 1954 yılında nanaopartiküllerin gündeme gelmesi gibi çalışmalar şeklinde devam etmiş ve kalça protezi ise 1960'larda kullanılmıştır. 2. Dünya Savaşından sonra damar protezlerinde paraşüt bezi kullanılmıştır. 1970 yılında sentetik ameliyat ipliği geliştirilmiştir. Biyomalzemeler aynı zamanda tıbbi cihazlarda da kullanılmaktadır. 2015 yılında 3B yazıcıların kullanılması ile de bu çalışmalar devam etmiştir (Akyıldız, 2014; Gümüşderelioğlu, 2002; Ratner, Hoffman, Schoen ve Lemons, 1996).

2.4.2. Biyomalzemelerin sınıflandırılması



Şekil 2.40. Biyomalzeme ana grupları (Güven, 2004 kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır)

Biyomalzemeler sağlık (tıp) alanında metalik biyomalzemeler, biyoseramikler, biyokompozitler ve polimer biyomalzemeler olarak dört ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 2.40) (Güven, 2014).

Metalik biyomalzemeler, alerjik reaksiyon gösterme, korozyona uğrama özellikleri olmasına karşı dayanımı yüksek olması ve kolay şekil almasından dolayı en çok kullanılan biyomalzemelerdir ortopedik ve dental implant gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Biyoseramikler malzemeler, alerjik reaksiyon göstermeyen, biyouyumluluğu yüksek, hafif, aşınmaya dayanıklı ve paslanmayan malzemelerdir. Kalça protezlerinde, çatlak ve kırık kemik onarımında, diş implantları, gözlük camında, termometre gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Biyoseramiklerin basınca dayanımı yüksek olduğu için implant ve kalça protezi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Biyopolimerler, monomer malzemelerin birleşimi ile oluşan farklı kullanım alanlarına sahip malzemelerdir. Göz lenslerinde, solunum cihazlarında, damar protezlerinde vb. kullanılmaktadır. Kompozit biyomalzemeler, matris olarak adlandırılan cam, toz seramik, polimer gibi malzemeleri içerisine güçlenmesi için çeşitli malzemeler eklenmesi ile oluşan malzemelerdir. Bu malzemelerin dayanımı yüksektir, korozyona dayanımlıdır ve yumuşak doku implatlarında, diş ve ortopedi çalışmalarında kullanılmaktadır (Güven, 2014).

Mimarlık alanı özelinde biyomalzemeler; yenilenemeyen kaynakların azalıyor oluşu alternatif malzeme arayışlarına sevk etmiştir. Bu nedenle doğal kaynaklara yönelim olmuştur (Campilho, 2015). Bunlardan biri de biyomalzemelerdir. Biyo-bazlı malzemeler kısa döngüler oluşturmakta ve bu döngüleri sonlandırdığı için döngüsel ekonomi terimi ile ilişkilendirilmektedir. Fosil yakıtlar doğada uzun yıllar gerekirken biyomalzemer 100 yıldan daha kısa sürede yok olmaktadır. Kendi yapı malzemelerimizi yetiştirdiğimizi bir düşündüğümüzde mimarlık alanı için farklı ufuklar açabileceğini öngörmemiz mümkündür. Bu malzemeler sera gazlarını ve enerji tüketimini azaltırken yaşam döngüleri boyunca çevreye fosil yakıtlara oranla daha az kirletici ürünler bırakmaktadırlar. İç mekandaki sıcaklık ve nemi dengeleyen, nefes alabilen, insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyen malzemelerdir. Üzerinde giderek artan çalışmaların yapıldığı biyomalzemler iki gruba ayrılmaktadır:

- Geleneksel (konvansiyonel) biyomalzemeler
- Canlı organizma kullanılarak üretilen biyomalzemeler

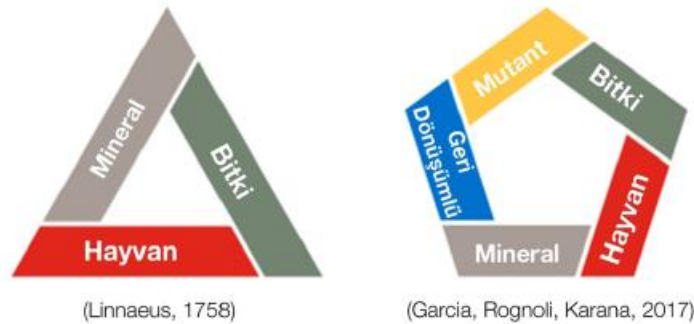
Geleneksel biyomalzemeler hayvansal ve bitkisel ürünlerden elde edilebilen doğada parçalanabilen malzemelerdir. Canlı organizma kullanılarak üretilen biyomalzemeler ise üzerinde çalışmaların yapıldığı inovasyona sahip malzemelerdir. Bu malzemeler biyolojik kökenli malzemelerin biyorafine (biyolojik kökenli maddelerin işlenerek katma değeri yüksek ürünlerin elde edilme süreci) ile ekstakte edilmesiyle elde edilmektedir (District, 2014). Biyomalzemelerin sınıflandırması üzerine yapılmış ulusal ve uluslararası kaynaklarda yer alan çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 2.19. Doğal liflerin sınıflandırılması (Doğal Lifler, 2014)

Doğal Lifler		
<i>Bitkisel Lifler</i>	<i>Hayvansal Lifler</i>	<i>Madensel (Mineral) Lifler</i>
Tohum Lifleri (Pamuk vb.)	Kıl Kökenli Lif (Yün vb.)	Asbest vb.
Gövde Lifleri (Kenevir, Keten vb.)	Salgı Kökenli Lifler (Doğal ipek)	
Yaprak Lifleri (Sisal vb.)		
Meyve Lifleri		
Ahşap Lifleri		

Campilho (2015)'ya doğal lifler kökenine göre lignoselülozik, hayvansal ve mineral lifler olarak ayrılmaktadır (Çizelge 2.19). Selüloz lifleri odun dışı ve odun lifleri olarak ayrılmaktadır. Bitkisel lifler selüloz, hemiselüloz, lignin ve pektinden oluşur. Odun dışı lifler tohum, yaprak, gövde, meyve ve sap olarak ayrılmaktadır. Sandak ve ark. (2019)'a göre biyomalzemeler doğal kaynaktan elde edilen biyomalzemeler (kereste) ve odun dışı biyomalzemeler olarak ayrılmaktadır. Odun dışı biyomalzemeleri kenevir, saman, kamış, bambu- rattan, çim, hayvanlardan elde edilen kıl-tüyler ve kullanımı yeni gelişen miselyum olarak sınıflandırmaktadır. Yadav ve Agarwal'a (2021) göre biyomalzemeler midye kabuğu, saman, keten, kenevir, kereste, miselyum, kamış olarak yediye ayrılmaktadır.

150'den fazla çalışmanın analiz edilmesiyle geliştirilen araştırmada ise malzemeleri sınıflandırırken XVII yüzyılın sınıflandırmasını yapan Carolus Linnaeus'un Linnaeusun Taksonomisi olarak bilinen sınıflandırmadan ilham alınmıştır (Şekil 2.41). Linnaeusun Taksonomisine göre doğa bitki, hayvan ve mineralden oluşmaktadır. Aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere çalışma sonucunda sınıflandırmaya geri dönüşümlü malzeme ve mutant malzeme kavramları da dahil edilmiştir. Geri dönüşümlü malzeme: organik atık, plastik, metal gibi atık olarak adlandırılan ve geri dönüştürülerek kaynak olarak kullanılabilecek malzemeleri içermektedir. Mutant malzemeler farklı teknolojiler, karışımlar ve akıllı sistemlerin melezleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir (Garcia, Rognoli ve Karana, 2017).

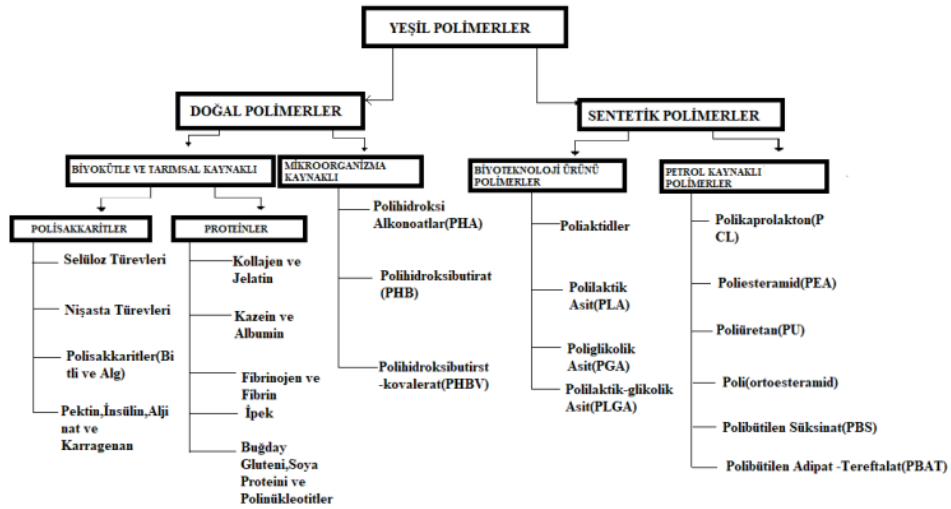


Şekil 2.41. Malzemeleri sınıflandırma çizelgesi (Garcia, Rognoli ve Karana, 2017)

Biyomalzemelerden biyokompozit malzemeler üretmek mümkündür. Farklı iki malzemenin birleşimiyle elde edilen yeni özellikler gösteren malzemeler kompozit malzeme olarak adlandırılmaktadır. Biyokompozit malzemeler (yeşil kompozit) reçine ve biyobazlı liflerin birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bambu, keten, yün, ipek gibi biyobazlı lifler bitki ve hayvanlardan elde edilmektedir. Biyokompozit malzemeler yenilebilir, bertaraf edilebilir, yeniden kullanılabilir ve sürdürülebilir olması gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda üzerinde yapılan çalışmalar artmaktadır. Biyokompozit malzemelerde kullanılan lifler, kompozit malzemenin yapısal yüklerini taşıyan ana malzemelerdir. Sentetik ve doğal lifler olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Sentetik lifler, petrol ve kimsayal türevli liflerden oluşmaktadır. Doğal lifler yukarıdaki tabloda gösterildiği gibi bitkisel, hayvansal ve madensel lifler olarak üçe ayrılmaktadır (Yıldızhan ve ark., 2018).

Biyokompozit üretiminde kullanılan biyopolimerler, mikroorganizmalar tarafından parçalanıp ve çevreye zarar vermeyen bu yüzden de yeşil metaryal olarak da isimlendirilen malzemelerdir. Biyopolimerler bitki, mantar, organizma gibi biyolojik kökene sahip bileşenler içermektedir. Biyopolimerler doğal ve sentetik polimerler olarak ikiye ayrılmaktadır (Çizelge 2.20). Sentetik polimerler doğal polimerlerin aksine doğal malzeme bazlı olmayıp, belli koşullar altında üretilen ve göstereceği davranışları tahmin edilebilen malzemelerdir (Hazar Yoruç ve Uğraşkan, 2017).

Çizelge 2.20. Yeşil polimerlerin sınıflandırılması (Hazar Yoruç ve Uğraşkan, 2017)



Mimarlık alanında biyomalzeme üzerine yapılan çalışmaları aşağıdaki gibi ikiye ayrılmak mümkündür: Mimarlık alanında yapılan biyomalzeme çalışmalarını tez kapsamında geleneksel yöntemlerle üretilen biyomalzemeler ve canlı organizma kullanılarak üretilen biyomalzemeler şeklinde ayrılması planlanmıştır (Çizelge 2.21). Geleneksel biyomalzemeler başlığı altında bitkisel (tarım atıkları vb.) ve hayvansal olarak elde edilen biyomalzeme çalışmaları yer almaktadır. Gelişen biyomalzemeler başlığı altında; bakteri, alg ve mantarlar ile yapılan biyomalzeme çalışmalarına yer verilmiştir.

Çizelge 2.21. Biyomalzemelerin sınıflandırılması (Yadav ve Agarwal,2021; Sandak ve ark., 2019; District, 2014 kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır)

Geleneksel (Konvansiyonel) Biyomalzemeler	Canlı Organizma Kullanılarak Üretilen Biyomalzemeler
Saman	Bakteri çeşitleri ile yapılan biyomalzeme çalışmaları
Keten	Algler ile yapılan biyomalzeme çalışmaları
Kenevir	Mantarlar ile yapılan biyomalzeme çalışmaları
Ahşap	
Kamış	
Çim	
Bambu rattan	
Hayvanlardan elde edilen tüyler	

Geleneksel (Konvansiyonel) Biyomalzemeler

Geleneksel biyomalzemeler elde edildiği kaynak şekline göre kendi içinde;

- bitkisel (tarım atıkları vb.)
- hayvansal (deniz canlısı kabuğu atıkları, yün vb.) olarak ikiye ayrılmaktadır.

- Bitkisel lifler ile yapılan biyomalzemeler:

Saman: İnsanların çevrelerinden temin edebilecekleri ulaşımı ve erişimi kolay, yapım ve bakım maliyetleri uygun malzemedir (Şekil 2.42). Saman çamurun çatlamasını engellemek için geleneksel ve eski yapıların çatılarında, duvarlarda kullanılmıştır. Bu malzeme uygun şekilde kullanılırsa uzun ömürlü, dayanımı yüksek, nefes alabilen, dayanıklı, yalıtım sağlama özelliklerini göstermektedir (Yadav ve Agarwal, 2021). Saman balyaları dışardan gelen havanın içeriye girmesini engelleyerek iç mekan sıcaklığını sabit tutmaktadır ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yalıtım için samandan sıkıştırılmış balyalar ile sert paneller üretilmektedir (Rabbat ve ark., 2022). Depreme karşı saman balyaları esnek ve dayanımlı özellik göstermektedir. Ahşap, metal gibi elemanlar ile desteklendiğinde balya dolgulu kısım deprem yüklerine karşı esnek davranış gösterdiği için kırılmaları engellemektedir. %20 oranında ıslanan balyaları çürüyebilmektedir ancak bu oranın altında olduğunda mantar ve çürüme meydana gelmemektedir. Saman balyaları sıkı bir şekilde örüldüğünde tutuşmaktadır ve üzeri sıvandığında böcek, kemirgen gibi canlıların içerisine girmesi engellenmektedir. (İrklı Eryıldız ve Başkaya, 2013).



Şekil 2.42. Yapılarda saman kullanımı (URL 43; Yadav ve Agarwal, 2021)

Keten: Lif bitkileri içerisinde yer alan keten, Türkiye’de birçok farklı iklim bölgesinde yetiştirilebilmektedir. Keten bitkisi tekstil, yağ, boya, biyoyakıt üretimi, otomotivde yalıtım malzemesi, kompozit malzeme gibi farklı kullanım alanlarına sahiptir (Yılmaz ve Uzun, 2019). Keten levhalar keten bitkisinin saplarından elde edilen talaşların ve yapay reçine ile birleşimiyle üretilmektedir. Bu malzeme kapı bölmelerinde, bölme duvarlarda, masalarda, yangına dayanıklı kapılarda kullanılmaktadır (Şekil 2.43). Hafif bir malzemedir, ağır yükler taşımaya elverişli değildir. Keten lifleri çimento esaslı malzemelerde katkı malzemesi olarak kullanılabilir (Yadav ve Agarwal, 2021).



Şekil 2.43. Ketenin kullanımı (Yılmaz ve Uzun, 2019)

Kenevir: Gübreleme ve sulamayla bakımı yapılırsa dört ayda dört metre yüksekliğe ulaşabilen hızlı büyüyen bir bitkidir. Sıcak ve soğuğa karşı dayanıklı bir malzemedir. İçerisinde düşük miktarda protein barındırdığı için böcekler tarafından istila edilmemektedir. Dünyada İngiltere, Fransa, Almanya ve Hollanda en çok kenevir üretimi yapan ülkelerdir (Demir ve Doğan, 2020). Türkiye’de kenevir üretimi 1946 yılında Sümerbank’ın Taşköprü’de kurulan ve 1951’de kapanan kenevir fabrikası ile başladığı bilinmektedir. Kastamonu’da kurulan Kendir Sanayii Müessesesi ile jüt ithal edilmiştir. 1976’da Seka tarafından Taşköprü’de kağıt üretmek için kurulan fabrika 1998 yılında özelleştirilmiş 2004 yılında satışı gerçekleşmiştir (Ulaş, 2019). Türkiye’de kenevir üretimi 1980 yılında en çok 14.000 ton iken giderek azalmış 2017 yılında 8 ton üretim yapılmıştır (Kurtuldu ve İşman, 2019). 2016 yılında çıkarılan kanunla 19 il ve ilçede kenevir yetiştirilebilmektedir (Kenevir Yetiştiriciliği Ve Kontrolühakkında Yönetmelik, 2016). Günümüzde belediye, resmi kurum, vakıf ve üniversiteler tarafından kenevir üretiminin gelişmesi için çalışmalar yürütülmektedir (Kurtuldu ve İşman, 2019).



Şekil 2.44. Mimarlıkta kenevirin kullanımı (Kurtuldu ve İşman, 2019; Golebiewski, 2017; URL 44)

Su, kireç ve kenevir karışımıyla oluşan Hempcrete olarak adlandırılan malzeme, beton ağırlığının sekizde biri kadardır ve dolgu duvarların inşasında kullanılmaktadır (Şekil 2.44). Kenevir bitkisi hızlı büyümesi, hafif oluşu, içerisindeki kireç sayesinde havadaki karbonları tutarak karbon emisyonunu azaltması ve yapılarda kullanılan enerjiyi azaltması sayesinde çimento türevi ve doğadaki ağaçların kesimine neden olan ahşap malzemelere alternatif olarak çeşitli panellerde yapısal bloklarda kullanılabilir. Aynı zamanda kenevirin duvarlarda kullanımı tuğla gibi malzemelere kıyasla termal performansı arttırmaktadır. Yangına ve küflenmeye dayanıklıdır. Kenevir uzun süre suya ve neme maruz kalmazsa yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Sıva ile birleştiğinde sızdırmazlığı azaltarak yağmurdan korumaktadır. Kenevir agreganın esnekliğini çimentonun sertliğini barındıran kırılğan olmayan elasto-plastik davranış göstermektedir. Ve kenevir aynı zamanda dolap ve tezgah gibi ürünleri üretmek için endüstriyel olarak da kullanılmaktadır (Manohari ve ark., 2016; Yadav ve Agarwal, 2021).

Kenevir düşük ısı iletkenliği, yüksek özgül ısı, iyi ısı yalıtımı sağladığı için iç mekan konforu sağlamaktadır. Kenevir parçacıkları arasında boşluklardan dolayı gözenekli bir yapıya sahiptir bu yüzden iyi termal ve akustik özellik gösteren sürdürülebilir bir malzemedir. Düşük ısı iletkenliğine, düşük yoğunluğa sahiptir. Kenevir çatı, zemin ve duvarda kullanımı bina kabuğu etkisi oluşturduğu için ısı kayıplarını önleyerek enerji tasarrufu sağlamaktadır. Maliyeti bulunduğu ülkeye göre değişiklik göstermektedir ve kenevir CO² yakaladığı için karbon ayak izini küçültmektedir (Demir ve Doğan, 2020).

Ahşap (Kereste): Yapının farklı alanlarında döşeme, cephe elemanı ya da taşıyıcı eleman gibi farklı işlevlerde kullanılabilen, kolay işlenebilir, kullanılabilir bakımı zor olmayan malzemedir. Yenilenebilir bir biyomalzeme olan ahşap pigment, cila gibi ürünlerle farklı türleri elde edilebilmektedir. Ahşap sert ve yumuşak ahşap olarak ikiye ayrılmaktadır. Ahşaplar dolgu malzemesi ve takviye malzemesi olarak kullanılabilir (Sandak ve ark., 2019; Yıldızhan ve ark., 2018). The Circular Pavillion 2015 yılında Paris'te atık olan 180 ahşap kapının ve ahşap malzemenin yeniden kullanılmasıyla inşa edilmiştir (Şekil 2.45) (The Circular Pavillion, 2015).



Şekil 2.45. Ahşap kullanımı - The Circular Pavillion (The Circular Pavillion, 2015)

Kamış: Geleneksel yapılarda çatıda uygulanabilen bir malzemedir eğer düzgün şekilde uygulanırsa bakım onarım ihtiyacı olmadan uzun süre kullanılabilir. Kamışın maliyeti düşüktür ve yalıtım malzemesi olarak da kullanılmaktadır (Şekil 2.46) (Rabbat ve ark., 2022; Sandak ve ark., 2019).



Şekil 2.46. Yapılarda kamış kullanımı (URL 45, URL 46)

Çim: Kolaylıkla ulaşılabilecek doğada pek çok yerde görebileceğimiz çim kırsal yapılarda çatı katlarında depolanarak yalıtım amacıyla kullanılmaktadır. Yapı cephelerinde yaşayan yeşil duvarlar ve dikey bahçeler olarak görülmektedir bu uygulamalar şehirdeki refahı arttırmakta ve kullanıcı memnuniyetini sağlamaktadır. Çim yapılara iki şekilde uygulanabilmektedir (Sandak ve ark., 2019).

Yaşayan duvarlar bina cephelerinde sulama sistemi yapılarak canlı bitki örtüsüyle kaplanmasıdır (Şekil 2.47). Bu uygulama yapılarda iç mekandaki sıcaklığı koruyarak yalıtım sağlamakta ve nemi dengelemektedir. Çevre açısından havayı temizler, gölge oluşumu sağlar, gürültü etkilerini düşürmektedir. Yeşil cephe bitkinin yaşaması için toprağın yer aldığı sistem cephe yüzeyinde bulunmaktadır (Sandak ve ark., 2019).



Şekil 2.47. Yapılarda uygulanan yeşil duvar (sol görsel) ve yeşil cephe (sağ görsel) (Sandak ve ark., 2019)

Bambu – rattan: Geri dönüştürülen, doğada parçalanabilen, yüksek mukavemetli, odunsu yapısı olan, kolay büyüyen ve yenilenebilir özelliklere sahip olan bambu Asya’da yaygın olarak yetirilen bir malzemedir. Bambu ve rattan mobilya, inşaat, tekstil gibi pek çok sektörde yer almakta ve kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır (Sandak ve ark., 2019; Yıldızhan ve ark., 2018). VTN Arcitects tarafından 2015 yılında Vietnam’da inşa edilmiş Sen Köyü Toplum Merkezi bambu ve saz kullanılarak tasarlanmıştır (Şekil 2.48) (Sen Village Community Center, 2015).



Şekil 2.48. Saman Kullanımı - Sen Köyü Toplum Merkezi (Sen Village Community Center, 2015)

- Hayvansal lifler ile yapılan biyomalzemeler; hayvansal lifler kıl kökenli lifler ve salı kökenli lifler olarak ayrılmaktadır:

Kıl kökenli lifler: yün, tüy, insan saçı vb. proteinlerden oluşmaktadır.

Salı kökenli lifler (ipek lifler): doğal proteinlerden meydana gelmektedir genellikle dokuma kumaşlarda kullanılmaktadır (Campilho, 2015; Doğal Lifler, 2014).



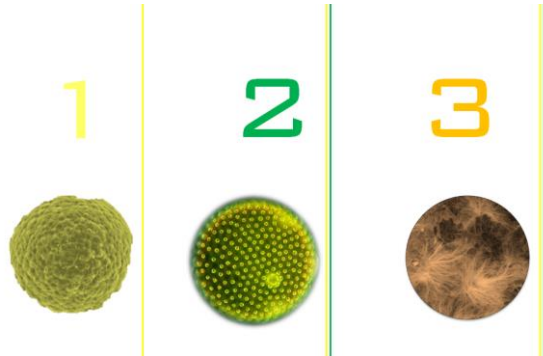
Şekil 2.49. Cuerden Valley Park Ziyaretçi Merkezi (Sandak ve ark., 2019)

Hayvanlardan elde edilen kıl ve tüyler iç mekandaki ve dış mekan arasındaki nemi dengelemektedir. Bu malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Straw Works tarafından yapılan bina standartlarına göre tasarlanmış, yukarıdaki görselde yer alan Cuerden Valley Park ziyaretçi merkezi gönüllüler tarafından inşa edilmiştir (Şekil 2.49). Yapıda malzeme olarak kenevir, saman, hayvan yünleri ahşap çerçeve içerisinde yerleştirilerek kullanılmıştır (Sandak ve ark., 2019; Mansour ve Ormondroyd, 2017).

Canlı Organizma Kullanılarak Üretilen Biyomalzemeler

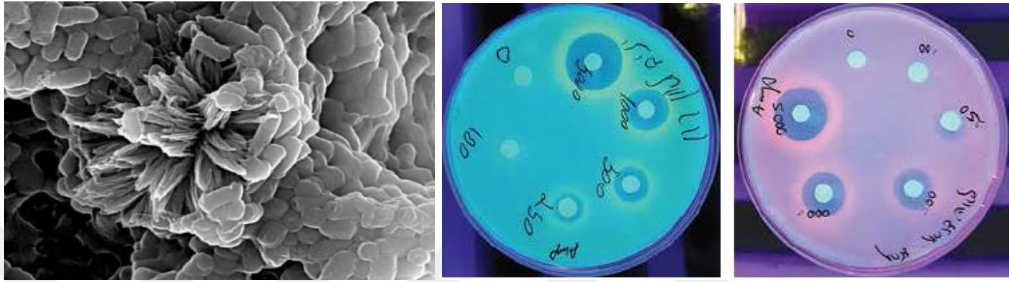
Mimarlık alanında canlı organizmalar (yaşayan biyomalzeme) üzerine yapılan çalışmalar;

- Bakteri,
- Alg
- Mantarlar olarak üçe ayrılmaktadır (Şekil 2.50).



Şekil 2.50. Canlı organizmalar kullanılarak üretilen biyomalzemeler (URL 47, URL 48, URL 49)

Bakteriler: 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 (Şekil 2.51). Bakteriler aşırı sıcak aşırı soğuk, tuzlu, kurak gibi olağanüstü koşullarda yaşayabilen canlılardır (Brooker, Widmaier, Graham, & Stiling, 2011).



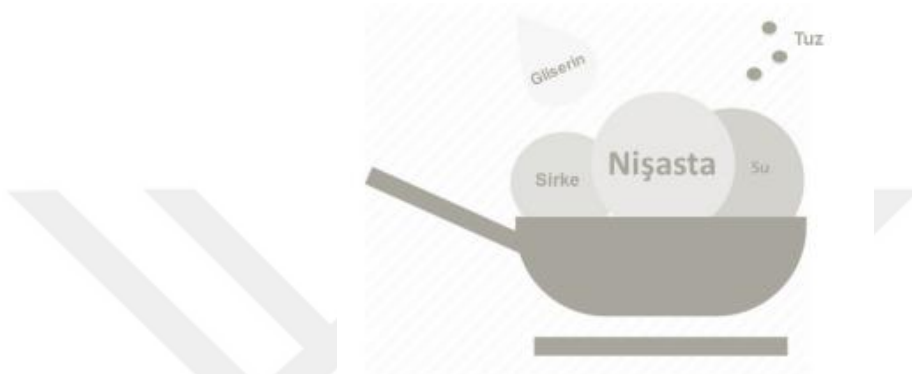
Şekil 2.51. Bakteri Çeşitleri (Attias, 2016; URL 50)

Malzeme tasarımında ile çeşitli disiplinlerin bir araya gelmiş olması ve teknolojiyle birlikte yenilikler meydana gelmiştir. Örneğin gıda atıkları ile beslenen bakterilerin fermantasyonu ile biyoplasikler elde edilmektedir. Bakteriler hızlı çoğalarak polimer zincirleri oluşturmaktadır. Büyüme sürecini tamamlayan bakterilerin içinde bulunan mikroskopik beyaz polimer granüllerin ekstraksiyonu işlenir ve kurutulur. Bu sayede üretilen biyoplastik (PHA) biyolojik olarak da doğada parçalanabilmektedir. PHA'lar içerisine farklı monomerlerin eklenmesi ile farklı biyoplastikler üretilmektedir (Şekil 2.52) (Cecchini,2017).



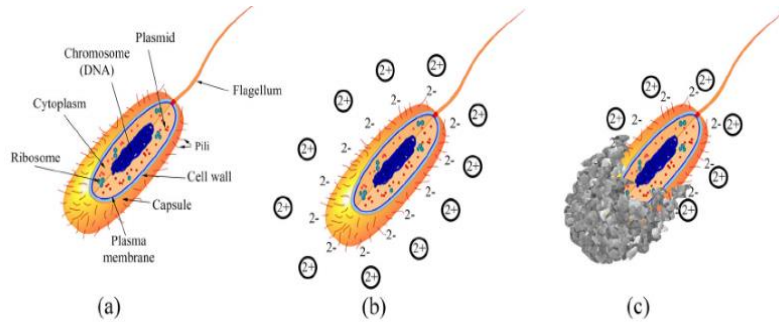
Şekil 2.52. Bakterilerin fermantasyonu ile üretilen eko-deri (Cecchini, 2017)

Biyoplastiğin hammaddeleri su, nişasta, gliserin ve sirkedir. Biyolojik olarak parçalanabilen, biyo-uyumlu biyoplastiklerin malzemeleri 6-7 dk boyunca 95 °C ısıya ulaşarak jel kıvamına gelene kadar karıştırılarak elde edilmektedir. Saf biyoplastiklerin nem ve güç özellikleri zayıf olduğu için içerisine tarımsal atık, agrega gibi malzemeler konularak kompozit malzeme üretilmektedir (Şekil 2.53) (Özdamar ve Ateş, 2018: 249-260).



Şekil 2.53. Biyoplastik Üretimi (Özdamar ve Ateş, 2018: 249-260).

Çimentoya alternatif sürdürülebilir malzeme çalışmaları kapsamında, kalsiyum karbonat (CaCO_3) doğal ve yapay şekilde üretilebilen bir bileşiktir. Şekil 2.54'te gösterildiği gibi bakterilerin hücre duvarına pozitif ve negatif yüklü iyonların bağlanmasıyla mineral oluşumu gerçekleştirmektedir. Canlı organizmalar tarafından gerçekleştirilen mineral oluşum süreci biyomineralizasyon olarak tanımlanmaktadır (Seifan, Samani ve Berenjian, 2016: 2591–2602).

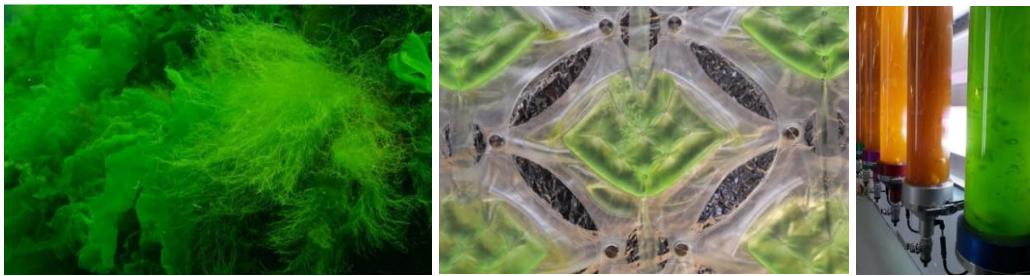


Şekil 2.54. (a) Bakteri yapısı, (b) bakteri hücre duvarındaki pozitif ve negatif yüklü iyonlar, (c) biyomineral üretimi (Seifan, Samani ve Berenjian, 2016: 2591–2602).

Çimentonun büyük bir kısmı kalker ve kil bileşenlerinden oluşmaktadır. Kalkerin %90'ı kalsiyum karbonattır (Yıldırım, 2019). Biyomineralizasyonla elde edilen kalsiyum karbonatın çöktürülmesiyle, kum ve toprak sertleştirilerek çimentoya benzer malzeme üretimi sağlanmaktadır (Şekil 2.54). Mikrobiyal biyokalsifikasyon kullanılarak gerçekleşen malzeme üretimi CO² salınımını azalttığı için çevrenin korunmasına fayda sağlamaktadır (Arıc, Can ve Keskin, 2020: 390-401).

Bakterilerin kimya, tarım, madencilik, gıda ve ilaç gibi endüstriyel alanlarda atık suların arıtılması, peynir ve yoğurt fermentasyonu, altın, bakır gibi madenlerin geri dönüştürülmesi, antibiyotiklerin üretilmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Mimarlık alanında bakteriler, yapı malzemesi üretiminde, yapım sistemlerinde ve endüstriyel tasarımda kullanılmaktadır.

Algler: fotosentez yapabilen tek veya koloni halinde yaşayan mikroorganizmalardır. Çoğu klorofil taşır, yeşil renklidir ve oksijenli fotosentez yapabilmektedir (Özer, Yücetürk ve Yılmaz, 2018). Endüstrileşme ve kentlerin gelişimi atmosfere verilen gazların miktarları arttırmış ve küresel ısınma sorununu yaratmıştır bu yüzden dünyada alternatif kaynaklara yönelim artırmaktadır. Algler fotosentetik organizmalar oldukları için yeryüzündeki oksijen üretiminin yaklaşık % 50'sini gerçekleştirmektedirler (Tokuç, Köktürk ve Savaşır,2019).



Şekil 2.55. Alglerin mimaride kullanımı (Tokuç, Köktürk ve Savaşır, 2019; URL 51)

Alglerin cephe elemanlarının içinde ürettiği uygulamalar fotobiyoreaktör (FBR) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.55). Alglerin üretim sistemleri, açık havuzlar ve FBR olarak ikiye ayrılmaktadır. En yaygın kullanılan FBR tipleri panel, tübüler, plastik torba ve kolon FBR'lerdir (Tokuç, Köktürk ve Savaşır,2019).

- Panel FBR'ler levha biçimli, düz yüzeylere sahip, montaj ve temizlemeleri kolay, bakım maliyetleri düşüktür. Yapılarda giydirme cephe gibi detaylarda uygulanabilmektedir.
- Tübüler FBR'ler; dairesel veya eliptik şekillidir. Doğrudan cephe elemanı olarak kullanılmak yerine cephe elemanı, gölgeleme elemanı olarak bütünleşmektedir.
- Plastik torba FBR'ler; maliyeti azaltmak için polietilen malzemeden üretilmektedir. Torba veya yastık biçimli haznelerin asıldığı bu sistemler ince cidara ve geniş yüzey alanına sahiptir. Hafif, esnek, kurulması ve sökülmesi kolay elemanlar olup cephede gölgeleme elemanı olarak tasarlanabilmektedir.
- Kolon FBR'ler; silindirik şekillidir. Yüksek biyokütle transferini düşük enerji ile sağlayabildikleri için tercih edilmektedirler (Tokuç, Köktürk ve Savaşır, 2019).

Algler; biyo-yakıtlar, sağlık takviyeleri, eczacılık ürünleri ve kozmetik ürünlerde, atık suların arıtımı ve atmosferdeki CO₂'yi azaltmak amacıyla kullanılmaktadır (Özer, Yüçetürk ve Yılmaz, 2018).

Mimarlık alanında algler, yapı malzemesi üretiminde, cephe tasarımında, mimari tasarımda ve endüstriyel tasarımda kullanılmaktadır.

Mantarlar: Ekolojik ayak izini azaltacak sürdürülebilir inşaat malzemeleri geliştirilmesi için doğadan faydalanan yeni teknolojiler bulunmaktadır. Bu çalışmalardan biri, organik atıklardan beslenen miselyum kompozittir. Mantarlar çevremizde pek çok yerde farklı çeşitlerde görebileceğimiz mikroorganizmalardır. Miselyum ise mantarların bağlayıcılık görevini sağlayan hif bağlarıdır (Şekil 2.56). Toprak altındaki mantarın kökleri, bağlayıcı özellik göstererek yayılır. Miselyumun bu bağlayıcı özelliğinden dolayı malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Elde edilen miselyum kompozitler çevreye zarar vermeyen, organik atıklarla beraber kullanıldığında ekonomiktir (Sertkaya ve Tokuç, 2020; Ross, 2018).



Şekil 2.56. Miselyum (URL 49, URL 52, URL 53)

Miselyum kompozit üretimi: Substrat malzeme nemlendirildikten sonra blender gibi küçük aletlerle mekanik olarak parçalanmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınçlı su altında sterilize edilen substrat içerisine mantar sporları aşılanarak büyümeye bırakılmaktadır. Büyüyen miselyum kompozit kalıptan çıkarılarak, mantarın büyümemesi için kurutulmaktadır (fırın, havada vb.). Miselyum dolgu malzemesi, tuğla gibi farklı şekillerde hem canlı hem de kurutularak kullanılabilir (Şekil 2.57) (Sertkaya ve Tokuç, 2020).



Şekil 2.57. Miselyum Kompozit Üretimi (Ross, 2018).

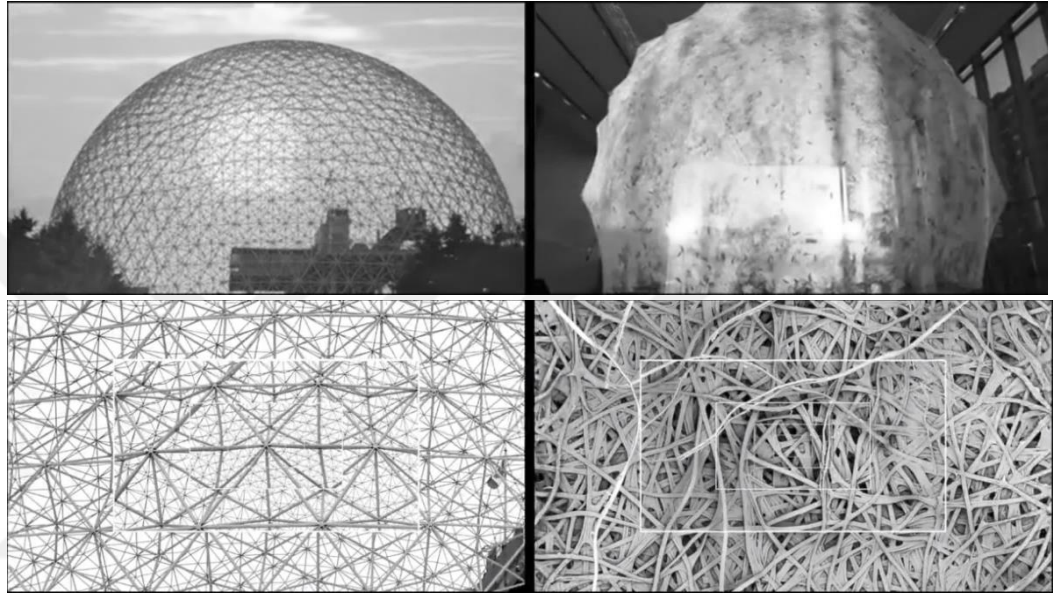
Mimarlık alanında mantarlar; yapı malzemesi üretiminde, cephe tasarımında, mimari tasarımda ve endüstriyel tasarımda kullanılmaktadır.



Şekil 2.58. Malzemelerin birden fazla sınıfa dahil olması (Garcia, Rognoli ve Karana, 2017)

Malzemeleri sınıflandırırken her bir malzeme tek bir sınıf altına ait olmayabilmektedir. Şekil 2.58’de gösterildiği gibi bir tasarım birden çok sınıfa dahil olabilmektedir. Bu yüzden biyomalzemeler ile yapılan çalışmaların çeşitlenmesi, gelecekte yeni malzeme çalışmalarına ve geliştirilmesine katkı sağlayacaktır (Garcia, Rognoli ve Karana, 2017).

2.4.3. Biyomalzemelerin özellikleri ve mimaride kullanımı

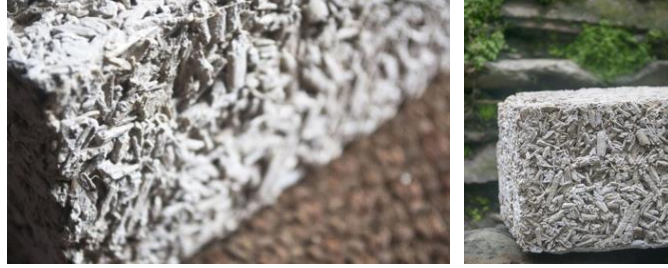


Şekil 2.59. Mimarlık ve biyoloji ilişkisi (Oxman, 2015; Langdon, 2018)

Mimarlık ve biyoloji arakesitinde biyomalzemelerin incelenmesi için Oxman (2015) Amerikan Birleşik Devletleri Pavyonu ve Silk Pavillion’u örnek olarak seçmiştir (Şekil 2.59). Bu iki kubbesel yapıya biraz odaklanıldığında sol alttaki görselde çelik uzay kafes sistemle yapılmış olduğu, sağ alt görselin ise biyomalzemeler ile ipek böcekleri kullanılarak üretilmiş bir yapı olduğu görülmektedir. İki görsel farklı malzemelerden üretilmiş olsalar da birbirine sistem olarak benzemektedir (Oxman, 2015).

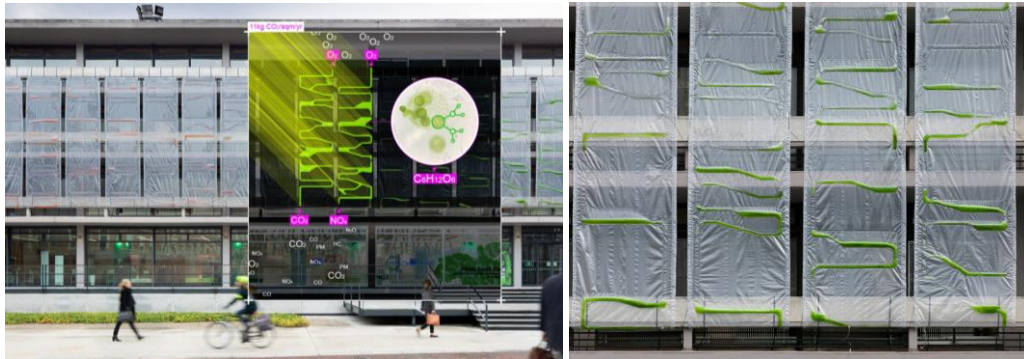
Biyo-malzemelerin mimaride kullanımı: Biyomalzemeler yapı malzemesi olarak; malzeme seçenekleri ve üretim şekillerinin çeşitliliğinden dolayı farklı şekil, boyut ve taşıyıcılıkta üretilebilmektedir. Örneğin miselyum köklerinin bağlayıcı özelliğinden dolayı tarımsal atıklar kullanılarak akustik paneller, cephe elemanları, tuğlalar üretilmektedir. Üretilen malzemeler yaşam döngüsü içerisinde organik ve inorganik

maddelerine ayrılarak kompostlanabilme özelliğine sahiptir. Sıcak ve soğuğa dayanıklı kenevir, su ve kirecin karıştırılmasıyla hempcrete olarak isimlendirilen betona benzer fakat daha hafif, karbon emisyonu düşük, termal performansı yüksek malzemeler üretilmektedir (Şekil 2.60) (Yadav ve Agarwal, 2021; Schires, 2021).



Şekil 2.60. Biyo-esaslı yapı malzemesi örneği; Hempcrete (Schires, 2021)

Cephe tasarımı açısından biyomalzemeler; mekanda biyomalzeme ve kullanıcı arasındaki etkileşimi aynı zamanda canlı organizmalar kullanıldığında iç mekandaki O² oranını arttırmaktadır. Biyomalzemeler cephe tasarımında çeşitli enstalasyon, sergi salonları, ofis cepheleri, çocuk oyun alanları gibi mekanlarda kullanılmaktadır. Örneğin Ecologicstudio tarafından geliştirilen perde tasarımı 2 m x 7 m ölçülerinde modüllerden oluşmaktadır (Şekil 2.61). Algler serpantin tüpler içerisinde yer almaktadır. Algler günışığı sayesinde havadaki karbondioksiti yakalayarak perde içerisinde saklayıp oksijen üremektedir (Ecologicstudio, 2018) . Alglerin cephe tasarımında kullanımı hava kirliliğini azaltmakta karbon emisyonunu düşürmek ve yapıları daha çevre dostu hale getirmektedir.



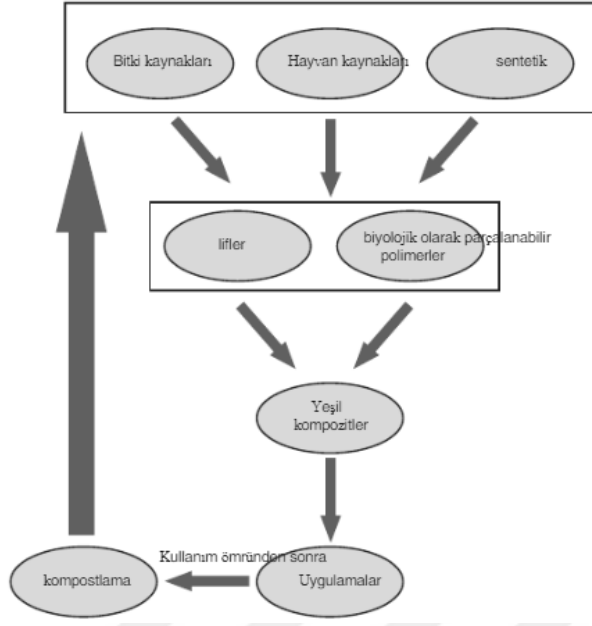
Şekil 2.61. Cephe tasarımında kullanımı (Ecologicstudio, 2018)

Endüstriyel tasarım açısından yaşam alanlarında doğaya geri dönebilen ve çevrede kolay ulaşılabilecek tarımsal atık miktarını azaltacak çözümlere yönelim artmış ve yeni tasarımların gelişmesini sağlamıştır. Bu örnekler oturma elemanı, aydınlatma elemanı, ev aksesuarı gibi çeşitlenebilmektedir. Örneğin Made in Situ Stüdyo atılmış - yanmış mantarların kalıplarak, on altı saat pişirilmesi ve kurutulması sonucu geliştirilen yöntemle oturma elemanları tasarlamıştır (Aouf, 2021). Ya da samanın esnek malzeme özelliğinin geleneksel kakmacılık yöntemleriyle birleştirilmesiyle renkli mobilyalar üretilmektedir (Şekil 2.62) (Carlson, 2020).



Şekil 2.62. Endüstriyel ürünlerin tasarımında kullanımı (Aouf, 2021; Carlson, 2020)

Biyo-malzemelerin özellikleri: Yapılar üretiminden, kullanımı ve yıkımına kadarki yaşam döngüsü aşamalarında yıllık enerjinin %40'ını tüketmekte ve doğadaki hammaddeleri malzeme üretimi için kullandığı içi kaynakları tehlikeye sokmaktadır. 1900- 2010 yılları arasındaki inşaat faaliyetlerinde doğal kaynak tüketiminin arttığı ve 2017 yılında yapılaşma taleplerinin 163 milyar m² iken 2026 yılında 184 milyar m²'ye yükseleceği ön görülmektedir. Bu talep artışına karşı doğal kaynaklarını azaltmadan yapılaşmanın sağlanması mümkün müdür sorusu akıllara gelmektedir. Bundan dolayı doğal şekilde oluşan, biyokütle gibi mevcut malzemelerden üretilen biyo-tabanlı yapı malzemeleri olarak adlandırılan malzemeler çevreye verdiği zararlı etkinin düşük oluşu ve sürdürülebilir olduğu için öne çıkmaktadır (Şekil 2.63) (Yadav ve Agarwal, 2021).



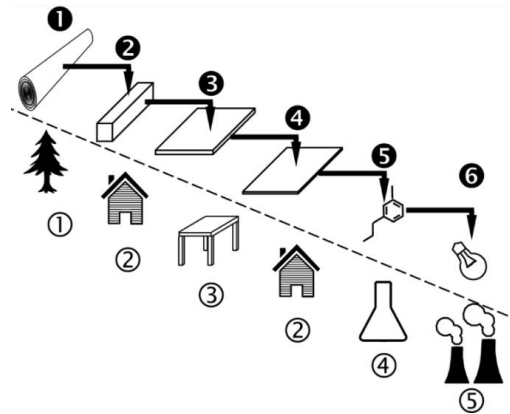
Şekil 2.63. Biyokompozitlerin üretimi ve yaşam döngüsü (Netravali ve ark., 2003)

Biyomalzemelerin, çevreye uyum sağlayabilmesi için aşağıdaki özellikleri bulundurmakta ve sahip olması gerekmektedir:

- Isı, basınç ve nem gibi çevresel koşullara çok dayanıklı olmalıdır.
- Düşük sürtünme katsayısına sahip olmalıdır (eklemlerde kullanım için).
- Çok işlevli olmalıdır.
- Ürünlerin koşulları ortam sıcaklıklarında olmalıdır.
- Kendini iyileştirme ve çevreye uyum sağlama becerisine sahiptir.
- Fotosentez ile kendilerini yenileyebilmektedir.
- Karbon ve enerji emisyonunu düşürmektedir.
- Termal konforu sağlamaktadır.
- Doğaya tekrar karışabilir ve kısa döngüler oluşturabildiği için döngüsel ekonomi kavramıyla da ilişkilidir.
- Sosyal refahı yükseltmekte ve geleneksel olarak kullanılan beton türevi malzemelere alternatiftir.
- Ağırlıkları düşüktür, mukavemet ve korozyon dirençleri yüksektir (Yıldızhan ve ark, 2018; Deniz ve Gündoğdu, 2018; Yadav ve Agarwal, 2021).

Doğal kaynaklarımızın azaldığı ve ekolojik krizlerin yaşandığı dünyamızda biyomalzemeler çevrenin korunumunu sağladığı için sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmaktadır. Beton, çimento türevi malzemelerin kullanımı doğal kaynakların tüketimine, atık oluşumunu arttırmakta, enerji tüketimine ve sera gazı artışına neden olmaktadır. Ancak biyomalzemeler ekolojik, sağlıklı bir gelecek vadetmektedir. Biyomalzemelerin yapılarda kullanılması kişilerin doğa ile etkileşim kurmasını sağladığı için stresi azaltmakta psikolojik açıdan bireyleri olumlu etkilemekte ve üretkenliği ve performansı yükseltmektedir. Cephe elemanı, yapı malzemesi, endüstriyel alanda kullanılan biyomalzemeler iç mekandaki hava kalitesini iyileştirmekte, sıcaklık ve nem kontrolünü sağlamaktadır. Biyo-bazlı malzeme üretim süreçleri yeni iş olanakları, ilişkiler ve teknolojik gelişmeleri beraberinde getirmekte, aynı zamanda yerel ölçekteki ekonomiye katkı sağlamaktadır (Sandak ve ark., 2019; Yale, 2022).

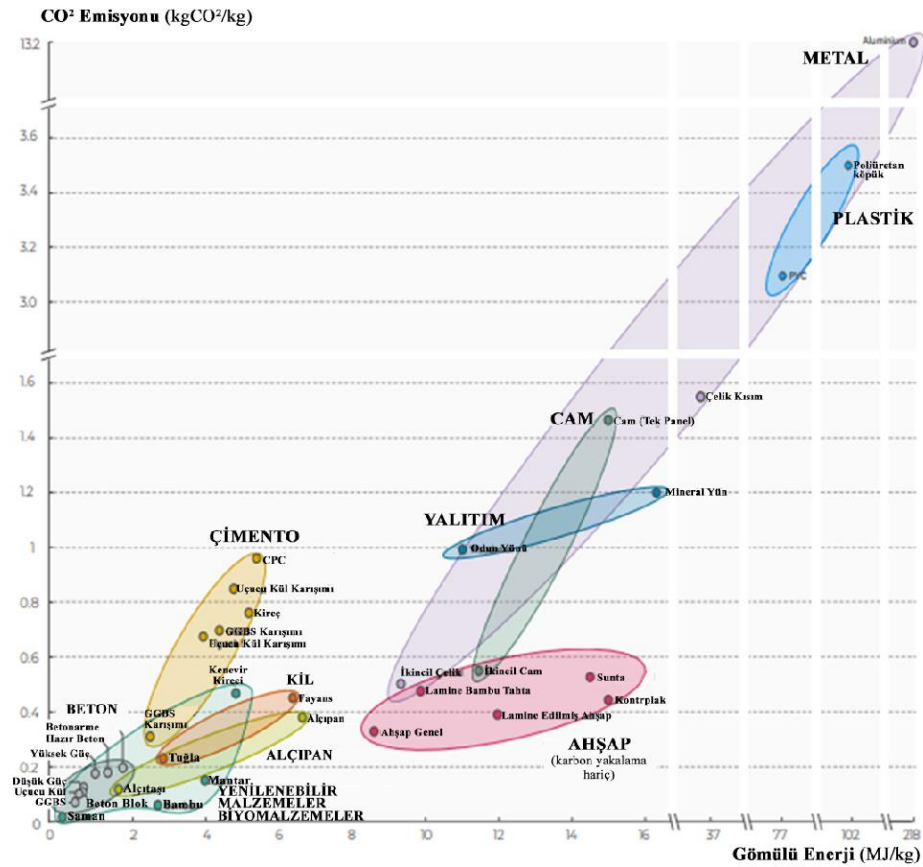
Biyomalzemeler yaşam döngüleri süresince yenilenebilir kaynaklardan elde edilmekte ve yaşam döngüleri sonunda biyolojik olarak parçalanabilmektedir. Yapı sektöründeki yapısal atıklar ve çevreye verilen olumsuz etkilere karşı biyo-esaslı malzemeler düşük karbonlu bir alternatiftir. Biyo-bazlı malzemelerin üretiminde kullanılan tarımsal ve deniz canlılarının atıklarının mimarlık alanında kullanımıyla inşaat malzemeerinde döngüsel ekonomi açısından avantajlar sağlarken, tarımsal ve deniz kabuğu atık miktarını da azaltmaktadır (Yale, 2022)



Şekil 2.64. Biyomalzemelerin kademeli kullanımı (Sandak ve ark., 2019)

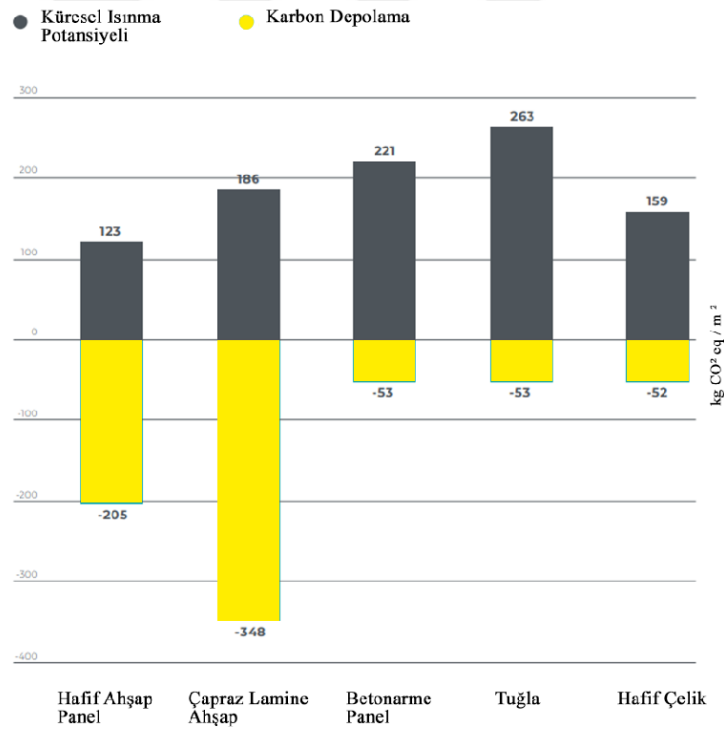
Biyomalzemeler içerisinde zararlı kimyasal maddeler içermediği ve atık malzemeleri kullandığı için döngüsel ekonomiye uygundur. Aynı zamanda atık malzemelerin azaltılması çevrenin korunumu ve sürdürülebilirliğin sağlanması için bir gerekliliktir. Sürdürülebilirliğin reduce, reuse, recycle (azalt, yeniden kullanım, geri dönüşüm) başlıklarının içerisinde biyomalzemelerin değerlendirilmesi atmosfere verilen CO² miktarı ve doğal kaynak tüketimi azalmaktadır ve daha sürdürülebilirdir. Kademeli kullanım bir malzemenin sırasıyla farklı amaçlarla kullanılarak ürünlere dönüşmesidir. Yukarıdaki Şekil 2.64 biyomalzemelerin kademeleri kullanımını ifade etmektedir. Biyomalzemeyi yakmak yerine yaşam döngüsü içerisinde kademeli kullanmak atık malzemelerin değerlendirilmesini, atık miktarını azalmasını ve yeni çözümleri beraberinde getirmektedir. Bu malzemelerin kullanılması için halkın bilinçlendirilmesi biyomalzemelerin kullanımını yaygınlaştıracak ve farkındalığı arttıracaktır (Sandak ve ark., 2019; Yıldızhan ve ark., 2018).

Çizelge 2.22. Farklı malzemelerin CO² emisyonu ve gömülü enerji oranları (Yale, 2022)



Çizelge 2.22’ de inşaat sektöründe kullanılan farklı malzemelerin CO² emisyonu ve gömülü enerji içerme oranları yer almaktadır. Buna göre biyomalzemelerin CO² depolama ve enerji içerme oranları düşüktür. Ancak veriler malzemelerin birim ağırlığına göre yapılmıştır bundan dolayı enerji ve karbon değerleri kullanılan malzeme miktarına göre farklılık göstermektedir. Çizelge 2.23’te ise küresel ısınma potansiyeli ve karbon depolama özellikleri açısından aynı yapıda kullanılacak hafif ahşap panel, çapraz lamine ahşap, betonarme panel, tuğla ve hafif çelik karşılaştırılmıştır. Buna göre ahşap malzeme seçeneklerinin karbon depolaması diğer malzemelere kıyasla daha yüksektir. Ve yapı için olumsuz etkiye neden olan küresel ısınma potansiyeli daha düşüktür (Yale, 2022).

Çizelge 2.23. Malzemelerin küresel ısınma potansiyeli ve karbon depolaması (Yale,2022).



İnşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan geleneksel tuğla üretim, işleme gibi aşamalarda büyük miktarda enerji tüketimine neden olmakta ve çevre üzerindeki yükü arttırmaktadır. Yapılan Çizelge 2.24’te geleneksel tuğla ile pirinç samanı- şeker kamışı ve çimento içeren biyotuğlalar termal özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Buna göre

biyotuğlalar geleneksel tuğlaya göre tarımsal atıklardan oluştuğu için geri dönüşümü daha kolaydır. Malzemelerin ısı geçirgenliği arttığında CO² ve sera gazı emisyonunu azaldığı, iç mekanda soğutma için gerekli yapılarda enerji miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Biyotuğlalar hem enerji tasarrufu sağlamakta hem de tarımsal atıklardan elde edildiği için üretimi ekonomiktir (Abd El-Hady ve Mohamed, 2023).

Çizelge 2.24. Geleneksel tuğla ve biyotuğlaların termal özelliklerinin karşılaştırılması (Abd El-Hady ve Mohamed, 2023)

Termal Özellik	Geleneksel Tuğla	Pirinç Samanı-Çimento Tuğlası	Şeker Kamışı Tuğlası
Özdirenç (mk/W)	1.18	2.4	3.7
İletkenlik (W/mk)	0.85	0.41	0.27
Yoğunluk (Kg/m ³)	1,500	884	423.7
Temmuz Ayı Elektrik Tüketimi (kW.H)	80,062	74,772	70,677
Temmuz Ayında CO ² Üretimi	48,517	45,312	42,830
Enerji Tasarrufu Yüzdesi	-	%7	%12
Elektrik Faturalarında Yıllık Tasarruf (\$)	-	371	659

2.4.4. Biyomalzemelerin mimari eleman üretimi açısından potansiyelleri

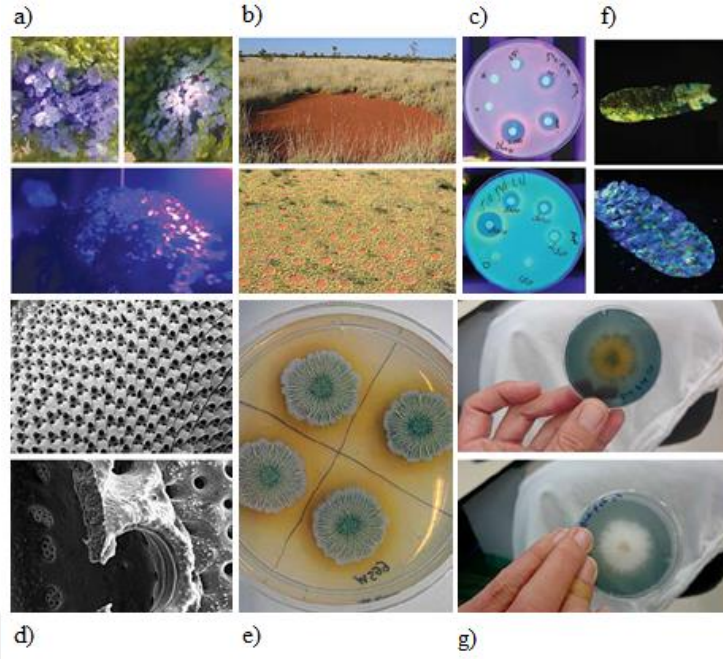
Noam Attias (2016), biyolojik bileşenlere ya da organizmalara, kendi yapıları ya da ekosistemlerindeki asıl rolleri dışında yeni işlevler kazandırılması ile mimarlıkta gelişmiş malzemeler üretmenin mümkün olabileceğini ifade etmektedir. Çünkü canlı organizmalar sürekli evrim geçirmektedir ve DNA'larındaki kodu tüm organizmalarda bulunmaktadır böylece değişen koşulları algılayan tepki veren kendini organize eden

yapılar oluştururlar. Bu doğal süreci anlayarak mimari yöntemler ve malzemeler geliştirmek mümkündür. Noam Attias (2016), çalışması altı başlık içermektedir (Şekil 2.65):

- a) Enerjinin Görselleştirilmesi (*Visualizing Energy*)
- b) Büyüme Örüntülerini Anlamak (*Understanding Growth Patterns*)
- c) Çevreyi Algılamak (*Sensing the Environment*)
- d) Yapısal Ağlar ve Dayanıklılık (*Structural Networks and Durability*)
- e) Dinamik Yapılar (*Dynamic Structures*)
- f) Malzemelerin Çözülmesi ve Geri Dönüşümü (*Material Breakdown and Recycling*)

a) Enerji Görselleştirilmesi: “Fotosentetik organizmalar, enerji üretmek için güneş enerjisini, atmosferik karbondioksiti ve suyu kullanır ve işler. Bu nedenle bitkiler, doğadaki organizmalar için birincil üreticiler ve ana enerji kaynağıdır. Hayvanlar bitkilerle veya bitkilerle beslenen diğer hayvanlarla beslenerek bu enerjiyi tüketir ve hassas işlevlere sahip çeşitli malzemeler üretir. Bu malzemeler, hayvanları ve bitkileri oluşturan malzemelerle birlikte bakteri ve mantarlar tarafından temel bileşenlerine ayrılır. Enerji geri dönüştürülmez, bunun yerine tek yönlü bir yolda ilerleyerek sayısız kimyasal süreci hızlandırır.” (Attias, 2016).

b) Büyüme Örüntülerini Anlamak: “Ekosistemler, madde ve enerji alışverişi yapan ve çevremizi şekillendiren kalıpları oluşturan karmaşık süreçler ve ilişkilerden oluşur. Doğal sistemlerin görünüşte öngörülemeyen dinamikleri ve ilkeleri, uzaydaki büyüme modellerini değiştirerek organizmaların sınırlı kaynaklara sahip alanlarda hayatta kalmalarını sağlayan uzun vadeli süreçlerin (olumlu geri bildirim gibi) kalıplarını ve sonuçlarını tahmin etmek için izlenip modellenebilir. İşleyen sistemlerimiz ve yapılarımız da yerel ve küresel süreçlere uygun olarak etkilenebilir ve dönüştürülebilir.” (Attias, 2016).



Şekil 2.65. Biyolojik malzemeler (Attias, 2016)

c) Çevreyi Algılamak: “Canlılar hayatta kalmak ve çoğalmak için çevreyi algılar ve ona tepki verirler. Bu nedenle bakteriler, ışık yayarak, renk değiştirerek veya koku yayarak çevresel değişiklikleri yansıtarak, mevcut duyu setimiz veya araçlarımızla gösterilemeyen maddeleri algılayarak sensör olarak işlev görmek üzere manipüle edilebilir. Bu yöntemler gıda, ilaç, güvenlik ve diğer birçok endüstri dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kademeli olarak uygulanmaktadır.” (Attias, 2016).

d) Yapısal Ağlar ve Dayanıklılık: “Mineraller, mimaride yapısal bileşenler olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Pek çok organizma, biyomineralizasyon adı verilen bir işlemle iskelet veya kabuk gibi minerallerden yapılmış yapılar üretir, yapısal güç ve koruma sağlar. Bu mineraller gelişmiş mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler oluşturmak için genellikle bir protein gibi organik bir bileşenle entegre olan son derece hassas, kendi kendine organize edilmiş nano ölçekli modellerden oluşur. Ilıman koşullarda üretilen bu dayanıklı mineraller, yapay olarak üretilmiş muadillerinden sıklıkla daha iyi özellikler ve performans sergilemektedir. Fiziksel koruma sağlamanın yanı sıra, mineralize kabuk, dış tehditler ve çevresel zorluklarla başa çıkma yeteneği ve bilgi sağlayan maddeler sağlayan verimli bir ağ işlevi görecektir şekilde inşa edilmiştir.” (Attias, 2016).

e) Dinamik Yapılar: “Biyolojik yapılar genellikle dinamiktir ve çevreden gelen dış uyaranlara duyarlıdır, yapının nanometrik seviyelerinde bir değişikliği tetikler, bir organın fiziksel rengi veya sertliği gibi özellikleri etkiler. Fiziksel renkler, kamuflajdan kur yapmaya kadar çeşitli davranışlardan sorumludur. Bu malzemelerin moleküler düzeyini anlamak, çeşitli geçici ve kalıcı uygulamalar için dayanıklı, sürdürülebilir renkleri kullanmamıza yardımcı olabilir.” (Attias, 2016).

f) Malzemelerin Çözülmesi ve Geri Dönüşümü: “Beyaz çürük mantarı, lignin moleküllerinin sindirilmesini sağlayan bir işlem gerçekleştirir. Bu önemli süreç aynı zamanda insanlar tarafından odun ve bitki atıklarını işlemek için de kullanılır. Ayrıca boya, tedavi edici maddeler ve hatta patlayıcılar gibi benzer moleküler yapılara sahip, stabil kalan, toprağımızı ve su kaynaklarımızı kirleten diğer malzemeleri parçalamak için de uygulanabilir.” (Attias, 2016).

Doğa ve insanlık arasındaki mücadele kimin daha baskın çıkacağı yüzyıllar boyu sürmüştür (Çizelge 2.25). Bu yüzden doğa ile olan ilişki yeniden ele alınması gerekmektedir. Neri Oxman (2021)’a göre “İnsan tasarımı yapılar - malzemeler, ürünler ve binalar - Dünya’nın tüm biyokütlesinden ağır basar.” İnşa ettiğimiz yapılardan kullandığımız kıyafetler, yaşadığımız şehirler çevremizi etkilemekte ve bizi doğadan uzaklaştırmaktadır. Bu noktada bazı sorular sorulabilmektedir. Örneğin elimizde kullanabileceğimiz teknoloji ve bilgiler bulunuyorken neden bunu dünyayı değiştirmek için kullanmayalım? Doğayı korumak mı yoksa yapılaşmaya devam etmek mi? Doğa ve insanlığı bir arada buluşturmak inşa edilen malzemeler ile mümkün müdür?

Oxman doğanın iyileştirici yenileyici özellikleri yanında yapılı çevremizde değişime girerek yeni bir düzene geçmek, doğa ve insanlığı bir araya getirmek için çağrı niteliğinde manifesyo yayınlamıştır. Doğa ve insanlık arasındaki bu ilişkinin tüketimden, korumaya farklı ölçekler ve tasarımlarda doğaya yönelerek onun çoğaltmak için insanları bu yeni dünyaya davet etmektedir (Oxman, 2021).

Çizelge 2.25. Neri Oxman’ın malzeme ekolojisi ilkeleri (Oxman, 2021)

MALZEME EVET	EKOLOJİSİ İLKELERİ HAYIR
Doğa-kültür tekilliği (büyütülmüş - inşa edilmiş) Artırılmış gerçeklik Doğa başlığı Etik (doğal, biyolojik ve yapıli çevreler için Büyük genel bakım) Tasarım güçlendirme (Farkındalık) Süreklilik (değer, meslek, amaç) Eşitlikçi Ev yapımı uyumu Eski – büyüme artışı Tür çeşitliliğini geliştirmek Eski ağaçlar Bağlantıyı etkinleştirir (bahçecilik, ipek böcekçiliği, ağaç yetiştiriciliği vb.) Birlikler (kaynaklar, ekolojik nişler, tefekkür) Sinerji	Doğa baskınlığı Kırsal Topluluk Estetik (sanat, mimari, grafik, şarkı söyleme konusundaki genel kaygı) Tasarım kontrolü (Tanınma) Çeşitlilik (gelir, uzmanlık alanı, ilgi) Seçkin olmayan Mütevazi ev boyutu Ağaçlandırma Benzersiz karakteri korumak Yerli ağaçlar Erişimi koru (manzaraya ve kıyı şeridinde) Yaygın (tesisler, yollar, yeniden yaratma) Basitlik

Nature x Humanity: Oxman Architects sergisi SFMOMA’da 19 Şubat-15 Mayıs 2022 tarihleri arasında açılmıştır. Sergi mimari ve tasarımın geleceği üzerine 21.yüzyılda sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek, düşündürmek ve ilham vermek amacını taşımaktadır. Sergi mimari tasarım, sanat, mühendislik ve bilimden oluşan dört disiplini bir araya getirmektedir. Sergi kapsamında Oxman ve ekibi tarafından tasarlanmış 40 sanat eseri ve enstalasyon sergilenmektedir (SFMOMA, 2022). Oxman tasarım pratiği için yeni bir düşünme biçimi geliştirdiği Çizelge 2.26 aşağıda yer almaktadır (Oxman, 2021). Buna göre:

- **NU (Beslenmek):** Doğayı tasarıma dahil etmek ve doğadaki çözümlerden yararlanarak buna teşvik etmek; yapıları yaparken, malzemeleri üretilmek ve kullanırken teknolojiden de faydalanarak doğadan yararlanmak (beslenmek) şeklinde açıklanmaktadır.

- **NA (Doğallık):** Malzemeleri birleştirmek yerine büyümesine dikkat çeken bir yaklaşımdır. Bir tasarım (ürün, bina gibi) teknoloji, biyoloji, doğallık arasında ilişki kurmalıdır. Teknoloji ve bilimsel yöntemleri mimarlık alanının merkezine yerleşerek var olan görüşlerin yeniden gözden geçirilmesini içermektedir.
- **NU/NA:** Malzemelerin seri üretiminin aksine farklılaşması, değişmesi ve dönüşmesi, özelleşmesi anlamına gelmektedir. Ekosistemin kaynak döngüsüne zarar vermeden güçlendiren ve ekosisteme yeniden katılabilen malzemelerin tasarlanmasıdır.

Çizelge 2.26. Nature x Humanity projesi, tasarım pratiği hakkında yeni bir düşünme biçimi (Oxman, 2021).

	Ne	Neden	Nasıl
NU	Doğanın tasarıma dahil olması	Doğa merkezli tasarım	Aktivist tasarım
NA	Montaj yerine malzemenin büyümesi	Sinir sistemli tasarım	Platform teknolojileri
NU/NA	Tekrar olmadan farklılaşma	Çapraz ölçekli hiyerarşik tasarım	Programlı ayırıştırma

Dünyayı ve yapılaşmayı değiştirmek için biyoyuumluluğu olan malzemeleri kullanırsak doğadan aldıklarımız yerine uyumlu olan bu malzemeler ile telafi edebiliriz.

İnşaat sektöründe kullanılan malzemeler çevreye zarar vermekte ve yapısal atıklar oluşturmaktadır bu yüzden doğal kaynaklarımıza zarar vermeyen biyomalzemelerin mimarlık alanında kullanımı sürdürülebilir bir gelecek için önem taşımaktadır. Bu kapsamda sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarına göre biyomalzemelerin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki Çizelge 2.27’ de sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.27. Biyomalzemelerin avantajlarının sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi (Yadav ve Agarwal, 2021; Sandak ve ark., 2019; Tufan ve Özel, 2018; Kellert ve ark.2008)

Biyomalzemelerin Avantajlarının Sürdürülebilirlik Açısından Sınıflandırılması	
Çevresel Boyut	Hammadde kaynaklarını azaltmadan atık malzemeleri kullanımını teşvik ederek atık malzemeleri azaltmaktadır.
	Biyomalzemeler çevreye zarar vermemekte, karbon tutma özelliğine sahip olduğu için karbon emisyonunu düşürmektedir.
	Yenilenebilir olduğu için çevreye zarar vermemektedir.
	Biyomalzemeler doğaya yeniden dönebilme özelliğine sahiptir.
	Doğada var olan biyolojiye zarar vermemektedir.
	Geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir oluşu malzemelerin yaşam döngüsü açısından kapalı döngüler oluşumunu sağlamaktadır.
	Cephe elemanı veya iç mekanda kullanıldığında ortamdaki O ² miktarını attırmaktadır.
	Görsel açıdan mimarlık alanı için yenilikçi, çağdaş çözümler sunmaktadır.
	Isı yalıtımı ve ses yalıtımı açısından elverişlidir.
	Enerji tüketimini ve su kullanımını azaltmaktadır.
	Doğal ve yerel kaynaklardan elde edilmektedir.
	Prefabrikasyon ile hızlı kurulum sağlamaktadır.
Ekonomik Boyut	Biyomalzemeler yerel olarak üretilir, ekolojik ve nakliye masrafı düşüktür.
	Üretimi için az enerji gereklidir (örneğin kereste üretmek için).
	Dayanıklı ve uzun ömürlü malzemedir.
	Bakım ve onarımı kolaydır.
	Mal ve hizmet sunumunda malzeme kullanımını azaltmaktadır.
Sosyal Boyut	Farklı şekillerde kullanılabilirdiği için tasarımı sınırlandırmaz.
	Sağlıklı bir çevre sunmaktadır.
	Biyomalzemeler doğal malzemelerdir bu yüzden kullanımı insan sağlığına zarar vermemektedir.
	Atık biyomalzemelerin yeniden kullanımı yerel iş gücüne katkı sağlayabilmektedir.
	Yapılarda biyomalzeme kullanımı kullanıcıları ve doğayı bir araya getirdiği için psikolojik açıdan olumlu etki göstermekte, yaşam konforunu iyileştirmekte ve üretkenliği arttırmaktadır.

Dezavantajları:

- Biyomalzemeler içerisindeki liflerin suya karşı dayanımı düşük olabildiği için nem ve suya maruz kaldığında büzülme, şişme gibi bozulmalar yüzeylerinde meydana gelebilmektedir.
- Biyomalzemelerin içerisindeki su miktarını dengeli tutmak önemlidir çünkü mantar oluşumuna neden olabilir.
- İçerisinde kullanılan lifler zayıf yapışma özelliği gösterebilmektedir.
- Biyo-esaslı yapı malzemeleri ısıya karşı dayanımı beton ve çeliğe oranla daha az olabilir. Bu yüzden ahşap gibi malzemelerin yangına karşı dayanımını sağlamak için yangın geciktirici maddeler uygulanır ya da Japonya’da bulunan Shou Sugi Ban tekniği ile ahşap malzeme yakılarak ateşe karşı dayanıklı hale getirilir (Sandak ve ark., 2019; Yıldızhan ve ark, 2018).



Şekil 2.66. Shou Sugi Ban tekniği ile yapılan cephe yüzeyi (Sandak ve ark., 2019)

- Malzemenin mekanik, termal, yangına dayanım gibi özelliklere gelişime açıktır (Yadav ve Agarwal, 2021).

İnşaat sektöründe farklı alanlarda kullanılabilen biyomalzemeler çevreye zarar vermezken yapılarda konfor koşullarını sağlamaktadır. Biyomalzemelerin kullanımını arttırmak için yangına dayanımını, termal özelliklerini, bozulma özelliklerini, mekanik bazı özelliklerini değiştirmek ve boyutlarını ayarlamak gerekmektedir. Bu sayede uzun ömürlü, fonksiyonel ve bakım onarım problemleri oluşturmayan yapılar ve yapı malzemeleri tasarlamak mümkün olacaktır (Sandak ve ark., 2019).

2.5. Bölüm Sonucu Biyomalzemelerin Mimaride Kullanımının Değerlendirilmesi

Biyomalzemeler ve sürdürülebilirlik üzerine yapılan literatür araştırmaları değerlendirilerek biyomalzemelerin sahip olması gereken sürdürülebilirlik kriterleri belirlenmiştir. Bu kriterler sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarına göre aşağıdaki Çizelge 2.28’de sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.28. Biyomalzeme kriterleri ve sürdürülebilirlik kriterlerinin ortak değerlendirilmesi tablosu

	Biyomalzeme Kriterleri	Sürdürülebilirlik Kriterleri	Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri
Çevresel	Atık malzeme kullanımı	Atık malzeme azaltılması	Atık malzeme miktarını azaltma
	Farklı malzeme üretimini sağlamak, çok işlevli olmak	Doğayı kirletmemek	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği artırılabilirlik
	Dayanımı yüksek olması		
	Hafif olması		
	Doğaya yeniden geri dönebilmek	Geri dönüşüm	Doğaya geri dönüştürülebilirlik
	Çevreye zarar vermemek	Çevreye zarar vermemek	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek
	Esnek malzeme olması	Yapının üretim ve kullanım aşamalarında enerjiyi verimli kullanmak	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik
	Doğal kaynakların korunumu	Doğadaki biyoçeşitliliğe zarar vermemek	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri
	Yeniden kullanılabilir malzeme	Yeniden kullanım	Yeniden kullanılabilirlik
	Kendi enerjisini üretmek	Enerji tüketimini azaltmak	Enerjinin korunumunu sağlamak
	Nefes alabilir malzeme olması Suyu ve havayı temizleme	Hava ve su kirliliğini azaltmak	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek
Ekonomik	Doğal malzeme olması	Doğal kaynaklardan elde edilmek	Doğal malzeme kullanımı
	Kendi enerjisini üretmesi	Hammaddenin taşınırken tüketilen enerji miktarını azaltması	Enerji tüketimi azaltma
	Kolay erişim ve ulaşım	Nakliye maliyeti düşük olması	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim
	Dayanıklı, uzun ömürlü olması	Dayanıklı ve uzun ömürlü olmak	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması
	Bakım ve onarımı kolay olması	Bakım - onarımı kolay olması	Bakım ve onarımı kolay olması

Çizelge 2.28. Biyomalzeme kriterleri ve sürdürülebilirlik kriterlerinin ortak değerlendirilmesi tablosu (devam)

Biyomalzeme Kriterleri		Sürdürülebilirlik Kriterleri	Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri
Sosyal	Çevreyi algılama ve etkileşim kurma	Sosyal dokuya uyum	Uyum sağlama (Çevreyi algılayarak ışık, renk gibi etkilerle cevap verme)
	Tasarımda farkındalık bilinci	Yerel iş gücüne destek olmak	Tasarımda farkındalık Birlikler kurması (Farklı disiplinler arası çalışma), yerel iş gücüne destek olmak
	Doğa ile insan arasında iletişim	Sosyal dengeyi sağlamak	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı
	Canlıların sağlığa zarar vermemek	Sağlıklı çevre sunmak	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak
	Yeni üretim tekniklerine açık	Güvenlik	Değişir dönüşebilir olması
	Estetik	Yaşanılabilir mekanlar ve çevre	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek

Biyomalzemeler, üretiminde çevreye zararlı bir malzeme içermediği ve suyu verimli kullanarak doğal sulara karışıp zehirli atık sulara sebep olmadığı için üretim sürecinde kirliliği engellemektedir. Biyomalzemeler içerisinde birçok farklı atık malzemeyi tekrar kullandığı için üretim sürecinde atık miktarını azaltmaktadır. Bileşen olarak geri dönüştürülebilir malzemeleri içermekte ve malzemeleri yeniden kullanıma imkan sağlamaktadır. Bu sayede üretim için gerekli enerji miktarını azaltmakta ve atık malzemelerin yeniden kullanımına olanak sağlamaktadır. Bu yüzden üretim sürecinden önemler aldığı için sürdürülebilir malzemelerdir.

Sürdürülebilir malzeme çalışması kapsamında yürütülen biyomalzemeler, sürdürülebilir bir gelecek için önem taşımaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik açısından çevrenin, hammaddenin, doğal kaynakların korunumu sağlamakta, düşük enerji kullanarak kendi enerjisini üretebilmektedir. Atık malzeme miktarını azaltmakta ve atık olan malzemeleri yeniden kullanımına olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda içerisine farklı malzemeler eklenerek dayanım, akustik gibi özellikleri geliştirilebilir ve türü arttırılabilmektedir. Ekonomik boyut açısından dayanıklı ve uzun ömürlüdür, hammadde ve enerji tüketimini azaltarak bakım ve onarım kolaylığı sağlamaktadır. Biyomalzemeler doğadan elde edilen geleneksel malzemeler ile üretilebildiği için ulaşımı kolaydır.

Biyomalzemeler mimarlık alanında sürdürülebilirlik çalışmaları ve geleceğe yönelik farkındalığı sağlamakta, doğa insan ve biyolojiyi bir araya getirerek etkileşimi arttırmaktadır. Çevresine sosyal dokuya uyum sağlarken, değişip dönüşerek ve doğadaki sistemlerden örnek alarak kullanımı yeni ufukların gelişimini sağlamaktadır bu özellikleri sürdürülebilirliğin sosyal boyutu altında ele alınmaktadır (Çizelge 2.29).

Çizelge 2.29. Biyomalzeme örneklerini sürdürülebilirlik açısından değerlendirme formu

Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri	
Çevresel	Atık malzeme miktarını azaltma
	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği artırılabilirlik
	Doğaya geri dönüştürülebilirlik
	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek
	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik
	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri
	Yeniden kullanılabilirlik
	Enerji korunumunu sağlamak
	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek
	Doğal malzeme kullanımı
Ekonomik	Enerji tüketimi azaltma
	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim
	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması
	Bakım ve onarımı kolay olması
Sosyal	Uyum sağlama (Çevreyi algılayarak ışık, renk gibi etkilerle cevap verme)
	Tasarımda farkındalık
	Birlikler kurması (Farklı disiplinler arası çalışma), yerel iş gücüne destek olmak
	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı
	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak
	Değişir dönüşebilir olması
	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde biyomalzemeler üzerine yapılmış çalışmalar kullanım alanlarına göre yapı malzemesi, yapım sistemi, cephe sistemi ve endüstriyel tasarım olarak biyomalzeme sınıflarına ve kategorilere ayrılarak her başlık altında dünyada ve Türkiye’de yapılmış örnekler aşağıda yer alan Çizelge 3.1’e göre incelenmiştir. Örnekler mimarlık biyoloji ara kesitinde ve sürdürülebilir açısından ele alınarak incelenecektir. Çalışma ile biyomalzemelerin mimarlık alanındaki kullanımının artması ve gelişmesi için avantajları ile dezavantajları incelenecek ve literatür için öneriler sunulacaktır.

Çizelge 3.1. Proje inceleme çizelgesi

KULLANIM SINIFI	Proje No		Proje İsmi
	Yıl:		Proje ve Malzeme Görseli
	Yer:		
	Tasarım:		
	Proje hakkında bilgi verilen bölüm		

Günümüz mimarlık ortamında canlı organizmalar, tarımsal atık ve deniz kaynaklı atıklar kullanılarak kullanılan üretilen biyomalzemeler bulunmaktadır. Canlı organizmalar kullanılarak üretilen biomalzemeler bakteri, alg ve mantarlardan elde edilmektedir. Bu bölüm altında elde ediliş yöntemine göre bio-malzemeler gruplandırılmış ve her grup altında da kullanıldıkları yerlere örnek olabilecek projeler örnek olarak verilmiştir. Örnekler farklı coğrafyalardan, farklı zaman dilimlerinde, farklı işlevlerde ve fonksiyonlarda olacak şekilde seçilmiştir. Projeler mimarlık alanında yapılan ilk ve öncü çalışma olması ya da bu konuda başka bir örneği olmadığı için ele alınmıştır.

3.1. Mimarlık Alanında Biyomalzeme Çalışmaları

Mimarlık alanında biyomalzemeler yapı malzemesi, yapım sistemi, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarım alanında kullanılmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 3.2’de tez kapsamında incelenen örnek çalışmaların hangi malzeme çeşidi kullanılarak, nasıl bir şekilde ve nerelerde kullanıldığı sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.2. Mimarlık alanında biyomalzeme çalışmaları

Grup	Canlı Organizma Çeşitleri			Tarımsal Atıklar Kullanılarak Üretilen	Deniz Kaynaklı Atık Kullanılarak Üretilen
	Bakteri	Alg	Mantar		
Yapı Malzemesi	Biobirick Bio concrete	BioCeramic Algae Brick İndus	HY-FI Alveosis Foresta	Flat House CanMonges Ottan Pomace	Sea Stone
Yapım Sistemi	Dune Projesi	-	Mushroom Sausages Triagomy	-	-
Cephe Tasarımı	-	Sıfır Süreç BIQ Hasarlı Dünya Laboratuvar Kompleksi Bit.Bio.Bot AirBubble	NASA Myco-architecture off planet	AuReus Arboskin Pavillion	-
Endüstriyel Tasarım	Mikrobiyal Ev Biocouture Biyoplastik	Algaevator Exhale Change the System Sergisi H.O.R.T.U.S	Mycelium Mask Mantar sandalye BikeHelmet Mylo	Ohmie	Vivomer

CANLI ORGANİZMALAR KULLANILARAK ÜRETİLEN BİYOMALZEME ÇALIŞMALARI

Bakteriler;

Aşağıda bakteriler ile yapılan biyomalzeme çalışmalarının örnekleri aşağıdaki bölümde verilmiştir. Örnekler proje inceleme tablosuna göre yapım yılı, yer, tasarımcı ve proje bilgilerine göre açıklaması yapılarak yapı malzemesi, yapım sistemi ve endüstriyel tasarım olarak kategorilere ayrılarak incelenmiştir.

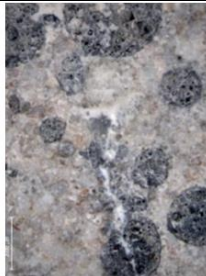
- Yapı malzemesi olarak ‘Biobrick’ ve ‘Bioconcrete’(Çizelge 3.3),
- Yapım sistemi olarak ‘Dune Projesi’ (Çizelge 3.4),
- Endüstriyel tasarım olarak ‘Mikrobiyal Ev’, ‘Biocouture’ ve ‘Biyoplastik’ incelenmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.3. Yapı malzemesi olarak kullanımı

YAPI MALZEMESİ

Proje No	A.1.1	Biobrick	
Yıl:	2012		
Yer:	ABD		
Tasarım:	Biomason		
Biomason tarafından ABD’de 2012 yılında üretilen Biobrick geleneksel tuğlalara benzer yüksek dayanıklılık ve mukavemete sahip, sert bir şekil üretmek için B. pasteurii'nin mikrobiyal simantasyon sürecini kullanılmaktadır. Biobrick'in üretim süreleri 3 gün sürmektedir. Karbon ayak izi, çevre ve insan sağlığı açısından Biobrick, inşaat alanı için çevre dostu çözümler sunmaktadır (Taylor-Foster, 2014; Deniz ve Gündoğdu,2018).			

Çizelge 3.3. Yapı malzemesi olarak kullanımı (devam)

YAPI MALZEMESİ	Proje No	A.1.2	Bioconcrete	
	Yıl:	2010		
	Yer:	Delft		
	Tasarım:	Henk Jonkers		
	Henk Jonkers tarafından 2010'da, Delft'te üretilen bioconcrete bakterilerden biyomineralizasyon süreci ile kalsiyum karbonat yani kireçtaşı mineralini üreten bakteri türünün kullanıldığı yapı malzemesidir. Bioconcrete sayesinde kalsiyum karbonat ile betonda oluşan çatlaklar doldurulmaktadır (Ataç, 2019; Deniz ve Gündoğdu, 2018).			

Çizelge 3.4. Yapım sistemi olarak kullanımı

YAPIM SİSTEMİ

Proje No	A.2.1	Dune Projesi	
Yıl:	2010		
Yer:	Londra		
Tasarım:	Magnus Larsson		
Çöl yaşamı koşulları için bir konsept, Londra'daki Architectural Association, Magnus Larsson tarafından önerilmiştir. Çöldeki kumtaşı oluşumu, çölün yayılmasına karşı korunmak için bir bariyer görevi görmek üzere çölde kumdan mimari yapı yapılarına dönüştürülebilmektedir. Bacillus pasteurii, kumu sertleştirmek için kullanılmaktadır. Doğa tarafından tasarlanan bu yapı, çok düşük bir maliyetle binlerce insan için bir koruma, nem toplayıcı ve barınak görevi görecektir (Myers ve Antonelli, 2012).			

Çizelge 3.5. Endüstriyel tasarım olarak kullanımı

ENDÜSTRİYEL TASARIM

Proje No	A.3.1	Mikrobiyal Ev
Yıl:	2011	 
Yer:	Eindhoven	
Tasarım:	Philips Design	

Eindhoven'daki Philips Design, çöpü dönüştüren kendi kendine yeten kavramsal bir ev tasarlanmıştır. Mikrobiyal çürütücünün bileşenleri, bir evin ekosistemini andıran döngüsel bir şekilde çalışmaktadır. Jack Mama ve Clive Van Heerden yiyecekleri pişirmek için enerji sağlamak üzere evde oluşan yiyecek atığını dönüştürmek için ve anaerobik çürütücünün sindirimi, toprak ve kompost kalitesini artırmak için sebze büyümesi için bir gübre olarak kullanılabilir fikrinden yola çıkmıştır. Mikrobiyal Ev, evlerdeki atık malzemeler mutfaktaki diğer malzemeleri besleyen döngüsel sistemi oluşturan bir tasarımıdır (Etherington, 2011).

Proje No	A.3.2	Biocouture
Yıl:	2011	 
Yer:	Londra	
Tasarım:	Suzanne Lee	

Suzanne Lee, 2011 yılında tekstil tasarımında mikrobiyal selülozu kullanmıştır. Mikrobiyal selüloz, kıyafet üretmek için tatlı yeşil çaydan oluşan küvetlerde büyüyen milyonlarca bakterinin birleşimidir. Bakteriyel selüloz yetiştirmek için bir biyofermantasyon yöntemi kullanmıştır. Malzeme istenilen kalınlığa ulaştıktan sonra kalıba alınarak ya da kurutulduktan sonra kesilerek şekillendirilmektedir. Amacı doğal malzemeleri kullanarak, atık oluşumunu azaltmaktır. Bir hayvan olmadan deri yetiştirmek, bakterilerin biyotasarımda kullanımı için önemli uygulamalarından biridir (Fairs, 2014).

Çizelge 3.5. Endüstriyel tasarım olarak kullanımı (devam)

Proje No	A.3.3	Biyoplastik		
Yıl:	2021			
Yer:	Londra			
Tasarım:	Shellworks			
Farklı disiplinlerden kişilerin bir araya gelmesiyle oluşan Shellworks ekibi tarafından iki yıl süren deneyler sonucunda bakteri ve mikropları kullanarak vegan plastiğe karşı sürdürülebilir çözüm önerisi sunan biyoplastik kapları tasarlamışlardır. Biyoplastik doğada zararlı mikroplastik bırakmadan bozulmak üzere tasarlanan gübrelenebilen bir malzemedir. Plastik malzemelerin %9 geri dönüştürülebilirken geri kalanı çevreyi kirletmektedir, Biyoplastik ambalajlamada plastik gibi kullanılırken ömrünün sonuna geldiğinde kendisini oluşturan bakteriler tarafından yok edilerek çevreye zarar vermemektedir. Malzeme depolama sürecinde dayanıklı ve içerisine konulacak hem su hem de yağ bazlı emülsiyonlara uyum göstermektedir (Shellworks, 2021).				

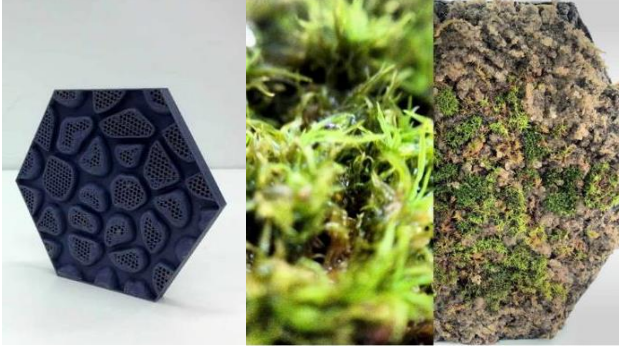
Algler;

Aşağıdaki bölümde alg çeşitleri ile yapılan biyomalzeme çalışmalarının örnekleri incelenmiştir. Örnekler proje inceleme tablosuna göre yapım yılı, yer, tasarımcı ve proje bilgilerine göre açıklaması yapılarak yapı malzemesi, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarım olarak kategorilere ayrılarak incelenmiştir.

- Yapı malzemesi olarak ‘BioCeramic System’, ‘Algae Brick’ ve ‘İndus’ (Çizelge 3.6),
- Cephe tasarımı olarak ‘Sıfır Süreç’, ‘BIQ’ ‘Hasarlı Dünya Laboratuvar Kompleksi’, ‘Bit.Bio. Bot Sergisi’ ve ‘AirBubble’ (Çizelge 3.7),
- Endüstriyel tasarım olarak ‘Algaeator’, ‘Exhale’, ‘Change the System Sergisinin bir parçası’ ve ‘H.O.R.T.U.S. XL ASTAXANTHİN.G’ (Çizelge 3.8) incelenmiştir.

Çizelge 3.6. Yapı malzemesi olarak kullanımı

YAPI MALZEMESİ

Proje No	B.1.1	BioCeramic System
Yıl:	2013	
Yer:	Barselona	
Tasarım:	Iker Luna	

Iker Luna Institute for Advanced Architecture of Catalonia’da tez kapsamında çatı yüzeylerinde kullanılabilecek, hem fotosentez yaparak kentin atmosferine katkı sağlayacak, hem de yapıda termal ve akustik performansı arttıracak, üzerinde yosun yetişen seramik karolar geliştirilmiştir. 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 (Bio Seramik,2013; Ataç, 2019).

Proje No	B.1.2	Algae Brick
Yıl:	2019-2020	
Yer:	Çin	
Tasarım:	Bartlett Mimarlık Okulu öğrencileri	

Çin’de, Bartlett Mimarlık Okulundan bir grup öğrenci, alglerin yapı malzemesi olarak kullanımını araştırmıştır ve alglerin sıkıştırılması ile hafif, sert bir bileşen oluşturmayı başarak alg tuğlaları tasarlamışlardır. Tuğlalar yosun ve kil bileşiminden oluşmaktadır. Alg tuğlaları kullanarak eko köy tasarımı yapan öğrenciler ziyaretçiler ile doğa arasında etkileşimi teşvik ederek malzeme kullanımı sorgulatmaktadır (Mao, 2020).

Çizelge 3.6. Yapı malzemesi olarak kullanımı (devam)

YAPI MALZEMESİ

Proje No	B.1.3	Indus
Yıl:	2019	
Yer:	İngiltere	
Tasarım:	Bio-ID Lab	

Indus toksik kimyasal boyaları ve ağır metalleri sudan filtreleyen, Bio-ID Lab yürütücüleri ve Bartlett Mimarlık Okulu öğrencileri tarafından tasarlanan 2019 yılında Londra Tasarım Festivalinde İngiltere’ de sergilenen seramik karolardan ve biyoreaktör sistemden oluşmaktadır. Karolar yapraktan esinlenerek damarlı kilin veya benzer düşük maliyetli yerel malzemeyi yelpaze şeklindeki kalıplara preslenmesi ile oluşturulmuştur. Kanalların arası su ile karıştırılarak kullanılan toz haldeki yosun hidrojelini yani algler ile doldurulmuştur bu sayede üzerinde dökülen suyu temizleyebilmektedir.



Şekil 3.1. Indus (Hahn, 2019)

Alg ile doldurulan karolar uygulama sırasında duvara sabitlenerek, üst kısımda bulunan su girişlerinden giren su, damar şeklindeki kanallarından geçerek biyoremediasyon işlemiyle içerisindeki kirleticileri algler parçalanmaktadır. Sudaki kirleticiler uzaklaştırılırken algler de kirleticileri kullanmakta ve su ağağında toplanmaktadır. Algler kirleticiye doyduğundaysa değiştirilebilir ve seramik tabana yeniden doldurulabilmektedir. Proje Gelecek Sistemler ve Altyapı kategorisinde A/D/O Mini Water Futures Design Challenge'ı kazanmıştır (Hahn, 2019; Aldeghi, 2019; Innovative Bio-Integrated Design, 2019).

Çizelge 3.7. Cephe tasarımı olarak kullanımı

CEPHE TASARIMI

Proje No	B.2.1	Sıfır Süreç
Yıl:	2011	
Yer:	Los Angeles	
Tasarım:	HOK ve Vanderweil	

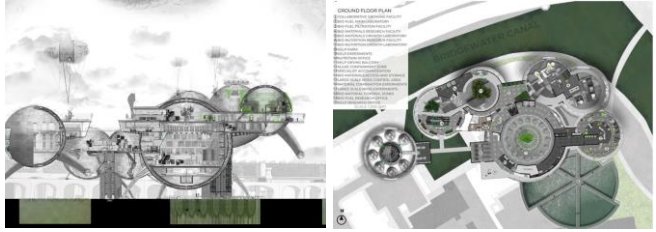
Los Angeles'ta 1960'lardan kalma 8 katlı tipik bir betonarme kamu binasının sera gazı salımını % 30 azaltacak şekilde yenilenmesi konusu ile Metropolis dergisinin, Gelecek Nesil Tasarım Yarışması 2011 yılı birincilik ödülünü "Sıfır Süreç: Retrofit Çözümü" adlı proje ile HOK ve Vanderweil firmaları kazanmıştır. Alglar binanın enerji ihtiyacının % 9'unu sağlama, pis suyu filtreleme, çevreye O² verme ve ofisleri gölgeleme amaçlı kullanılacaktır (Bernard, 2011; Tokuç, Köktürk ve Savaşır, 2019).

Proje No	B.2.2	BIQ
Yıl:	2013	
Yer:	Hamburg	
Tasarım:	Mimar Splitterwerk ve Graz, Arup Mühendislik	

Avusturyalı mimarlar Splitterwerk ve Graz, Arup Mühendislik ile Akıllı Malzemeli Ev Yarışması için FBR cepheli bir yapı tasarlamıştır. 2013'te Uluslararası Bina Sergisi kapsamında, Hamburg'da inşa edilmiştir. Oluşturulan sistemde FBR'ler, binaya raylar üzerinde hareket eden ikinci bir cephe olarak kurulmuştur. 129 adet FBR elemanı ile 200 m² net yüzey alanı olan projede cepheler sayesinde 30 kWh/m² karşılığı biyokütle ve 150 kWh/m² ısı enerjisi üretimi gerçekleşmiş, CO² salımında 6 ton azalmıştır (Tokuç, Köktürk ve Savaşır, 2019).

Çizelge 3.7. Cephe tasarımı olarak kullanımı (devam)

CEPHE TASARIMI

Proje No	B.2.3	Hasarlı Dünya Laboratuvar Kompleksi
Yıl:	2020	
Yer:	İngiltere	
Tasarım:	Kyle Crossley	

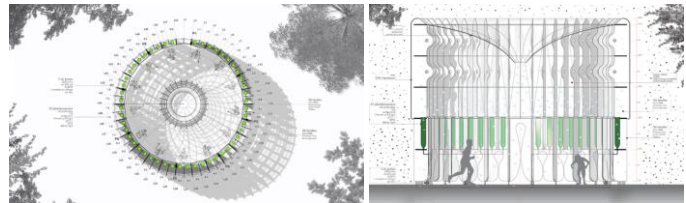
Çevresel iklim krizine karşı Kyle Crossley İngiltere’de 'hasarlı dünya' laboratuvar kompleksini hayal etmiştir. Hasarlı dünya havayı temizlemek, sürdürülebilir gıda üretmek, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak için cephe sistemlerinde ve yosun çiftliklerinde alg kullanılmaktadır. Proje araştırma tesisi de içermektedir. Mimarlar yetiştirebildikleri algler ve yosunlar ile biyomalzemeler üzerinde çalışma yapabilecektir. 2020 yılındaki AJ Öğrenci Sürdürülebilirlik Ödülü için seçilen sekiz öğrenci projesinden biri olan Hasarlı Dünya kısa listeye alınmıştır (Katsikopoulou, 2020; Hartman, 2020).

Proje No	B.2.4	Bit.Bio.Bot Sergisi
Yıl:	2021	
Yer:	Venedik	
Tasarım:	EcoLogicStudio	

2021 Venedik Mimarlık Bienal’inde EcoLogicStudio tarafından ziyaretçilere havanın temizlenmesini, taze yetişen algleri tatmayı, kendi evlerinde alg yetiştirmeyi düşünmeye davet eden Bit.Bio.Bot sergisi tasarlanmıştır. Sergi hava temizleyicilerden oluşan canlı kaplama biçimindeki duvarlar, yosun yetiştirilmesini sağlayan dikey bahçe ve algleri denemek ve tatmak bir masa enstalasyonundan oluşmaktadır. Algler en besleyici organizmalardan biri olduğu için sergide yetiştirilen spirulina platensis ve chlorella alg türleri sağlık takviyesi olarak da tüketilmektedir. Sergideki PhotoSynthEtica kaplama havayı temizleyecek, güneş kırıcı ve fotobiyoreaktör görevinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Dikey Bahçe üç metre yüksekliğindeki çelik yapıların üzerinde bulunan 15 BioBombola ünitesinden oluşmaktadır. BioBombola laboratuvar sınıfı borosilikat camdan ve 3D baskılı biyoplastikten yapılmıştır, haftada yaklaşık 100 gram yenilebilir alg üretmektedir (EcoLogicStudio, 2021).

Çizelge 3.7. Cephe tasarımı olarak kullanımı (devam)

CEPHE TASARIMI

Proje No	B.2.5	AirBubble
Yıl:	2021	
Yer:	Polonya-Varşova	
Tasarım:	EcoLogic Studio	

Airbubble algleri çocuk oyun alanı ile birleştiren ilk biyoteknolojik oyun alanı olarak tasarlanmıştır. Proje Copernicus Bilim Merkezi'nin dışındaki halka açık yeşil alanda yer almaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre hava kirliliği küresel ölçekte en büyük sağlık tehdididir. Varşova, Avrupa'nın en kirli şehirlerinden biri olduğu için bu proje için ilk aktivasyon olarak seçilmiştir (AirBubble, 2021).



Şekil 3.2. AirBubble (AirBubble, 2021)

Airbubble, 52 adet cam alg reaktörünü koruyan bir ETFE zarına sarılmış silindirik bir ahşap yapıdır. Oyun alanında PhotoSynthetica teknolojisini kullanarak alglerin fotosentez yapması sağlanmıştır, PhotoSynthetica EcoLogicStudio tarafından 2018'de Dublin'de sergilenen alg perde sisteminden oluşan ETFE membrandır. Ters çevrilmiş konik çatı şeklinde olan ETFE membran oyun alanı içerisindeki hava sirkülasyonunu sağlar içerideki havayı temizler. Oyun alanı içerisinde halatlar, zıplama küreleri, ayak pompaları bulunmaktadır hem bir oyun alanı hem de açık hava sınıfıdır. EcoLogicStudio'nun kurucu ortağı Marco Poletto' ya göre: "Doğal sistemlerin biyo-zekasını şehirlere taşımanın, binaları enerji üreten, CO2 depolayan ve havayı temizleyen canlı makinelere dönüştürmenin henüz keşfedilmemiş bir değeri var. Bunu başarmak için, yaşayan dünyayı mevcut dijital devrimin bir parçası olarak düşünmemiz gerekiyor: doğa, yeni bir biyo-akıllı altyapının parçası haline geliyor." (AirBubble, 2021).

Çizelge 3.8. Endüstriyel tasarım olarak kullanımı

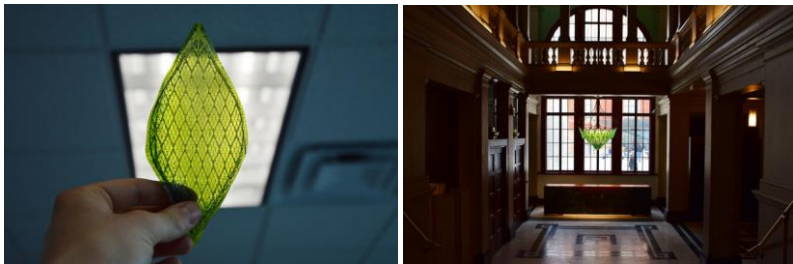
ENDÜSTRİYEL TASARIM

Proje No	B.3.1	Algaevator
Yıl:	2016	
Yer:	Cambridge	
Tasarım:	MIT	

MIT'de 2016'da tasarlanan Algaevator, karbondioksit ve güneş ışığının kullanımı yoluyla alg üretimini artırmak için oluşturulan yapay bir ortamdır. Bu öneri, hava geçirmez bir çatı sistemi oluşturmaktadır (Algevatör, 2016).

Proje No	B.3.2	Exhale
Yıl:	Londra	
Yer:	2017	
Tasarım:	Julian Melchiorri	

Exhale 2017'de Julia Melchiorri tarafından tasarlanan, içi yeşil alglerle dolu içerideki karbondioksiti emen yerine oksijen veren iç mekan havasını temizleyen cam yapraklara sahip biyonik avizedir. El yapımı olarak üretilen avizde yetmiş kez kendini tekrarlayan üç farklı cam yaprak modülü kullanılmıştır. Biyonik avize içerisindeki algleri canlı tutan ve besleyen yaşam destek cihazına bağlıdır. Tasarımda biyomimikrinin işlev yoluyla şekillendirme yaklaşımından esinlenerek yapay dünyaya biyolojik süreçleri entegre etmek için doğayı taklit ederek sürdürülebilir çözüm bulmak istemiştir. Exhale, Londra Tasarım Haftası 2017 için V&A Müzesi'nde sergilenmiştir, V&A koleksiyonunun bir parçası olarak ve Melchiorri'ye tasarımıyla Gelişen Yetenek Ödülü'nü kazanmıştır (Melchiorri, 2017; Liastro, 2020).



Şekil 3.3. Exhale (Melchiorri, 2017; Liastro, 2020)

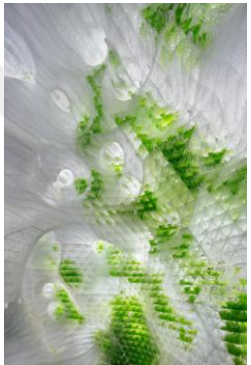
Şekil 3.3. Exhale (Melchiorri, 2017; Liastro, 2020)

Çizelge 3.8. Endüstriyel tasarım olarak kullanımı (devam)

ENDÜSTRİYEL TASARIM

Proje No	B.3.3	<i>Change the System sergisinin bir parçası</i>
Yıl:	2018	
Yer:	Rotterdam	
Tasarım:	Eric Klarenbeek ve Maartje Dros	

Hollandalı tasarımcılar Eric Klarenbeek ve Maartje Dros tarafından 3D olarak basılabilen ve plastiğe yeşil alternatif olacak yosunlardan yapılmış bir biyoplastik geliştirmiştir. Klarenbeek ve Dros algleri yetiştirerek, kurutup 3D baskı için kullanılabilecek bir malzeme haline getirmektedir (Morris, 2017).

Proje No	B.3.4	<i>H.O.R.T.U.S. XL ASTAXANTHIN.G</i>
Yıl:	2020	 
Yer:	Paris- Centre Pompidou, Tokyo- Mori Sanat Müzesi, , Avusturya- MAK	
Tasarım:	EcoLogic Studio	

EcoLogicStudio ve Innsbruck Üniversitesi'ndeki Sentetik Peyzaj Laboratuvarı ile işbirliği içinde gerçekleştirilen HORTUS XL Astaxanthin.g, 3D baskılı bir biyo-heykeldir. Projede yaşamak kavramı üzerinde durularak, canlı organizma olan alglerle işbirliği içinde dijital algoritma ile kolektif mercan morfogenezin büyümesinden ilhamla simüle ederek tasarlanmıştır. Fotosentetik bakteriler, 18,5 cm'lik altıgen bloklar ve 46 mm'lik üçgen birimlerle (biyopiksel) oluşturacak şekilde 3D baskı makineleri ile üretilen yapı içerisine aşılanmıştır. Bu sayede fotosentez yapan siyanobakteriler radyasyonu oksijen ve biyokütleye dönüştürmektedir. Her bir biyopiksel üzerindeki bakteri yoğunluğu dijital olarak hesaplanmıştır (HORTUS XL Astaxanthin.g, 2020).

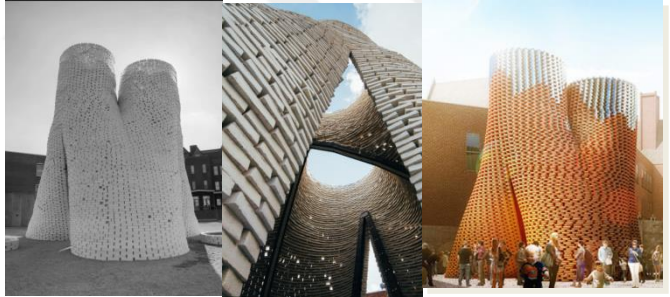
Mantarlar;

Aşağıdaki bölümde mantarlar ile yapılan biyomalzeme çalışmalarının örnekleri incelenmiştir. Örnekler proje inceleme tablosuna göre yapım yılı, yer, tasarımcı ve proje bilgilerine göre açıklaması yapılarak yapı malzemesi, yapım sistemi, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarım olarak kategorilere ayrılarak incelenmiştir.

- Yapı malzemesi olarak ‘HY-FI, ‘Alveosis’ ve ‘Foresta Akustik Sistemi’ (Çizelge 3.9),
- Yapım sistemi olarak ‘Mushroom Sausages’ ve ‘Triagomy’(Çizelge 3.10),
- Cephe tasarımı olarak ‘NASA Myco-architecture off planet’(Çizelge 3.11),
- Endüstriyel tasarım olarak ‘Mycelium Mask’, ‘Mantar sandalye’, ‘Bike Helmet’ ve ‘Stan Smith Mylo’ (Çizelge 3.12) incelenmiştir.

Çizelge 3.9. Yapı malzemesi olarak kullanımı

YAPI MALZEMESİ

Proje No	C.1.1	HY-FI
Yıl:	2014	
Yer:	New York	
Tasarım:	David Benjamin	

Hy-Fi 2014 yılında New York'ta Moma PS1'da Genç Mimarlar Programı için David Benjamin tarafından tasarlanmıştır. Hy-Fi'nin baca şeklindeki tasarımı iklim kontrolünün sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Yapıda kullanılan 10.000 miselyum tuğla, miselyum ve mısır sapları gibi tarımsal atıklardan üretilmiştir. Miselyum ve mısır saplarından oluşan karışım beş gün içerisinde bir enerjiye gereksinim duymadan oluşmaktadır. Oluşan tuğlalar hafif, sürdürülebilir ve maliyeti azdır. Yapı yaşam döngüsünün sonunda kompostlama yoluyla doğaya geri dönecek şekilde tasarlanmıştır (Hy-Fi, 2014).

Çizelge 3.9. Yapı malzemesi olarak kullanımı (devam)

YAPI MALZEMESİ

Proje No	C.1.2	Alveosis
Yıl:	2017	 
Yer:	Antalya / Türkiye	
Tasarım:	Nilüfer Kozikoğlu ve Urban Atölye	

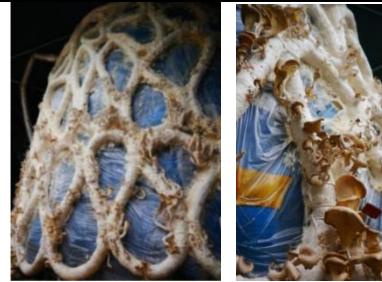
Alveosis, Nilüfer Kozikoğlu ve Urban Atölye tarafından 2017’de IV. Antalya Uluslararası Mimarlık Bienali kapsamında tasarlanmış ve Fibrobeton tarafından üretilmiştir. Bir tekstil kalıp içerisinde mantar misellerinin büyütülmesini için yeni bir teknikle üretilmiştir. Tekstil kalıp, 3x3x5m metal çerçeve içinde halatlarla askıya alınmıştır. Gerilen kumaşın içi talaş ve miselyum ile doldurulmuştur. Gerilmiş olan bu forma 3 cm cam elyaf takviyeli beton tabakalar halinde püskürtülerek yapının sertleşmesi sağlanmıştır (Alveosis, 2017; Sertkaya, Tokuç, 2020).

Proje No	C.1.3	Foresta Akustik Sistemi
Yıl:	2021	 
Yer:	İtalya	
Tasarım:	Mogu ve Arup Group	

Mogu ve Arup Group şirketleri tarafından 2021 yılında tasarlanan Foresta Akustik Sistem projesi pandemi sonrası çalışma alanlarında kullanılabilecek bir seçenek olarak sürdürülebilir ilk miselyum akustik panel projelerinden biridir. Malzeme olarak paneller içerisinde tarımsal artıklar ve mantarlar kullanılarak akustik modüller yapılmıştır. Sistemin çerçeve sistemi kayın ağacındandır. Tasarımda bu malzemelerin kullanılması ile al-kullan-at döngüsünden çıkarak dairesel bir sistem benimsemişlerdir. Foresta sistemindeki bileşenler kullanım ömrünü tamamladığında kompostlanabilmektedir (Foresta Acoustic System, 2021).

Çizelge 3.10. Yapım sistemi olarak kullanımı

YAPIM SİSTEMİ

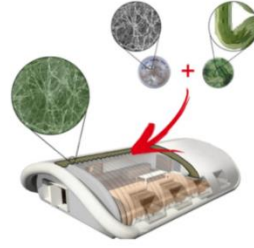
Proje No	C.2.1	Mushroom Sausages
Yıl:	2017	
Yer:	Londra	
Tasarım:	Astudio ve Aleksi Vesaluoma	

Astudio ile Aleksi Vesaluoma mimarlık firması tarafından karton ve sıkıştırılmış istiridye mantarı kullanılarak tasarlanmıştır. Malzeme "mantar sosisleri" olarak adlandırılan kalıba doldurulmuştur. Dört haftalık bir süre boyunca büyümeye bırakılmışlardır. Oluşan yapı tutkal gibi birbirine bağlanmakta ve çevre dostu bir alternatif malzeme ve yapım sistemi sağlayabilmektedir (Cox, 2017).

Proje No	C.2.2	Triagomy
Yıl:	2017	
Yer:	Londra	
Tasarım:	Biohm	

Yapılarda bağlantı elemanı, bağlayıcı olmadan yıkılıp yeniden inşa edilmesini gerektirmeyen, saha alanı dışında üretilerek zaman, enerji tasarrufu ve maliyetin azaltmasını sağlayan sürdürülebilir döngüsel bir inşa sistemidir. Geleneksel yapım sistemleriyle çevresel açıdan karşılaştırıldığında: atık oluşumunu %74, karbon ayak izini %42 azaltmaktadır. Dekonstrüksiyonla uygulanmakta, esneklik sağlamakta ve insan sağlığına zarar vermemektedir. Ekonomik açıdan, yerinde montajı yapıldığı için maliyet, zaman, işçilikten tasarruf sağlamaktadır. Yapım sistemi yaşam döngüsü boyunca yeniden kullanılarak ve atık oluşumunu azaltmaktadır. Tasarımlar için kat yüksekliğinin veya boyutlarının değişimine izin veren bir sistemdir (Triagomy, 2022).

Çizelge 3.11. Cephe tasarımı olarak kullanımı

CEPHE TASARIMI	Proje No	C.3.1	NASA Myco-architecture off planet
	Yıl:	2018	
	Yer:	Mars-Ay	
	Tasarım:	NASA	
	NASA miselyum üzerinde çeşitli biyolojik çalışmalar yaparak malzemenin dünya dışındaki yapılarda kullanılmaya uygunluğunu test etmiştir. Yaşam alanının tasarımı Redhouse Studio tarafından gerçekleştirilmiştir. Ekip, büyüme ortamını kontrol eden ve Mars'ta çevre kirliliği yaratmayacak hafif bir barınak için açılır bir torba benzeri tasarım üzerinde çalışmıştır. Tasarımda hafif, pratik bir çözüm önerisi getirilmiştir. Miselyumun ve siyanobakterilerin yetiştirildiği alan dış kabuk olarak düşünülmüştür (Rothschild vd., 2019; “Myco-architecture off planet”, 2018).		

Çizelge 3.12. Endüstriyel tasarım olarak kullanımı

ENDÜSTRİYEL TASARIM

Proje No	C.4.1	Mycelium Mask
Yıl:	2020	
Yer:	Kore	
Tasarım:	Kuo Duo	

Mycelium Mask, 2020 yılında Kuo Duo tarafından tasarlanan miselyumdan yapılmış beş adet maskedir. Miselyum, büyümek için doğal atıkları tüketen ve doğada parçalanarak sürdürülebilir bir malzeme olması ve halk tarafından henüz çok bilinen biyomalzeme olmadığı için tercih edilmiştir (Mycelium Mask, 2020).



Şekil 3.4. Miselyum maske üretimi (Mycelium Mask, 2020)

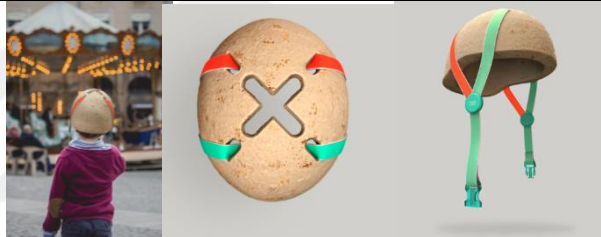
Tasarım sırasında miselyum üzerinde yapılan çeşitli deneyler sonucunda miselyumun ne kadar çok büyüyüp, parçalanarak incelendiğinde o kadar mukavemetinin arttığı ve beyazladığı sonucuna ulaşılmıştır. Bundan dolayı bu işlem üç veya dört kez tekrarlanmaktadır. Malzeme kalıplara döküldüğünde istenilen şekli alabilmektedir. Karışımın yumuşak beyaz dokusu bulunmaktadır. Maske kuruyana kadar fırında bekletildikten sonra kullanıma hazır hale gelmektedir. Kuo Duo biyomalzemeyi insanlarla bir araya getirmek için Kasım 2020'de Gwacheon Ulusal Bilim Müzesinde biyomalzeme atölyesi düzenlemiştir. Maskelerle, miselyumun avantajlarının gösterilmesi amaçlanmaktadır (Mycelium Mask, 2020; Mushroom Mycelium Mask, 2020).

Çizelge 3.12. Endüstriyel tasarım olarak kullanımı (devam)

ENDÜSTRİYEL TASARIM

Proje No	C.4.2	Mantar Sandalye
Yıl:	2013	
Yer:	Hollanda	
Tasarım:	Eric Klarenbeek	

Wageningen Üniversitesi'ndeki araştırmacılarla birlikte çalışan tasarımcı Eric Klarenbeek, miselyumdan sağlam, hafif, dayanıklı 3B baskılı sandalyeler üretmiştir. Yüzeyinde mantarlar filizlenmeye başladıktan sonra büyümesini önlemek için kurutulmuştur (Mycelium Chair, 2013).

Proje No	C.4.3	Bike Helmet
Yıl:	2021	
Yer:	Meksika	
Tasarım:	NOS-Polybion	

Nos ve Polybion işbirliği ile saman ve köpük gibi gelişen miselyum malzeme kullanılarak tamamı kompostlanabilirken darbelere karşı koruyan dünyanın ilk biyo-fabrikasyon bisiklet kaskı tasarlanmıştır. Bisiklet, scooter ve motosiklet gibi ulaşım araçlarına akıllı telefonlarla ulaşılırken kullanıcılara güvenlik önlemi sağlamamaktadır. Bu soruna çözüm olarak erişilebilir geçici kullanımlı bir kask tasarlanmıştır. İlk aşamada çocuklar için tasarlanan kendilerini yetiştirebileceği kask büyümeye devam ettikçe yetişkinler tarafından kullanılabilir (Grow It Yourself Helmet, 2021; Neira, 2021).



Şekil 3.5. Bike Helmet (Neira, 2021)

Şekil 3.5. Bike Helmet (Neira, 2021)

Çizelge 3.12. Endüstriyel tasarım olarak kullanımı (devam)

ENDÜSTRİYEL TASARIM

Proje No	C.4.4	Stan Smith Mylo
Yıl:	2021	
Yer:	-	
Tasarım:	Adidas- Bolt Threads	

Adidas ve Bolt Threads ortaklığıyla üretilen Mylo’da plastik atıkların azalması için deri gibi görünen, yumuşak, esnek ve yenilenebilir malzeme olan mantar miselyumu kullanılarak Adidas’ın Stan Smith ayakkabı modeli tasarlanmıştır. Mantarlar iki haftadan daha kısa sürede dikey tarım yöntemi ile üretilmiştir. Ayakkabının dışındaki üst kısım ve marka logosu miselyumdan orta tabanı ise doğal kauçuktan yapılmıştır (Stan Smith Mylo, 2021).



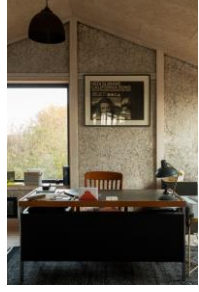
Şekil 3.6.Mylo'nun üretimi (Stan Smith Mylo, 2021)

TARIMSAL ATIK KULLANILARAK ÜRETİLEN BİYOMALZEME ÇALIŞMALARI

Geleneksel biyomalzeme örnekleri olarak tarımsal atık kullanılarak üretilen biyomalzeme çalışmaları bu bölümde incelenmiştir. Örnekler proje inceleme tablosuna göre yapım yılı, yer, tasarımcı ve proje bilgilerine göre açıklaması yapılarak yapı malzemesi, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarım olarak gruba ayrılmıştır. İncelenen projeler aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Yapı malzemesi olarak ‘Flat House’, ‘Can Monges’, ‘Ottan’, ‘Pomace’; cephe tasarımı olarak ‘AuReus’, ‘Arboskin Pavillion’; endüstriyel tasarım olarak ‘Ohmie’ incelenmiştir (Çizelge 3.13, 3.14, 3.15).

Çizelge 3.13. Yapı malzemesi olarak kullanımı

YAPI MALZEMESİ

Proje No	D.1.1	Flat House
Yıl:	2019	 
Yer:	Cambridgeshire / İngiltere	
Tasarım:	Practice Architecture	

2019 yılında Practice Architecture tarafından inşa edilen 100 m²'lik proje, kenevir ve keten içeren biyoplastik geliştiren Ar-Ge tesisi olan Margent Çiftliği içerisinde bulunmaktadır. Çiftlikte yetiştirilen kenevirler kullanılarak mevcut ahır yerine inşa edilen yapı mimar, mühendis, malzeme uzmanı gibi farklı disiplinlerden katılımcılarla iki günde inşa edilmiştir. Yapıda kenevir ve kireç karışımı ile oluşturulan hempcrete (kenevir beton) kullanılarak prefabrik paneller geliştirilmiştir (Şekil 69). Evin duvarları ahşap çerçeve arasına yerleştirilen prafabrik paneller kullanılarak inşa edilmiştir. Cephede kullanılan paneller yulaf kabuğu, mısır koçanı gibi tarımsal atıklar ve kenevir reçine ile karıştırılarak oluşturulmuştur. İç duvarlarda üzeri kapatılmayan kenevir paneller ısı ve ses yalıtımı sağlamaktadır. Sürdürülebilir malzeme arayışı sonucu geliştirilen evde kenevir küf oluşumunu önleyerek iç mekandaki nemi kontrol altında tutmaktadır (Akbülbül,2021; Flat House,2020; Flat House, 2019).

Şekil 3.7. Flat House (Flat House,2020; Flat House, 2019)

Kendi elektriğini üreten düşük karbonlu eve geniş camlı yaşam alanından girilmektedir ve içerisinde üç yatak odası, mutfak ve kış bahçesi bulunmaktadır. Evin arkasında yerden ahşap ayaklarla yükseltilmiş stüdyo binası bulunmaktadır. Stüdyo da prefabrik paneller kullanılarak inşa edilmiştir. Proje kenevirin kullanılmasının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir (Akbülbül,2021; Flat House,2020; Flat House, 2019).



Şekil 3.7. Flat House (Flat House,2020; Flat House, 2019)

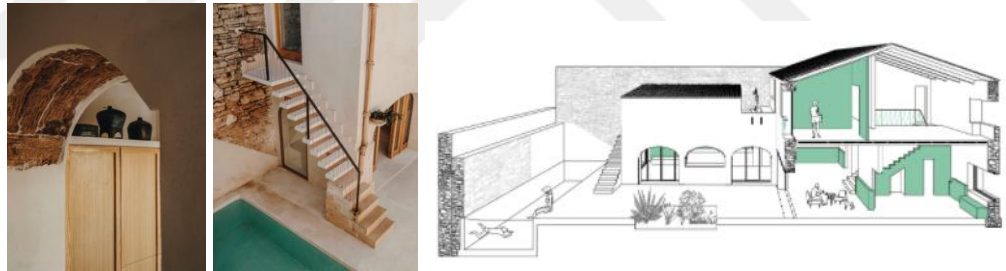
Kendi elektriğini üreten düşük karbonlu eve geniş camlı yaşam alanından girilmektedir ve içerisinde üç yatak odası, mutfak ve kış bahçesi bulunmaktadır. Evin arkasında yerden ahşap ayaklarla yükseltilmiş stüdyo binası bulunmaktadır. Stüdyo da prefabrik paneller kullanılarak inşa edilmiştir. Proje kenevirin kullanılmasının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir (Akbülbül,2021; Flat House,2020; Flat House, 2019).

Çizelge 3.13. Yapı malzemesi olarak kullanımı (devam)

YAPI MALZEMESİ

Proje No	D.1.2	Can Monges
Yıl:	2021	
Yer:	Mallorca-İspanya	
Tasarım:	Ideo Arquitectura	

200 yıllık bir evin renovasyon projesi için küresel düşün yerel hareket et fikri ile yola çıkılmıştır. Malzeme, yerel kaynak kullanımı ve sıfır kirlilik yaratacak şekilde mekana dönüşmüştür. Evdeki nem problemini çözmek, iç mekan ısısını korumak ve enerji tasarrufu sağlamak için kenevir kullanılmıştır. Evin tüm zemin katının üzerinden geçen 1 metre yüksekliğindeki kenevir sütun zemindeki havayı toplayarak iç mekana iletmekte böylece duvarların kuru kalmasını sağlamaktadır. İç mekandaki nem cephelerdeki seramik havalandırma delikleri ile dışarı çıkmaktadır (Can Monges, 2022).



Şekil 3.8. Can Monges (Can Monges, 2022)

Kenevir hızlı büyüyen, dayanıklı ve ısı kapasitesi yüksek olduğu çatılarda; akustik açıdan da iç duvarlarda kullanılmıştır. Merdiven korkulukları kenevir halattan yapılmıştır. Yapıdan çıkan molozlar cephe duvarlarını güçlendirmek için kullanılmıştır. Eski mobilyalardan kalan yerel malzeme olan marés bloklar; döşemelerde, cephe lentolarında, mobilyalarda yeniden kullanılmıştır. Kil ve seramik oluk ve yağmur iniş borularında kullanılmıştır. Cephe ve pencerelerde yerel malzeme olan ahşap kullanılmıştır. Mallorca’ da duvar ve cephelerde kullanılan kireç, tavan ve zeminde kullanılmıştır (Can Monges, 2022).

Şekil 3.8. Can Monges (Can Monges, 2022)

Kenevir hızlı büyüyen, dayanıklı ve ısı kapasitesi yüksek olduğu çatılarda; akustik açıdan da iç duvarlarda kullanılmıştır. Merdiven korkulukları kenevir halattan yapılmıştır. Yapıdan çıkan molozlar cephe duvarlarını güçlendirmek için kullanılmıştır. Eski mobilyalardan kalan yerel malzeme olan marés bloklar; döşemelerde, cephe lentolarında, mobilyalarda yeniden kullanılmıştır. Kil ve seramik oluk ve yağmur iniş borularında kullanılmıştır. Cephe ve pencerelerde yerel malzeme olan ahşap kullanılmıştır. Mallorca’ da duvar ve cephelerde kullanılan kireç, tavan ve zeminde kullanılmıştır (Can Monges, 2022).

Çizelge 3.13. Yapı malzemesi olarak kullanımı (devam)

YAPI MALZEMESİ

Proje No	D.1.3	Ottan
Yıl:	2022	 
Yer:	İstanbul - Türkiye	
Tasarım:	Ottan Stüdyo	

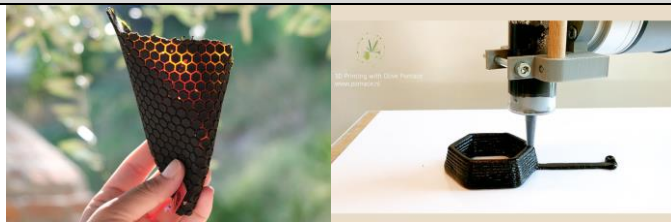
Ayşe Yılmaz 2017’de çeşitli gıda ve tarımsal atıkların ileri dönüşümüyle döngüsel biyo-kopmozit malzeme tasarlayan Ottan Studio'yu İstanbul’da kurmuştur. Biyokompozit malzemeler mobilya, dekorasyon ürünleri, akustik malzemeler, otomobil iç mekan tasarımı, aydınlatma elemanı ve mimari panellerde kullanılmaktadır. Atık malzemelerden üretilen ürünler yeniden kullanımını teşvik etmektedir. Tasarlanan ürünler atık malzemelerden üretildiği için yeniden kullanımı teşvik etmekte; su geçirmez, gıda ürünleri ile temasa uygundur (Ottan, 2022).

Şekil 3.9. Ottan Malzemelerin Farklı Kullanımı (Ottan, 2022)

Malzemeler kolay temizlenebilir, ateşe dayanıklı, pürüzsüz yüzey, opak- yarı saydam özelliklere sahiptir. Örneğin malzemelerden biri olan Tomato Jam son kullanma tarihi geçmiş kırmızı mercimek ve yeşil reçineden üretilmiş ve %72 yeşil atıklardan oluşmaktadır. Tomato Jam farklı boyut ve kalınlığa sahip olacak şekilde üretilmektedir. Malzemeler 3D kalıplama, sıcak bükme, vidalama, testere, CNC yönlendirme, zımpara yöntemlerini takip ederek elde edilmektedir (Ottan, 2022).

Çizelge 3.13. Yapı malzemesi olarak kullanımı (devam)

YAPI MALZEMESİ

Proje No	D.1.4	Pomace
Yıl:	2021	
Yer:	Türkiye - Hollanda	
Tasarım:	Project Pomace	

Pomace, döngüsel uygulamaya yönelik biyo-bazlı malzemelerle yapılan deneyleri içermektedir, Hollanda ve Türkiye arasındaki ortak bir tasarım araştırmasıdır. Projede, İzmir Karaburun'daki eski zeytin yetiştirme uygulamalarının kendine özgü döngüsel özelliğinden esinlenilmiştir. Zeytin ve yan ürünlerinin üretiminden biyolojik kalıntılar ortaya çıkarmaktadır. Zeytinyağı üretimi sırasında ortaya çıkan pirina olarak bilinen malzemenin biyolojik bir hammadde olarak farklı tasarım alanlarında kullanımı üzerinde çalışmaktadırlar. Bu araştırmalar sonucunda *pomastic* adı verilen bir biyoplastik geliştirmiştir. Proje ekibi, Pomace'nin farklı kullanımlarını araştırmakta ve prototip ürünler geliştirmektedir (Türkdoğan, 2020).



The diagram illustrates the Pomace production process. It starts with Zeytin (Olive) and Zeytin Yağı (Olive Oil). Zeytin is processed into Zeytin Prınası (Olive Pulp). Zeytin Prınası is then combined with Toz Özü (Powder) and Biyopolimer (Biopolymer) to form a mixture. This mixture is then combined with Su (Water) to create the final 3D Baskı (3D Print) product.

Şekil 3.10. Pomace üretimi (Türkdoğan, 2020)

Çizelge 3.14. Endüstriyel tasarım olarak kullanımı

ENDÜSTRİYEL TASARIM

Proje No	D.2.1	Ohmie
Yıl:	2021	
Yer:	Milano - İtalya	
Tasarım:	Krill Desing	

Ohmie, Krill Desing tarafından 2021 yılında İtalya’da bulunan atık portakal kabuklarını kullanarak 3D baskı ile üretilen lamba tasarımıdır. Tasarımda portakal kullanılmasının sebebi Sicilya ve İtalya’nın her yerinde ulaşılabilir olması ve Sicilya’nın portakal üretiminde %3’lük bir orana sahip olmasıdır. Her yıl 1,3 milyar ton doğal malzeme çöpe atılırken bu malzemeleri kullanarak yeni ürünler tasarlayabilir miyiz düşüncesi ile yola çıkmışlardır. Bir adet lamba için bir ailenin attığı iki veya üç portakal kabuğu kullanılmaktadır (Finney, 2021; Ohmie, 2021).



Şekil 3.11. Ohmie Bileşenleri (Finney, 2021)

Tarımsal atıklarının kullanılmasıyla üretilen lamba 23 cm yüksekliğinde ve 150 gr ağırlığındadır. Portakal kabukları nem seviyesi %4 altına düşüncene kadar kurutulur ve öğütülür, sebze nişastası ile birleştirilerek; turuncu polimer pelet üretilmektedir. Peletten elde edilen filamentle Ohmie 3D olarak yazdırılmaktadır. Ohmie kullanılamaz duruma geldiğinde parçalara ayrılıp evdeki organik atıklarla birlikte kompost tesislerinde komposta veya biyoatığa dönüşebilmektedir (Finney, 2021; Krilldesing, 2021).

Çizelge 3.15. Cephe tasarımı olarak kullanımı

CEPHE TASARIMI

Proje No	D.3.1	AuReus
Yıl:	2018	
Yer:	Philippines	
Tasarım:	Carvey Ehren Maigne	

Mapua Üniversitesi öğrencisi Carvey Ehren Maigne tarafından güneş ışığından gelen UV ışınlarını emerek elektrik enerjisine dönüştüren sistem, tarım atıkları kullanılarak üretilmiştir. Tasarım 2020 yılında James Dyson Sürdürülebilirlik Ödülü'nü kazanmıştır. Standart güneş panelleri ile karşılaştırıldığında yarı saydam olan AuReus görünmez UV ışınlarından da güç toplayabilmektedir. Pencere ve cephelerin bu malzeme ile kaplanmasıyla dikey güneş enerji çiftlikleri oluşturulabilecektir. Yüksek enerjili parçacıklar sebze ve meyvelerden üretilen AuReus'taki ısıldayan parçacıklar tarafından emilir. PV hücreleri, yayılan görünür ışığı yakalamak için kenarlara yerleştirilir ve yakalanan görünür ışık DC elektriğe dönüştürülür. Filipinlerdeki şiddetli yağmurlar ile çiftçiler tarım ürünlerini kaybetmektedir bu yüzden Carvey kullanılmayan tarımsal atıkların kullanılmaya yönelmiştir bu sayede çiftçiler de kazanç sağlayabilecektir. Montreal Kongre Merkezi'nde uygulanan AuREUS teknolojisi ile ek 18kW güç elde edilebilecektir. Carvey Ehren Maigne tasarımı ile 35. MAPUA EECE Tez Kolokyumundan iki ödül ve ertelenmiş bir yenilenebilir enerji konferansında uluslararası bir sunum için davet almıştır (The James Dyson Award, 2020; Hahn, 2020).



Şekil 3.12. AuReus malzeme detayları (Hahn, 2020)

Çizelge 3.15. Cephe tasarımı olarak kullanımı (devam)

CEPHE TASARIMI

Proje No	D.3.2	Arboskin Pavillion
Yıl:	2013	
Yer:	Stuttgart/ Almanya	
Tasarım:	ITKE	

Arboskin pavyonu; nişasta, selüloz, lignin ve biyopolimerler gibi malzemelerden Arboblend olarak isimlendirilen biyoplastik üretilmiştir. Yapı % 90'ın üzerinde yenilenebilir malzemeler içermektedir ve bir binanın yangın çıkışı olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Biyoplastik kabuk delinebilir, yüksek sıcaklıkta lazerle kesilebilir, kalıplanarak farklı bileşenler edilebilmektedir. Yapıyı oluşturmak için üçgen hücreler birbirine bağlama halkaları ve kirişlerle bağlanmıştır. Yapı kullanım ömrünü tamamladığında kompostlanarak doğaya geri dönmektedir (Griffiths, 2013).

Şekil 3.13. Arboskin Pavillion (Griffiths, 2013)

Şekil 3.13. Arboskin Pavillion (Griffiths, 2013)

DENİZ KAYNAKLI ATIK KULLANILARAK ÜRETİLEN BİYOMALZEME ÇALIŞMALARI

Geleneksel biyomalzeme örnekleri olarak deniz kaynaklı atıklarla yapılan biyomalzeme çalışmaları bu bölümde incelenmiştir. Örnekler proje inceleme tablosuna göre yapım yılı, yer, tasarımcı ve proje bilgilerine göre açıklaması yapılarak yapı malzemesi, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarım olarak gruba ayrılmıştır. İncelenen projeler aşağıdaki Çizelge 3.16'da yer almaktadır.

- Yapı malzemesi olarak ‘Sea Stone’ (Çizelge 3.16), endüstriyel tasarım olarak ‘Vivomer’ (Çizelge 3.17) incelenmiştir.

Çizelge 3.16. Yapı malzemesi olarak kullanımı

YAPI MALZEMESİ

Proje No	E.1.1	Sea Stone
Yıl:	2020	
Yer:	Londra- Seul	
Tasarım:	Newtab-22	

Sea Stone Newtab-22 tarafından tasarlanan denizlerdeki her yıl yedi milyon ton atılan atık deniz kabuklarının, depolama alanlarına ya da plajlara dökülmesiyle oluşan atık sorununa çözüm bulmak için atık deniz kabuklarını kullanarak üretilen betona-çimentoya alternatif sürdürülebilir bir malzemedir. Betona alternatif malzeme olmasının nedeni deniz kabuklarının betonun malzemesi olan çimento içerisindeki kireç taşı yönünden zengin olmasıdır. Malzeme deniz kabuklarının öğütülerek doğal bağlayıcılar ile birleştirilmesiyle üretilmektedir. Karışım kalıplara dökülerek katışlaşmaya bırakılır bu aşamada ısı, elektrik yada kimyasal bir işlem kullanılmamasıyla sürdürülebilir ve ekonomiktir. Sea Stone içerisindeki kabuklarının boyutuna göre terrazzo görüntüsü vermektedir. Malzeme küçük ölçekli olan karolar, vazola süpürgelik gibi tasarımlarda kullanılsa da betonun mukavemetini karşılamadığı için büyük projelerde kullanılmamıştır (Cook, 2020).



Şekil 3.14. Sea Stone farklı şekillerde kullanımı (Cook, 2020)

Şekil 3.14. Sea Stone farklı şekillerde kullanımı (Cook, 2020)

Çizelge 3.17. Endüstriyel tasarım olarak kullanımı

ENDÜSTRİYEL TASARIM

Proje No	E.2.1	Vivomer
Yıl:	2019	
Yer:	Londra	
Tasarım:	Ed Jones, Insiya Jafferjee, Amir Afshar ve Andrew Edwards	

Shellworks ekibi tarafından deniz canlılarının kabukları, kitin ve sirke kullanarak elde edilen biyopolimer karışımla Vivomer üretilmektedir. Karışım plastiğe alternatif olarak biyoplastiğe dönüşmektedir. Dünyada en çok bulunan ikinci biyopolimer olan kitinin çıkarmak için haftalar harcayan ekip bunun sonucunda kendi yöntemlerini geliştirmeye ve makinelerinin oluşturmaya karar vermişlerdir. Tasarladıkları beş makineyle ambalaj, yiyecek saklama torbaları, saksı gibi ürünler elde etmişlerdir. Vivomer artıkları üzerine su ve sirke çözeltisi damlatıldığında sıvı forma dönüştürülebilmekte ya da gübre olarak toprağa dökülebilmektedir. Shellworks, Arts Foundation'ın 2021 Materials Innovation ödülleri tasarladıkları biyoplastik malzeme ile finalist olmuştur (Hitti, 2019; Shellworks, 2021).



Şekil 3.15. Shellworks malzeme çalışmaları (Hitti, 2019)

3.2. Mimarlık Alanındaki Biyomalzeme Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Yapıların üretimi, bakım onarımı ve yıkımı çevreye zarar vermektedir. Günümüzde buna çözüm getirecek stratejiler geliştirilmiş ve sürdürülebilirlik çalışmaları yürütülmektedir. Sürdürülebilir yapı malzemesi kapsamında yürütülen araştırmalardan biri olan biyomalzemeler çevreye verilen zararlı etkiyi en az düzeyde tutan, ekolojik, insan sağlığına ve konforuna zarar vermeyen, ekonomik malzemelerdir. Bu malzemeler tez kapsamında sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları altında incelenmiştir.

Çevresel sürdürülebilirlik başlığında kaynakların verimli kullanımı, ekonomik sürdürülebilirlik altında, maliyet masraflarının azaltılması kaynakların verimli kullanımı; sosyal sürdürülebilirlik altında ise sağlığa zarar vermemesi ve tasarımın geliştirilebilir olması kavramları öne çıkmaktadır. Bu çalışmada günümüzde artan yapılaşmada sürdürülebilir tasarım hakkında farkındalığı yükseltmek ve araştırmacılara-mimarlara-tasarımcılara biyomalzemeler konusunda duyarlı hale getirmek amaçlanmıştır. Bu sayede biyomalzemelerin sürdürülebilir tasarım kriterleri altındaki ulusal hem de uluslararası örnekler üzerinden incelemek yol gösterici bir çerçeve oluşturacaktır. Çerçeve için sürdürülebilirlik ve biyomalzemelerin kriterleri mimarlık ve biyoloji arakesitinde birleştirilerek sürdürülebilirliğin sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları altında sınıflandırılmıştır.

3.2.3. Biyomalzemelerin mimari eleman üretim potansiyelleri

Malzeme ekolojisinin mimarlığa yansımaları karbondioksiti emerek fotosentez yapan cephelere, mantarlardan üretilen sürdürülebilir yapı malzemelerine, atıktan ya da bakterilerden üretilen kıyafetlere ve daha birçok farklı tasarıma dönüşmektedir. Biyolojik çağ yapıların büyüyebileceği, hasarlarını onarabileceği, doğaya yeniden katılıp yok olabileceği yeni bir gelecek oluşturmaktadır (Oxman, 2016; Oxman, 2014).

Çalışma kapsamında örneklerin incelenme sonucu mimarlık ve biyoloji arakesindeki etkileşim yeni çalışmaların yapılmasına olanak sağlamıştır ve sanayileşme, hızlı üretimin getirisi olan alışlagelmiş ürünler yerine doğa ile etkileşim kurabilen, içerisinde

canlı organizma ve atık malzeme kullanımını barındıran sürdürülebilir, yenilenebilir kaynaklara zarar vermeyen çözümlere yönelimi sağlamıştır. Bu ilişki mimarlık ve biyoloji arakesiti oluşumunu meydana getirmiştir. Örnekler Noam Attia (2006)’ın yapmış olduğu çalışma yorumlanarak sürdürülebilirlik, mimarlık ve biyoloji arakesitinde incelenmiştir. Seçilen örnek projeler kullanılan malzeme sınıfına göre Noam Attias’ın (2016) yaklaşımından esinlenerek yorumlanmıştır. Aşağıdaki Çizelge 3.18’de projeler yapı malzemesi, yapım sistemi, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarım olarak gruplanmıştır. Çalışma ile örneklerin potansiyelleri ve sürdürülebilirlik hedeflerin incelenmesi amaçlanmıştır. Seçilen örnek projeler Çizelge 3.18’de kullanılan biyomalzeme sınıfı, malzemelerin kullanım alanı, biyolojik üretim potansiyelleri ve 2030 Sürdürülebilir Kalkınma için belirlenen 17 hedeften hangilerini kapsadığına yönelik değerlendirme tablosu hazırlanmıştır.

Çizelge 3.18. Biyomalzeme üretiminde kullanılan malzemeler ve işlevine göre seçilen örnek projelerin Noam Attias’ın (2016) yaklaşımından esinlenerek potansiyellerinin ve sürdürülebilirlik hedeflerinin yorumlanması

BİYO		MALZEME				SKH HEDEF
		Yapı Malzemesi	Yapım Sistemi	Cephe Tasarımı	Endüstriyel Tasarım	
BAKTERİ	Büyüme Örüntülerini Anlamak	Biobrick Bioconc.	Dune			Hedef 11-12-13
	Çevreyi Algılamak	Bioconc.	Dune			Hedef 11-12-13
	Yapısal Ağlar ve Dayanıklılık	Biobrick Bioconc.	Dune			Hedef 11-12-13
	Dinamik Yapılar	Bioconc.	Dune			Hedef 11-12-13
	Malzemelerin Çözülmesi ve Geri Dönüşümü	Biobrick			MikrobiyalE v Biocoulture Biyoplastik	Hedef 11-12-13-14-15
ALG	Enerjinin Görselleştirimi	Bioceram. Indus		Sıfır s. BIQ Hasar. D. Bitiobot AirBubble	Algevatör Exhale Hortus	Hedef 2-6-7-11-12-13
	Malzemelerin Çözülmesi ve Geri Dönüşümü	AlgBrick			Change the system sergisi	Hedef 11-12-13

Çizelge 3.18. Biyomalzeme üretiminde kullanılan malzemeler ve işlevine göre seçilen örnek projelerin Noam Attias'ın (2016) yaklaşımından esinlenerek potansiyellerinin ve sürdürülebilirlik hedeflerinin yorumlanması (devam)

BİYO		MALZEME				SKH HEDEF
		Yapı Malzemesi	Yapım Sistemi	Cephe Tasarımı	Endüstriyel Tasarım	
MANTAR	Büyüme Örüntülerini Anlamak			Nasa Myco		Hedef 11-12-13
	Yapısal Ağlar ve Dayanıklılık	Hy-Fi Alveosis	M.room Sausages		Miselyum Mask Mantar Sandalye BikeHelmet	Hedef 11-12-13-15
	Malzemelerin Çözülmesi ve Geri Dönüşümü	Hy-Fi Foresta	M.room Sausages Triagomy	Nasa Myco	Mantar sandalye BikeHelmet Mylo	Hedef 11-12-13-15
TARIMSAL KAYNAKLI ATIK	Enerjinin Görselleştirimi				AuReus	Hedef 7-11-12-13-15
	Dinamik Yapılar				AuReus	Hedef 7-11-12-13-15
	Malzemelerin Çözülmesi ve Geri Dönüşümü	Flat H. Can M. Ottan Pomace		Ohmie	AuReus Arboskin	Hedef 11-12-13-14-15
DENİZ KAYNAKLI ATIK	Malzemelerin Çözülmesi ve Geri Dönüşümü	Sea Stone		Vivomer		Hedef 11-12-13-14

3.2.4. Biyomalzemelerin sürdürülebilirliği

Bu bölümde tez kapsamında incelenen biyomalzeme örnekleri sürdürülebilir biyomalzeme kriterlerine göre yapı malzemesi, yapım sistemi, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarım grupları altında incelenmiştir.

Çizelge 3.19. Yapı malzemelerinin sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Bakteri - Alg)

Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri		Bio-brick	Bio-concrete	Bio-ceramic	Algea Brick	Indus
Çevresel	Atık malzeme miktarını azaltma		✓	✓	✓	✓
	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği arttırılabilirlik	✓	✓	✓	✓	✓
	Doğaya geri dönüştürülebilirlik		✓	✓	✓	✓
	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek	✓	✓	✓	✓	✓
	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik	✓		✓	✓	
	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri	✓	✓	✓	✓	✓
	Yeniden kullanılabilirlik	✓	✓	✓	✓	✓
	Enerji korunumunu sağlamak	✓	✓	✓		✓
	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek			✓		✓
	Doğal malzeme kullanımı	✓		✓	✓	✓
Ekonomik	Enerji tüketimi azaltma	✓	✓	✓		✓
	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim			✓	✓	✓
	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması	✓	✓	✓	✓	
	Bakım ve onarımı kolay olması	✓	✓	✓		
Sosyal	Uyum sağlama	✓	✓	✓	✓	✓
	Tasarımda farkındalık	✓	✓	✓	✓	✓
	Birlikler kurması, yerel iş gücüne destek olmak	✓	✓		✓	✓
	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı	✓	✓	✓	✓	✓
	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak	✓	✓	✓	✓	✓
	Değişir dönüşebilir olması		✓	✓		
	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek	✓	✓	✓	✓	✓

Çizelge 3.20. Yapı malzemesi sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Mantar)

Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri		Hy-Fi	Alveosis	Foresta Akustik Sistem
Çevresel	Atık malzeme miktarını azaltma	✓	✓	✓
	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği artırılabilirlik	✓	✓	✓
	Doğaya geri dönüştürülebilirlik	✓		✓
	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek	✓	✓	✓
	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik	✓		✓
	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri	✓	✓	✓
	Yeniden kullanılabilirlik	✓		✓
	Enerji korunumunu sağlamak	✓		✓
	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek			
	Doğal malzeme kullanımı	✓	✓	✓
Ekonomik	Enerji tüketimi azaltma	✓		✓
	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim	✓	✓	✓
	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması		✓	
	Bakım ve onarımı kolay olması			
Sosyal	Uyum sağlama	✓		✓
	Tasarımda farkındalık	✓	✓	✓
	Birlikler kurması, yerel iş gücüne destek olmak	✓	✓	✓
	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı	✓	✓	✓
	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak	✓	✓	✓
	Değişir dönüşebilir olması	✓		✓
	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek	✓	✓	✓

Çizelge 3.21. Yapı malzemesi sürdürülebilirliği (Tarımsal ve deniz kaynaklı atıklar)

Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri		Flat House	Can Monges	Ottan	Sea Stone	Pomace
Çevresel	Atık malzeme miktarını azaltma	✓	✓	✓	✓	✓
	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği arttırılabilirlik	✓	✓	✓	✓	✓
	Doğaya geri dönüştürülebilirlik	✓		✓	✓	✓
	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek	✓	✓	✓	✓	✓
	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik	✓			✓	
	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri	✓	✓	✓	✓	✓
	Yeniden kullanılabilirlik		✓	✓		✓
	Enerji korunumunu sağlamak	✓	✓		✓	
	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek	✓	✓			
	Doğal malzeme kullanımı	✓	✓	✓	✓	✓
Ekonomik	Enerji tüketimi azaltma	✓	✓		✓	
	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim	✓	✓	✓	✓	✓
	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması	✓	✓			
	Bakım ve onarımı kolay olması	✓	✓		✓	✓
Sosyal	Uyum sağlama	✓				
	Tasarımda farkındalık	✓	✓	✓	✓	✓
	Birlikler kurması, yerel iş gücüne destek olmak	✓	✓	✓	✓	✓
	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı	✓	✓	✓	✓	✓
	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak	✓	✓	✓	✓	✓
	Değişir dönüşebilir olması	✓				
	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek	✓	✓	✓	✓	

Çizelge 3.22. Yapım sisteminin sürdürülebilirliğinin incelenmesi

Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri		Dune Projesi	Mushroom Sausages	Triagomy
Çevresel	Atık malzeme miktarını azaltma	✓	✓	✓
	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği artırılabilirlik		✓	
	Doğaya geri dönüştürülebilirlik	✓	✓	✓
	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek	✓	✓	✓
	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik		✓	✓
	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri	✓	✓	✓
	Yeniden kullanılabilirlik	✓	✓	✓
	Enerji korunumunu sağlamak		✓	✓
	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek	✓		
	Doğal malzeme kullanımı	✓	✓	✓
Ekonomik	Enerji tüketimi azaltma	✓		✓
	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim	✓	✓	✓
	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması			
	Bakım ve onarımı kolay olması		✓	✓
Sosyal	Uyum sağlama			
	Tasarımda farkındalık	✓	✓	✓
	Birlikler kurması, yerel iş gücüne destek olmak	✓		✓
	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı	✓	✓	✓
	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak	✓		✓
	Değişir dönüşebilir olması			✓
	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek	✓		✓

Çizelge 3.23. Cephe tasarımının sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Alg)

Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri		Sıfır Süreç	BIQ	Hasarlı Dünya	Bit.Bio. Bot	Air Bubble
Çevresel	Atık malzeme miktarını azaltma	✓	✓	✓	✓	✓
	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği artırılabilirlik	✓	✓	✓	✓	✓
	Doğaya geri dönüştürülebilirlik	✓	✓	✓	✓	✓
	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek	✓	✓	✓	✓	✓
	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik				✓	✓
	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri	✓	✓	✓	✓	✓
	Yeniden kullanılabilirlik			✓	✓	✓
	Enerji korunumunu sağlamak	✓	✓	✓	✓	
	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek	✓	✓	✓	✓	✓
	Doğal malzeme kullanımı	✓	✓	✓	✓	✓
Ekonomik	Enerji tüketimi azaltma	✓	✓	✓	✓	✓
	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim			✓	✓	✓
	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması					
	Bakım ve onarımı kolay olması	✓	✓		✓	✓
Sosyal	Uyum sağlama	✓	✓	✓	✓	✓
	Tasarımda farkındalık	✓	✓	✓	✓	✓
	Birlikler kurması, yerel iş gücüne destek olmak	✓	✓	✓	✓	✓
	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı	✓	✓	✓	✓	✓
	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak	✓	✓	✓	✓	✓
	Değişir dönüşebilir olması		✓		✓	
	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek	✓	✓	✓	✓	✓

Çizelge 3.24. Cephe tasarımı sürdürülebilirliği (Mantar, tarımsal ve deniz canlısı atıklar)

Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri		Nasa Myco-architecture off planet	AuReus	Arboskin Pavillion
Çevresel	Atık malzeme miktarını azaltma	✓	✓	✓
	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği artırılabilirlik	✓	✓	✓
	Doğaya geri dönüştürülebilirlik	✓		✓
	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek	✓	✓	✓
	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik	✓	✓	✓
	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri	✓	✓	✓
	Yeniden kullanılabilirlik	✓	✓	✓
	Enerji korunumunu sağlamak	✓	✓	✓
	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek			
	Doğal malzeme kullanımı	✓	✓	✓
Ekonomik	Enerji tüketimi azaltma		✓	
	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim	✓	✓	✓
	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması	✓		✓
	Bakım ve onarımı kolay olması	✓	✓	
Sosyal	Uyum sağlama	✓	✓	✓
	Tasarımda farkındalık	✓	✓	✓
	Birlikler kurması, yerel iş gücüne destek olmak	✓	✓	✓
	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı	✓	✓	✓
	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak	✓	✓	✓
	Değişir dönüşebilir olması	✓		✓
	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek	✓	✓	✓

Çizelge 3.25. Endüstriyel tasarımın sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Bakteri ve tarımsal atık)

Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri		Mikrobiyal Ev	Bio coulture	Biyo plastik	Ohmie	Vivo mer
Çevresel	Atık malzeme miktarını azaltma	✓	✓	✓	✓	✓
	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği artırılabilirlik		✓	✓	✓	✓
	Doğaya geri dönüştürülebilirlik	✓	✓	✓	✓	✓
	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek	✓	✓	✓	✓	✓
	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik	✓	✓		✓	
	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri	✓	✓	✓	✓	✓
	Yeniden kullanılabilirlik	✓		✓	✓	
	Enerji korunumunu sağlamak	✓	✓	✓		
	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek					
	Doğal malzeme kullanımı	✓	✓	✓	✓	✓
Ekonomik	Enerji tüketimi azaltma	✓	✓			
	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim	✓	✓	✓	✓	✓
	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması			✓		
	Bakım ve onarımı kolay olması	✓		✓	✓	
Sosyal	Uyum sağlama			✓		
	Tasarımda farkındalık	✓	✓	✓	✓	✓
	Birlikler kurması, yerel iş gücüne destek olmak	✓	✓	✓	✓	✓
	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı	✓	✓	✓	✓	✓
	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak	✓	✓	✓	✓	✓
	Değişir dönüşebilir olması			✓	✓	✓
	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek	✓	✓	✓	✓	✓

Çizelge 3.26. Endüstriyel tasarımın sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Alg)

Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri		Algevator	Exhale	Change the system sergisi	H.O.R. T.U.S
Çevresel	Atık malzeme miktarını azaltma			✓	
	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği artırılabilirlik				
	Doğaya geri dönüştürülebilirlik			✓	
	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek	✓	✓	✓	✓
	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik			✓	✓
	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri	✓	✓	✓	✓
	Yeniden kullanılabilirlik				✓
	Enerji korunumunu sağlamak				
	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek	✓	✓		✓
	Doğal malzeme kullanımı	✓	✓	✓	✓
Ekonomik	Enerji tüketimi azaltma				
	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim		✓	✓	
	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması				
	Bakım ve onarımı kolay olması				
Sosyal	Uyum sağlama	✓	✓		✓
	Tasarımda farkındalık	✓	✓	✓	✓
	Birlikler kurması, yerel iş gücüne destek olmak		✓		✓
	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı	✓	✓	✓	✓
	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak	✓	✓	✓	✓
	Değişir dönüşebilir olması		✓		✓
	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek	✓	✓	✓	✓

Çizelge 3.27. Endüstriyel tasarımın sürdürülebilirliğinin incelenmesi (Mantar)

Sürdürülebilir Biyomalzeme Kriterleri		Mycelium Mask	Mantar Sandalye	Bike Helmet	Mylo
Çevresel	Atık malzeme miktarını azaltma	✓	✓	✓	✓
	Kullanılabilirlik / Malzeme tür çeşitliliği artırılabilirlik			✓	✓
	Doğaya geri dönüştürülebilirlik	✓	✓	✓	✓
	Doğanın korunumu çevreye zarar vermemek	✓	✓	✓	✓
	Hızlı ve kolay uygulanabilirlik	✓	✓	✓	
	Hammadde korunumunu sağlamak / Yerel yapım yöntemleri	✓	✓	✓	✓
	Yeniden kullanılabilirlik	✓	✓	✓	✓
	Enerji korunumunu sağlamak	✓		✓	
	Mekanın hava ve su kalitesini iyileştirmek				
	Doğal malzeme kullanımı	✓	✓	✓	✓
Ekonomik	Enerji tüketimi azaltma	✓		✓	
	Kolay erişim, lojistik avantaj ve ev yapımı üretim	✓	✓	✓	✓
	Dayanıklı ve uzun ömürlü olması	✓	✓	✓	✓
	Bakım ve onarımı kolay olması	✓	✓	✓	
Sosyal	Uyum sağlama		✓	✓	
	Tasarımda farkındalık	✓	✓	✓	✓
	Birlikler kurması, yerel iş gücüne destek olmak		✓		✓
	Ekoloji, toplum, yönetim ile bağlantı	✓	✓	✓	✓
	İnsan sağlığına zarar vermemek ve sağlıklı çevre sunmak	✓	✓	✓	✓
	Değişir dönüşebilir olması		✓	✓	
	Estetik olmak ve yaşam kalitesini iyileştirmek	✓	✓	✓	✓

4. BULGULAR

Tez çalışmasının bu bölümünde seçilen biyomalzeme örneklerini tez kapsamında belirlenen inceleme kriterlerine göre değerlendirilmesi yapılmıştır. İncelenen örnekler doğrultusunda biyomalzemelerin mimaride kullanımına yönelik avantaj ve dezavantajlar ortaya konulmuştur.

4.1. Örneklerin Biyomalzeme İnceleme Ölçütleri Açısından Değerlendirilmesi

Canlı organizmalar, tarımsal ve deniz kaynaklı atık kullanılarak üretilen biyomalzeme çalışmaları kullanılan malzeme türü, kullanım alanı, mimari eleman üretim potansiyelleri ve sürdürülebilir biyomalzeme inceleme ölçütleri açısından değerlendirilmiştir.

a) Kullanılan Malzeme Açısından Değerlendirilmesi

Tez kapsamında biyomalzeme çalışmaları incelendiğinde pek çok farklı malzemeyi kapsadığı görülmüştür. Canlı organizma kullanılan biyomalzeme çalışmaları bakteri, alg ve mantarlar olarak ayrılmıştır. Bakterileri kapsayan biyomalzeme örnekleri incelendiğinde bakterilerin farklı koşullarda yaşayabilme özelliğinden yararlanılarak fermantasyon ile Bioculture örneğinde olduğu gibi tekstil alanında kullanılarak kıyafet tasarlanmıştır. Bakterilerin kalsiyum karbonat oluşturması özelliğinden yararlanılarak Biyotuğla, Biyobeton ve Dune projesi geliştirilmiştir. Bakterilerin kalsiyum karbonat oluşturması özelliği sayesinde Biyobeton içerisinde oluşacak çatlaklar kendini yenilemektedir.

Algler ile yapılan biyomalzemeler incelendiğinde alglerin yapı malzemesi olarak da cephe tasarımı olarak farklı kullanımlar içerisinde yer aldığı görülmüştür. Örnek projelerde kullanılan algler Bioceramic Sistem, İndus ve Sıfır Süreç'te pis suyu temizlediği; BIQ, AirBubble, Bit.Bio.Bot. örneklerinde olduğu gibi havayı temizleme özelliğine sahiptir. Ayrıca algler Alg Brick projesinde olduğu gibi kil gibi farklı malzemeler ile karıştırıldığında yeni malzemelerin üretilmesini sağlamaktadır. Örnek

projelerde agllerin canlı olarak kullanılabildiği gibi, Change the System sergisi örneğindeki gibi kurutularak da kullanılabilmektedir.

Mantarlar tarımsal atıklarlar karıştırılarak kullanıldığında elde edilen malzeme Hy-Fi projesinde olduğu gibi herhangi bir enerji gereksinimi olmadan kısa sürede üretilme imkanına sahiptir. Miselyum yapışma ve bağlayıcı özelliğe sahip bir malzeme olduğu için Mushroom Sausages projesinde çevreye zarar vermeyen yapım sistemi olarak kullanılmıştır. Miselyum Bike Helmet’te canlı olarak büyüebilme özelliğinden, Mycelium Mask’ta öğütölüp küçük parçalara ayrıldığında dayanımının artma özelliğinden, Mantar sandalyede ise istenilen forma geldiğinde kurutulma özelliğinden yararlanılmıştır. Bu da malzemenin farklı üretim ve kullanımlar için elverişli olduğunu göstermektedir.

Biyomalzemeler içerisine çeşitli tarımsal atık malzemeler eklendiğinde biyokompozit malzemeler, paneller elde edilebilmektedir. Örneğin Flat House projesinde kenevir ve tarımsal atıklar kullanarak geliştirilen prefabrik paneller ısı ve ses yalıtımını sağlamıştır. Mimarlık alanında tarımsal kullanılarak geliştirilen Ohmie projesinde olduğu gibi her yıl çöge atılan portakal kabuklarını yeniden kullanarak bir ürüne dönüşümünü sağlamıştır. Bu sayede mimarlık alanında yapısal atık oluşumu azaltılmaktadır. Yapılarda biyomalzeme kullanımı Can Monges örneğindeki gibi hem yalıtımı sağlamakta hem de iç mekandaki havanın nem oranının dengeli olmasını sağlamaktadır.

Yapılarda deniz kaynaklı atık malzeme kullanımı denizlerdeki atık deniz canlısı kabuklarını azaltırken Sea Stone projesinde olduğu gibi sürdürülebilir betona alternatif malzemelere dönüşmektedir. Bunun sonucunda biyomalzemelerin yeni malzeme çeşitlerinin geliştirilmesine açık olduğu tespit edilmiştir.

b) Kullanım Alanı Açısından Değerlendirilmesi

Biyomalzemelerin ilk örnekleri sağlık alanında görülmüş, tekstil, otomotiv ve pek çok alanda kullanımı yaygınlaşmıştır. Mimarlık alanında biyomalzemeler yapı malzemesi, yapım sistemi, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarım alanında kullanılmaktadır. İncelenen örneklerde bakteriler yapı malzemesi olarak tuğla ve beton üretiminde kullanılmaktadır. Kullanım alanı seçilen örnekler üzerinden değerlendirildiğinde yapı malzemesi açısından ele alındığında Bioconcrete örneğinde olduğu gibi kendini yeniden onarabilme özelliğine sahiptir. Biobrik ve Algae Brick çevreye az zarar vermesi ve dayanımı açısından tuğlaya alternatif bir malzemedir. Algler kullanılarak mimarlık alanında termal ve akustik özellikleri arttıracak, fotosentez yapabilen, seramik kanalllarında bulunan suyu temizleyebilen seramik ve tuğla olan BioCeramic System ve İndus geliştirilmiştir. Mantarlar yapı malzemesi olarak incelenen örneklerde yalıtım paneli, tuğla ve modüler malzeme üretiminde kullanılmıştır. Foresta Akustik Sistem örneğinde mantarlar ve tarımsal atıkları kullanarak sürdürülebilir, kompostlanabilen akustik paneller üretilebilmektedir. Hy-Fi (miselyum tuğlalar maliyeti düşük ve hafiftir. Tarımsal ve deniz kaynaklı atıklar ile yapı malzemesi olarak cephe panelleri, seramik karolar üretilmektedir. Örneğin Pomace örneğinde zeytin üretiminden kalan artık malzemeler ile biyoplastik geliştirilmiştir. Can Mognes projesinde kenevir kullanımı ısı ve su yalıtımı için alternatif çözüm geliştirilmesini sağlamıştır.

Biyomalzemelerin yapım sisyemi olarak kullanım örnekleri diğer gruplara kıyasla daha az olduğu tespit edilmiştir. Bakteriler kullanarak tasarlanan Dune Projesi çöldeki kumları sertleştirmek üzerine bir çalışmadır. Mashroom Sausages mantarların büyüüp substrata bağlanmasından dolayı geliştirilmiş yapım sistemidir. Triagomy yapılarda sökülüp yeniden kullanılabilir, esnek, sürdürülebilir bir sistemdir. Biyomalzemelerin yapım sistemi olarak kullanımına yönelik çalışmaların uygulanmış örneklerinden daha çok gelişimine ve araştırılmasına yönelik çalışmalar mevcuttur. Buradan da henüz gelişim aşamasında olduğu görülmektedir.

Biyomalzemelerin cephede kullanımı enerji ihtiyacını azaltmakta, O² üretimini sağlamakta, pis suyu filtrelemektedir. Cephelerde alg kullanımı alglerin üretimi için bir

alan oluşumunu sağlarken CO² salımını azaltmaktadır. Bit. Bio. Bot örneğinde olduğu gibi görme, dokunma ve tatma gibi farklı duyulara da etki edebilmektedir. Cephede biyomalzeme kullanımı hafif ve hızlı çözümler geliştirilmesini sağlamıştır, örneğin NASA projesi kapsamında mantarlar ve bakteriler kullanılarak geliştirilen cephe sistemidir. Cephede biyomalzeme kullanımı yerel, ekonomik ve kolay ulaşılabilir özelliğe sahiptir. Örneğin AuReus projesi tarımsal atık malzemelerin kullanımı ile geliştirilmiştir ve cephede enerji üretimi sağlamaktadır. Cephede biyomalzemeler yangın gibi olağanüstü durumlarda kullanılabilir. Örneğin Arbostik Pavillion yangın çıkışında kullanımına yönelik bir biyoplastik cephedir.

Biyomalzemelerin endüstriyel tasarımda kullanımı tekstil ürünleri, biyoplastik kaplar, enstalasyon çalışmaları, maskeler, oturma elemanları, otomobil iç mekan ürünleri, aydınlatma elemanı gibi farklı örneklerin üretimini sağlamıştır. Örneğin Mantar Sandalye miselyumun büyüüp kurutulması ile tasarlanmış bir oturma elemanıdır. Biyomalzemelerin endüstriyel tasarımda kullanımına yönelik pek çok örnek mevcuttur. Biyomalzemelerin farklı işlevlerde kullanımı hem kişileri sürdürülebilir alternatif ürünlere yönelte hem de mimarlık alanında kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

c) Mimari Eleman Üretim Potansiyelleri Açısından Değerlendirilmesi

Mimarlık ve biyoloji arakesitinde geliştirilen örnek projeler Noam Attia (2006)'ın yapmış olduğu çalışmaya göre yorumlanarak mimarlık ve biyoloji arakesitinde sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında incelenmiştir.

Hedef 6 : Temiz Su ve Sanitasyon; Indus projesi kapsamında yapı malzemesi tasarımda kullanılan algler sayesinde seramik karo kanalları arasından geçen su temizlenmektedir. Sıfır Süreç projesinde cephe tasarımında kullanılan algler hem suyu temizlemekte hem de kullanıcıları doğa ile bir araya getirmekte temiz suya erişimi kolaylaştırmaktadır.

Hedef 7 : Erişilebilir ve Temiz Enerji; cephe tasarımında kullanılan algler yenilebilir enerji üretmektedir. Sıfır Süreç ve BIQ ofis gibi kullanıcı yüksek olan yapıların cephesinde algler ile oluşturdukları FBR panel sistemlerde enerji üretimini sağlamakta

ve güneş kırıcı olarak kullanılmaktadır. Bit.Bio.Bot sergisinde ise hem enerji üretimini sağlamakta hem de kullanıcılar mekanı deneyimlerken ağleri tadımlayabilmektedir. Fosil yakıt kullanımına karşı alternatif bir enerji kaynağı oluşturan biyomalzemeler mimari eleman üretim potansiyelleri açısından doğadaki enerjiyi döngüsüne fotosentez ile katkı sağlayarak enerji üretmekte ve havayı temizlemektedir.

Hedef 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar; incelenen örnek projeler doğal kanakları verimli kullanmakta ve malzemeleri yaşam döngüsü içinde kullanarak değerlendirmektedir. Biobrick ve Bioconcereate'in yapılarda kullanımı yapıların kendini yenilemesini sağlayarak dayanımını yükseltmektedir. Yerel ve kolay erişilebilir atık malzemeleri kullanan Flat House projesinde tarımsal atıkların kullanımıyla atık oluşumunu azaltmakta geridönüşümü teşvik etmektedir. Air Bubble projesi ağleri kullanarak doğa ile çocuk oyun alanını birleştirmekte herkes için erişilebilir kentsel tasarım alanları oluşturmaktadır. Biyomalzemelerin kullanımı ile insan sağlığına zarar vermeyen ve yaşam kalitesini yükselten mekanlar tasarlanmaktadır.

Hedef 12 : Sorumlu Üretim ve Tüketim; Tarımsal, deniz kaynaklı atıkların ve canlı organizmaların kullanımı çevreye zarar vermeyen, karbon ayak izini düşüren yapı malzemesi ve tasarımların gelişmesini sağlamaktadır. Ohmie projesinde kullanılan atık portakallar endüstriyel tasarım ürününe dönüşerek sorumlu üretim ve tüketimi teşvik etmektedir. AuReus tarımsal atıkların cephede kullanımı sayesinde yenilenebilir enerji üretmektedir. Malzemelerin potansiyelleri açısından biyomalzemeler çevreyi algılayarak renk, enerji gibi değişimi ile tepki vermektedir. Ya da kullanılan biyomalzeme çeşitleri kendine özgü Bioconceate projesinde olduğu gibi çatlakları kapatarak yapısal ağlar ve dayanıklılık sağlamaktadır.

Hedef 13: İklim Eylemi; İncelenen projeler iklim değişikliği ve küresel ısınmaya karşı alternatif sürdürülebilir çözümleri barındırmaktadır. Vivomer içerisindeki bakteriler sayesinde kullanım ömrünü tamamladığında doğaya yeniden dönecek şekilde üretilmiştir. Algevatör içerisindeki ağler sayesinde kendi oksijeninin üreterek sera gazı emisyonunu azaltmaktadır. Malzemenin çözünmesi ve geri dönüşüm potansiyeli doğaya zarar vermeden üretimi sağlamaktadır.

Hedef 14: Sudaki Yaşam; Vivomer, Sea Stone ve Shellworks deniz canlısı kabuklarını kullanarak elde ettiği biyomalzemeler ile denizlerdeki atık malzemelerin kullanıma örnektir. Malzemenin çözünmesi ve geri dönüşümü doğal su kaynaklarının kirlenmesini azaltmaktadır.

Hedef 15: Karasal Yaşam; Flat House'ta kullanılan kenevir, mısır koçanı vb., Foresta akustik sisteminde kullanılan miselyum ve tarımsal atıklar bitkilerin yeniden kullanımını teşvik etmektedir. Bu sayede tarımsal arazilerden elde edilen malzemeler ekosistemin korunması için kullanılmaktadır. Buna göre biyomalzemelerin mimarlık alanında kullanımına yönelik olarak yapılan biyomalzeme çalışmaları çeşitlilik göstermekte ve sürdürülebilir gelişime açıktır (Çizelge 3.17).

d) Biyomalzemelerin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi

Yapı malzemesi olarak; canlı organizma ve tarımsal-deniz kaynaklı atık kullanımı yapı sektöründeki atık malzeme miktarını azaltmaktadır. Örneğin Ottan stüdyonun tasarladığı Tomato Jum seramik karolar tarımsal atık olan kırmızı mercimeği kullanarak ekonomik, erişimi kolay, çevreye zarar vermeyen ve doğal malzeme kullanımını sağlamaktadır. Bioconcrete içerisindeki bakteriler ile kendini yenileyebilme özelliğine sahiptir. Malzeme yeniden kullanılabilir, dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Tasarımda yenilikçi bir yaklaşıma sahiptir. Bioceramic üzerindeki yosunlar ile havayı temizlemekte ve akusik, termal gibi konfor koşullarını iyileştirmektedir. Bu sayede enerjinin korunumunu, sağlıklı bir çevre içinde sunmaktadır. Algea Brick ve Change the system projesi öğrenci ile biyomalzemeleri bir araya getirmekte yeni birliklerin kurulmasını sağlamakta ve gelişecek malzemeler ile yerel iş gücün destek olacaktır. Yapı malzemesi olarak biyomalzeme kullanımı çevresel açıdan mimarlık alanında sürdürülebilir malzeme çeşitlerini arttırmaktadır. Elde edilen malzemeler doğaya geri dönüşerek zarar vermemektedir. Hızlı ve kolay uygulanabilir özelliklere sahiptir. Hammadde korunumunu sağladığı ve yerel kaynaklardan ulaşımı kolay olduğu için enerjiyi verimli kullanmaktadır. Ekonomik açıdan kolay ulaşılabilir lojistik avantaja sahiptir. Malzemelerin dayanıklı ve uzun ömürlü olması için örnekler mevcutken, bu

özelliğın gelişmesi gereken örnekleri de bulunmaktadır. tarım ve deniz kaynaklı atıklardan oluşan biyomalzemelerin bakım ve onarımı kolayken, algerle geliştirilen Indus gibi örneklerin bakım onarımı kolay olmayabilmektedir. Sosyal açıdan biyomalzeme kullanımı Pomace projesinde olduğu gibi hem ulusal hem de uluslararası farklı disiplinlerden kişileri bir araya getirmektedir. Yeni malzemelerin gelişimi yerel iş gücüne destek olacaktır. Ve biyomalzeme kullanımı mimar, tasarımcı, kullanıcı gibi bireylere farkındalık sağlamaktadır. İnsan sağlığına zarar vermemekte aksine bulunduğu mekanın konfor koşullarını iyileştirmektedir. Çizelge 4.1’ de biyomalzemelerin sürdürülebilirliğinin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutu açısından anahtar kavramları yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Biyomalzemelerin sürdürülebilirliğinin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutu anahtar kavramları



Yapım sistemi olarak; biyomalzeme kullanımı kapsamında incelenen Dune projesi bakterin kullanımı ile doğaya geri dönüştürülebilir, herkesin erişebileceği yaşam alanları tasarımına imkan sağlamaktadır. Sürdürülebilirliğin çevresel boyutu açısından miselyum kullanarak yapılan yapım sistemi Mushroom Sausages v Triagomy hızlı ve kolay uygulanabilir özelliğe sahiptir, bakım onarım maliyetleri düşüktür. Ancak Bakterin kullanılmasıyla yapılan Dune Projesi hızlı ve kolay uygulanabilir özellikte değildir. Yapım sistemlerinde biyomalzeme kullanımı atık miktarını azaltmaya,

geridönüşüebilir ve yeniden kullanılabilir sistemlerinin gelişimini sağlamaktadır. Bu sayede çevreye ve insan sağlığına zarar vermemekte, sosyal açıdan ekoloji ve toplumu bir araya getirmekte, tasarımda farkındalığı olan estetik, kolay erişim sağlayan tasarımların gelişmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda enerji tüketimini ve hammadde korunumunu sağlamaktadır. Triagomy projesi kullan at döngüsünün aksine sökülüp yeniden ve farklı şekillerde kullanılabilir olması esnek tasarımlara olanak sağlamaktadır, değişip dönüşüebilir mekanlar üretilebilmektedir.

Cephe tasarımı olarak; alglerin kullanımı Sıfır Süreç ve BIQ projesinde olduğu gibi kendi enerjisini üreten, havayı temizleyen, enerji kullanımı azaltmaktan, çevreye uyum sağlayıp etkileşim kuran, çevreye zarar vermeyen, değişir dönüşüebilir tasarımlara sahip yapıların tasarlanmasını sağlamaktadır. Hasarlı Dünya Kompleksi projesi ve Bit.Bio.Bot sergisi kendi alglerinin üretimini sağlayarak sürdürülebilir tarımla kendi alglerinin üretilmesini sağlamaktadır. Bit.Bio.Bot sergisindeki kişiler algleri tadımlayabilmektedir. Cephe tasarımında alg kullanımı insan sağlığına zarar vermemekte, kullanıcıların doğa ile temasını sağlamaktadır. Cephe tasarımında mantar kullanımı sayesinde uzayda Nasa Myco-architecture off planet projesi tasarlanmıştır. Proje hızlı ve kolay uygulanabilir, enerji korunumunu sağlayacak, bakım onarımı kolay, değişir ve dönüşebilir, atık malzeme üretimini azaltacak özelliklere sahiptir. Tarımdal atık kullanılarak üretilen cepheler atık malzemelerin yeniden kullanımı, hammadde korunumunu sağlamaktadır ve malzemelerin tür çeşitliliği arttırılabilmektedir. Aureus ve Arboskin Pavillion örneklerinde olduğu gibi cepheye kolay uygulanarak enerjinin korunmasını sağlamaktadır. Ekonomik açıdan cephe tasarımında biyomalzeme kullanımı kendi enerjisini üretebilir olduğu için enerji tüketimini azaltmaktadır. Sosyal açıdan estetik ve doğa etkileşime elverişli olduğu için psikolojik açıdan bireylerin sakin, rahat ve hava kalitesi iyileşmiş mekanda bulunmasını sağladığı için yaşam kalitesini iyileştirmektedir.

Endüstriyel tasarım olarak; biyomalzeme kullanımı canlı organizma, tarımsal atık kullanılarak ve deniz kaynaklı atık kullanılarak üretilen biyomalzemelerin kullanımına yönelik farklı örneklerle sahiptir. Endüstriyel tasarımda biyomalzemeler kıyafet, aydınlatma elemanı, biyoplastik kapla, sergi ürünleri, oturma elemanı, kask ve maske

gibi örneklere sahiptir. Çevresel açıdan sürdürülebilir hammaddeye sahip olduğu ve doğal kaynakları yeniden kullandığı için sürdürülebilir tasarımların ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Vivomer örneğinde olduğu gibi deniz canlısı kabuklarının atıklarının kullanımı yeniden kullanımı sağlamakta ve üzerine çözelti damlatıldığında doğaya geri dönebilmektedir bu yüzden çevreye zarar vermemektedir. Ohmie tarımsal atık ve teknolojiyi bir araya getirerek 3D üretimle geliştirilmiş lamba tasarımıdır. Bu sayede hızlı ve kolay bir şekilde uygulanmakta ve enerji tüketimini azaltmaktadır. Sosyal açıdan Biocoulture alglerin, Mylo ise mantarın kıyafet tasarımında geleneksel yöntemlere karşı sürdürülebilir tasarımda farkındalığı yükselten yenilikçi üretime sahip örneklerdir. Farklı disiplinlerden kişileri bir araya getirerek yeni çalışma alanlarının gelişmesine imkan sağlamaktadır. Mantarların endüstriyel tasarımda kullanımı ekonomik açıdan kolay erişilebilir malzemeler olduğu için nakliye vb. maliyetleri düşüktür. Mycelium Mask ve Bike Helmet projeleri kendi kendine büyüyebilir özelliklere sahip olduğu için üretimi ve bakım onarımı kolaydır.

4.2. Biyomalzemelerin Mimari Sürdürülebilirlik Açısından Avantaj ve Dezavantajları

Biyomalzemelerin mimarlık alanında kullanımı malzeme, taşıyıcı sistem, uygulama ve kullanıcı açısından olumlu ve olumsuz etkilere sahiptir. Bu bölümde biyomalzemelerin avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır.

a) Biyomalzemelerin Avantajları

- Biyomalzemeler sanayi ve teknolojinin getirdiği endüstriyel malzemelere karşı alternatif sürdürülebilir malzemelerdir.
- Mimarlık alanında yapı malzemesi, yapı sistemleri, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarımda kullanılmaktadır. Biyomalzemeler farklı hacim ve işlevlerde kullanılabildiği için esnek kullanım alanına sahiptir.
- Biyomalzemeler canlı organizmalar, tarımsal atık ve deniz kaynaklı canlı atıkları kullanılarak üretildiği için çevreye zarar vermemektedir.

- Cephede alglerin ya da tarımsal atık gibi malzemeler kullanılarak kendi enerjisini üreten yapılara dönüşebilmekte böylece yenilenemez enerji kullanımını azaltmaktadır.
- Canlı organizma kullanımı ile mimarlık ve biyoloji arakesiti oluşturmakta kullanıcıları doğa ile etkileşim kurmasını sağlamaktadır.
- Farklı biyomalzemelerin gelişimi sayesinde kullanımı arttıkça ürünleri bilinirliği artarak, ulaşılabilirliği daha kolay bir hale gelecektir.
- Biyomalzemeler tarımsal atık ya da deniz canlısı atıklarını kullandığı için atık malzeme miktarını azaltmaktadır. Ve malzemeleri yeniden kullanılarak yapısal atık oluşumunu önlemektedir.
- Kompostlanabilme ya da üzerine çözeltili damlatıldığında çözünebilir olma özelliğine sahip olduğu için doğada yok olmaktadır.
- Biyomalzemeler çevredeki yerel ürünlerden elde edilebildiği için maliyeti düşüktür.
- Biyomalzemeler kullanılarak strüktürel sistemler tasarlanmakta ve modüler tasarımlar ile strüktüre ekleme ve çıkarmalar yapılabilmektedir.
- Biyomalzemeler konutlarda, müze, sergi salonu, yapı cephelerinde, geçici yapılar üretimi gibi farklı fonksiyonlarda yapıların tasarlanmasına olanak sağlamaktadır.
- Biyomalzemeler miselyum, tarımsal atık gibi malzemelerden oluştuğu için hafiftir.
- Biyomalzemeler ile geliştirilen akustik elemanlar ya da cephe panelleri sökülüp, taşınabilir ve tekrar kullanılabilir özelliğe sahiptir.
- Biyomalzeme kullanılarak geliştirilen yapı malzemeleri mekanda ısı, ses yalıtımını sağlamaktadır. Ortamdaki nemi engellemektedir.
- Biyomalzemeler yapıların içerisinde doğayı entegre ettiği için kullanıcılar üzerinde yapı biyolojisi açısından olumlu etkilere sahiptir.
- Algler ile geliştirilen seramik malzemeler hem içerisinde bulunan kanallarda suyu temizleyebilmekte hem de kendi O₂'sini üretebilmektedir.
- Yapıların cephelerinde kullanımıyla kendi O₂'sini üretmesini sağlayarak iç mekana temiz hava üretimini ve havalandırmayı sağlamaktadır.
- Biyomalzemeler kendini iyileştirme özelliğine sahiptir.
- Malzemelerin basınç dayanımı yüksektir ve hafiftir. Malzeme gözenekli yapısından dolayı akustik açıdan performansı yüksek olabilir.
- Malzemelerin biyobozunabilirliği yüksektir bundan dolayı doğada yok olmaktadır.
- Mimarlık alanında yenilikçi bir potansiyele sahiptir.

- Üretiminde düşük enerji gerekmektedir.
- Fosil kaynaklarına daha az bağımlı olan ve karbon emisyonlarını azaltan, çevreye zarar vermeyen yapı malzemelerinden biridir.
- Bireyleri malzeme seçiminin önemi konusunda bilinçlendirilerek biyomalzeme seçimi için teşvik edilebilir.

b) Biyomalzemelerin Dezavantajları

- Biyomalzemeler üzerinde yapılan çalışmalar hem dünyada hem de Türkiye’de gelişmektedir. Malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar daha çok deneyseldir.
- Biyomalzemeler yangın, mekanik gibi özellikleri açısından gelişime açıktır.
- Biyomalzemelerin, miselyum ya da bakteriler üzerine yapılan çalışmalarda farklı iklim koşulları altında vereceği tepkiler tam olarak bilinmemektedir.
- Biyomalzemelerin yapı alanında kullanımı yeni olduğu için teknik detaylarının tam olarak bilinmediği düşünülmektedir.
- Biyomalzemelerin yapı malzemesi olarak tasarlanması, uygulanmasında, üretiminde alanında bilgili uzman kişiler gerekmektedir.
- Biyomalzemelerin üretimi ve kurulumu kolay olmasına karşın farklı doğa koşulları altında vereceği tepkiler incelenmektedir.
- Her bir yapı kendine özel üretim ve detayları içermektedir. Bu nedenle biyomalzemelerin yapılarda kullanımı özel sistem detaylarının ve çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.
- Malzeme seçimleri alanında uzman kişiler tarafından yapılmalıdır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma sürdürülebilirlik ile biyomalzemeler arasındaki ilişkinin incelenerek gelecek çalışmalara bir altlık veya çerçeve sunmaktır. Biyo-malzeme kullanılarak tasarlanan projelerde kullanılan malzemeler, üretimleri ve sürdürülebilirlik özellikleri ele alınmıştır. Bu kapsamda biyo-malzemeler farklı disiplinleri bir araya getirerek yenilikçi çalışma yaklaşımı sunmaktadır. Yurtdışında yapılan çalışmalar daha eski tarihlere dayansa da Türkiye’de bu konuda yapılan çalışmalar mimarlık alanında daha yakın tarihlere dayanmaktadır ve üzerinde yapılan çalışmalar gelişmektedir. Tez kapsamında çerçeve oluşturmak için sürdürülebilir tasarımın ekonomik, sosyal ve çevresel tasarım kriterleri belirlenerek biyomalzeme kullanılarak tasarlanmış projeler incelenmiş ve sürdürülebilir biyomalzeme kriterleri kapsamında değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda sürdürülebilir biyomalzeme kriterlerinin büyük bir kısmına sahip olduğu görülmüştür. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerini açısından biyomalzemeler;

- Hedef 6 : Temiz Su ve Sanitasyon; Yapı malzemesi, cephe tasarımında kullanıldığında algler suyu temizlemekte ve temiz suya ulaşımı sağlamaktadır.
- Hedef 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji; Biyomalzemelerin cephe tasarımında kullanımı ile yenilenebilir enerji üretilmektedir.
- Hedef 11 : Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar; Biyomalzemeler yaşam döngüleri süresince yeniden kullanılmakta, geri dönüştürülebilmektedir. İnsan sağlığına zarar vermemektedir, yaşam kalitesini iyileştirmektedir. Yerel ve kolay erişilebilir (saman, ahşap vb.) malzemelerdir. Tarımsal ve deniz kaynaklı atıkları yeniden yapılarda kullandığı için atık malzeme miktarını azaltmaktadır.
- Hedef 12 : Sorumlu Üretim ve Tüketim; Biyomalzemelerin yapı malzemesi, yapım sistemi, cephe tasarımı ve endüstriyel tasarımda kullanımı karbon ayak izini düşüren, çevreye zarar vermeyen, kullanıcı ile etkileşim kurabilen tasarımlara dönüşmesi sorumlu üretim ve tüketim için farkındalık sağlamaktadır.
- Hedef 13 : İklim Eylemi; Biyomalzemelerle tasarlanan yapılar biyobozunabilir, geri dönüşebilir ya da kendi enerjisini kendi üretebilme gibi özelliklere sahip olduğu için iklim değişikliğine karşı alternatif malzemelerdir.

- Hedef 14 : Sudaki Yaşam; Deniz canlısı atıklarının biyomalzemelerde kullanımı denizlerdeki atık malzemelerin miktarını azaltmaktadır.
- Hedef 15 : Karasal Yaşam; Tarımsal atıkların ve miselyumun biyomalzeme üretiminde kullanımı ekosistemin korunmasına katkı sağlamaktadır ve yeniden kullanımı teşvik etmektedir. Biyomalzemeler yukarıda yer alan sürdürülebilir hedeflerine karşılık gelen sürdürülebilir malzemelerdir. Türkiye için de bu çalışmalar önem teşkil etmektedir.

Nüfusun artması ve teknolojilerin gelişimi ile artan yapılaşmada yapıların çoğu sürdürülebilir değildir. Bu yüzden yapılarda biyomalzeme kullanımı önemlidir. Hem ulusal hem de uluslararası düzeyde biyomalzemeler ve sürdürülebilirlik açısından farkındalık kazandırmak için seminerler, konferanslar ve çeşitli eğitim ya da atölye çalışmaları düzenlenerek malzeme seçiminde farkındalık sağlanmalıdır. Yapılarda malzeme seçimi ve tasarımında sürdürülebilirlik kriterleri gözönünde tutulmalıdır. Bu konuda yapılmış tasarımlar ya da akademik çalışmalar desteklenmeli, malzemelerin kullanımı ve uygulanması için teknik personel yetiştirilmelidir.

Biyomalzeme sürdürülebilirlik kriterleri ile daha sürdürülebilir bir gelecek için geri dönüştürülebilir, doğal kaynakları koruyan, ekolojik malzemeler tercih edilmesi gerekmektedir. Bu malzemelerin seçilmemesi insan sağlığı üzerinde sağlık problemlerine neden olabilmektedir. Bu yüzden çeşitli tanıtımlar, kitaplar, sunumlar ile biyomalzemeler tanıtımı yapılarak, biyomalzeme seçimleri alanında uzman kişiler tarafından yapılmalıdır. Çevreye zarar vermeyen biyomalzemelerin kullanımı yönetimler tarafından teşvik edilmelidir.

Kırsal alanda; saman, ahşap vb. biyomalzemelere ulaşım kolay, yere özgü yerel olduğu için beton türevi malzemelere göre yapımı kolay ve ekonomik olduğu için tercih edilebilmektedir. Bu sayede tarihi yapı birikimine geçmişten gelen ve gelişmekte olan biyomalzemeler eklenerek yeni yapım teknikleri, malzemeler geliştirilebilmektedir.

Kentsel alan açısından; deprem fay hatları üzerinde bulunan ülkemizde deprem sonrası yapılarımız yıkılmaktadır. Yeni kentler biyomalzemeler ile inşa edilebilir. Çocuk oyun alanları, üniversiteler, sergi çalışmaları gibi etkileşimin yoğun olduğu mekanlarda

biyomalzemelerle yapılar tasarlanabilir, farkındalığı arttırmak ve malzeme hakkında bilinç sağlamak için atölyeler düzenlenebilir.

Sanayi devrimi ile artan ve devamında katlanarak devam eden tüketim döngüsüne karşı tarımsal atıkların, deniz kaynaklı atıkların ve canlı organizmaların kullanımı sürdürülebilirlik bir gelecek için katkı sağlayacaktır. Mimarlık alanında biyomalzemeler geleneksel yapı malzemelerine karşı sürdürülebilir, doğal kaynaklara zarar vermeyen, doğada kendi kendine yok olabilen vb. özelliklere sahip alternatif malzemeler oluşmasını sağlamaktadır. Biyomalzeme kullanımı tarımsal ve deniz kaynaklı atıkların miktarının azalmasına dolayısıyla çevre kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunacaktır. Aynı zamanda döngüsel ekonomi açısından biyo-bazlı malzeme kullanımı malzemelerin yaşam döngüsü içerisinde yeniden kullanımı sağlamakta, ekolojik dengeye zarar vermeden üzerine sıvı çözelti damlatılması gibi yöntemlerle biyolojik olarak parçalanabilen ya da kompostlanarak toprağa karışarak doğada yok olan ürünlerin oluşmasını sağlamaktadır. Alglerin yapılarda kullanımı mekandaki O² miktarının artmasına ve yaşam kalitesinin yükselmesine yardımcı olmaktadır. Biyomalzemeler kolaylıkla erişilebilir malzemelerle üretildiği için ekonomiktir. Ancak biyomalzeme üzerinde yapılan çalışmalar henüz araştırma aşamasında olduğu için gelişmeye açıktır. Bu çalışma kapsamında incelenen örnekler sonucu biyomalzemelerin mimarlık alanında yapı malzemesi ve cephe sistemi olarak, iç mekan ve endüstri ürünleri tasarımında farklı işlevlere çözüm olarak, kentsel tasarım gibi birçok alanda kullanımının uygun olduğu, farklı çözümler ortaya koyduğu görülmüştür. Biyomalzemelerin mimarlık alanında kullanımı günümüz dünyasının en önemli sorunlarından biri haline gelen sürdürülebilirlik ve çevre farkındalığına katkı sağlayacak ve çözüm olacaktır.

Bu çalışma kapsamında biyomalzemelerle ilgili bir sürdürülebilir biyomalzeme kriterlerini kapsayan parametre dizisi oluşturulmuştur. Gelecek çalışmalarda bu çalışmadan yararlanarak biyomalzemelerin mimarlık alanında kullanımına yönelik olarak deneysel çalışmalar yürütülebilir, biyomalzemelerin uygulama pratikleri geliştirilerek daha ekonomik ve ulaşılabilir hale getirilebilir bu sayede Türkiye’de kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abd El-Hady, R. E., Mohamed, A. F. (2023). Thermal Performance Evaluation of Bio-Bricks and Conventional Bricks in Residential Buildings in Aswan City, Egypt. Available at Erişim Adresi <https://ssrn.com/abstract=4378236> doi:<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4378236> (29.05.2023)
- Ahmad Sayuti, N. 'Ayn, Sommer, B., & Ahmed-Kristensen, S. (2020). Identifying the Purposes of Biological Materials in Everyday Designs. Environment-Behaviour Proceedings Journal, 5(15), 29-37. Erişim Adresi: <https://doi.org/10.21834/ebpj.v5i15.2479> (Erişim Tarihi: 20.01.2022).
- Akbülbül, A.ř. (2021). Organik bir ev: Flat House. Arkitekt Erişim Adresi: <https://www.gzt.com/arkitekt/organik-bir-ev-flat-house-3579373> (Erişim Tarihi:06.04.2022)
- Akman, A. (1990). Yapı Biyolojisi – Yapı Ekolojisi ve Yapıların İnsan Sağlığı zerindeki Etkilerini Ortaya Koyan Biyoklimatik – Diyagnostik Bir Araştırma. Teramed, İstanbul.
- Akman, A. (2013). Biyolijik Yapılaşma ile Sağlıklı Yerleşimin Temel İlkeleri. Ekoyapı Dergisi Erişim Adresi: <https://www.ekoyapidergisi.org/biyolijik-yapilasma-ile-saglikli-yerlesimin-temel-ilkeleri> (Erişim Tarihi:05.04.2022).
- Akman, S. M. (2003). Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi. Türkiye Mühendislik Haberleri, 426. Erişim Adresi: <https://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/241.pdf> (Erişim Tarihi:18.11.2021).
- Akyıldız, E. (2014). Ticari Hidroksiapatit Esaslı  Bileşenli Kompozit Biyomalzemelerin retimi Ve Karakterizasyonu. İTÜ Fen bilimleri enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul. Erişim Adresi: <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/15543/1/10053964.pdf> (Erişim Tarihi:12.12.2021).
- Algevatör. (2016). Algevatör. Domus, Cambridge. https://www.domusweb.it/en/news/2016/07/01/algaevator_zhang_stevermer.html (Erişim tarihi: 29.05.2021).
- Alveosis. (2017). https://www.mimarizm.com/haberler/gundem/urban-atolye-den-organik-yapi-malzemesi-alveosis_128722 (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Aouf, R.S. (2021). Noé Duchaufour-Lawrance creates furniture showcasing beauty of discarded burnt cork. Dezeen. Erişim Adresi: <https://www.dezeen.com/2021/06/10/noe-duchaufour-lawrance-furniture-burnt-cork-design/> (Erişim Tarihi:08.04.2023).

- Ataç, A.(2019). Mimarlıkta Biyomalzemelerin Kullanımı: Sıkıştırılmış Toprak Blokların Performansının Mikorizal Mantar Kullanılarak Geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İBÜ Lisansüstü Programlar Enstitüsü, Mimarlık Tarihi, Teorisi ve Eleştirisi Yüksek Lisans Programı, İstanbul.
- Arıc, A., Can ,İ.D., Keskin, T. (2020). New Experimental Approaches to Sand Hardening by Microbial Biocalcification. *BEU Journal of Science*, 9(1): 390-401. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlisfen/issue/53085/570061>.
- Aziz, Moheb Sabry; El sherif, Amr Y. (2016). Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 707–714. doi:10.1016/j.aej.2015.10.015 (Erişim Tarihi: 12.02.2022).
- Balanlı, A., Küçükcan, B. (1999). Yapı Biyolojisi ve Üniversite Kütüphanesi Kullanıcısı.21. Yüzyılda Üniversite Kütüphanelerimiz Sempozyumu, Edirne (Türkiye), 22-24 Ekim 1998. [Konferans Metni] Erişim Adresi:<http://eprints.rclis.org/8898/> (Erişim Tarihi: 06.02.2022).
- Balanlı, A., Taygun, G.T. (2005). Yapı Biyolojisi ve Asbest. *Mimarist Dergisi* (16):280-291 Erişim Adresi:https://play.google.com/books/reader?id=whpKDwAAQBAJ&pg=GBS.PT289.w.0.2.168_308&hl=tr (Erişim Tarihi: 05.01.2022).
- Baysan, O. (2003). Sürdürülebilirlik Kavramı Ve Mimarlıkta Tasarıma Yansıması. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı Bina Bilgisi Yüksek Lisans Programı, İstanbul.
- Beke, Ş. (2017).Tarihsel Süreçte Mimari Yapı Malzemelerinin Değişimi Ve Teknolojik Gelişimi. *Yüksek Lisans Tezi* ,TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı Mimarlık Yüksek Lisans Programı.
- Benyus, J. M. (1997). *Innovation Inspired by Nature*, Harpern Collins Publishers, New York.
- Berardi, U.(2013). Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building. *Sustainable Cities and Society* 8 (2013):72-78 Erişim Adresi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.01.008> (Erişim Tarihi: 14.11.2021).
- Bernard, M. (2011). HOK / Vanderweil Process Zero Concept Building: As Green As... Algae?. Erişim adresi:<http://buildipedia.com/aec-pros/featured-architecture/hok-vanderweil-process-zero-concept-building-as-green-asalgae> (Erişim Tarihi: 16.05.2021).
- Bio Seramik Sistem. (2013). Erişim adresi: <https://iaac.net/project/bio-ceramic-system> (Erişim Tarihi: 16.05.2021).

- Biomimicry Institute. (2016). The power of the Biomimicry Design Spiral. The Biomimicry Institute Erişim Adresi: <https://biomimicry.org/biomimicry-design-spiral/> (Erişim Tarihi: 20.02.2022).
- Biomimicry Institute. (2022). About the Institute. Biomimicry Institute. Erişim Adresi: <https://biomimicry.org/examples/> (Erişim Tarihi: 19.02.2022).
- Brooker, R. J., Widmaier, E. P., Graham, L. E., & Stiling, P. D. (2011). *Biology (Second Edition)*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Campilho, R. (2015). Natural Fiber Composites. CRC Press. Erişim Adresi: [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=YirSCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Campilho,+R.+\(2015\).+Natural+Fiber+Composites.+CRC+Press.&ots=yGG6Ub6-t&sig=ag4LxJ5oraV3bVW-ElwWKUZ37hU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=YirSCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Campilho,+R.+(2015).+Natural+Fiber+Composites.+CRC+Press.&ots=yGG6Ub6-t&sig=ag4LxJ5oraV3bVW-ElwWKUZ37hU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) (Erişim Tarihi:06.06.2022).
- Can Monges. (2022). Ideo Arquitectura Erişim Adresi: <https://ideoarquitectura.com/Can-Monges> (Erişim Tarihi:09.04.2022)
- Carlson, C. (2020). Adam and Arthur designs colourful straw marquetry collection informed by parlour game. Dezeen. Erişim Adresi: <https://www.dezeen.com/2020/09/28/exquisite-corpse-marquetry-furniture-craftsmanship-adam-arthur/> (Erişim Tarihi:08.04.2023).
- Cecchini, C. (2017). Bioplastics made from upcycled food waste. Prospects for their use in the field of design. The Design Journal, 20:1, 1596-S1610, DOI: 10.1080/14606925.2017.1352684 (Erişim Tarihi:15.05.2022).
- CIB, Conseil International du Bâtiment. (2010). Towards sustainable and smart-eco buildings. Summary report on the EU-funded project smart-ECO buildings in the EU. Rotterdam: CIB.
- Civan, U. (2006). Akıllı Binaların Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60 s., İstanbul.
- Cook, L. (2020). Sea Stone is a concrete-like material made from shells. Dezeen Magazin Erişim Adresi: <https://www.dezeen.com/2020/08/28/sea-stone-newtab-22-design-shells-materials/> (Erişim Tarihi: 10.10.2020).
- Cox, S. (2017). Made in Brunel: A structure grown from mushrooms. Erişim adresi: <https://www.brunel.ac.uk/news-and-events/news/articles/Madein-Brunel-Structure-grown-from-mushrooms-makes-a-top-ramen> (Erişim Tarihi: 10.05.2021).

- Çevre Mühendisliği Portalı. (2021).
<https://www.cevremuhendisligi.org/index.php/cevre-aktuel/atiklarin-dogada-yok-olma-sureleri> (Erişim tarihi: 31.05.2021).
- Çillioğlu Karademir, A. ve Dağ, A. (2021). “Sürdürülebilirlik Uygulaması Olarak Yeşil Bina ve LEED Sertifikasyonu Üzerine Türkiye İnşaat Sektöründe Bir Çalışma”, *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 7(1), 2021: 63-83. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1809214> (Erişim tarihi: 14.11.2021).
- Çorbacı, F. (2015). Yapı Malzemelerinin Kullanımında Mimari Faktörler. *Yüksek Lisans Tezi*, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı Mimarlık Programı, İstanbul.
- David Langdon. (2018). "AD Classics: Montreal Biosphere / Buckminster Fuller" 07 Oct 2018. ArchDaily. Accessed 28 May 2023. <<https://www.archdaily.com/572135/ad-classics-montreal-biosphere-buckminster-fuller>> ISSN 0719-8884
- Demir, İ., Doğan, C. (2020). Physical and Mechanical Properties of Hempcrete. *The Open Waste Management Journal*, 2020, 13;26-34. DOI: 10.2174/1874312902014010026 (Erişim Tarihi:10.04.2022)
- Deniz, İ., Gündoğdu, T.K. (2018). Biomimetic Design for A Bioengineered World. Kokturk, G., Akyol, D.(Ed.), *Interdisciplinary Expansions in Engineering and Design With the Power of Biomimicry* (pp.57-75). Publisher: InTech. doi:[10.5772/intechopen.72912](https://doi.org/10.5772/intechopen.72912) (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Dietrich, R. J. (1990). Biological and ecological factors in urban built environment: recent research and practice in West Germany. *Journal of the Royal Statistical Society:Series D (The Statistician)*, 39(2): 185-190. doi:10.2307/2348541 (Erişim Tarihi: 04.02.2022).
- District, M. (2014). Büyüyen Biyobazlı Yapı Malzemeleri. Erişim Adresi: <https://materialdistrict.com/article/growing-biobased-building-materials/> (Erişim Tarihi: 07.12.2021).
- Doğal Lifler. (2014). Doğal Lifler Tekstil Teknolojisi. T.C. MEB. Ankara Erişim Adresi:http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Do%C4%9Fal%20Lifler.pdf (Erişim Tarihi:21.05.2022).
- Du Plessis, C., Laul, A., Shah, K., Hassan, A. S., Adebayo, A., Irurah, D. K., De Arruda, M. P.(2001) . Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries, First Discussion Document. CIB and CSIR-Boutek. From Tufan, M. Z., Özel, C. (2018). SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI VE YAPI MALZEMELERİ İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KRİTERLERİ . *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi* , 2 (1) , 6-13 . Erişim

- Adresi:<https://dergipark.org.tr/tr/pub/usmtd/issue/37042/425283> (Erişim Tarihi: 23.11.2021).
- Ecologicstudio. (2018). PhotoSynthetica Curtains. Ecologicstudio Erişim Adresi: <https://www.ecologicstudio.com/projects/photo-synth-etica> (Erişim Tarihi:08.04.2023).
- Eriç, M., Ersoy, H.Y. (1995). Yapı Biyolojisi Ekolojik Denge ve Yapı Malzemesi İlişkisi. *Yapı Dergisi* (163):83-87.
- Estevez, A. T. (2005). "Biomorphic Architecture". In *Genetic architectures II: Digital tools and organic forms*. A. T. Estévez, K. Chu, E. Douglass, F.Roche, M. Weinstock (eds), 18-81. Barcelona: Sites Books.
- Estévez, A. T.(2009). Biodigital Architecture. Session 19: New Design Concepts and Strategies 3 - eCAADe 27. Erişim Adresi:http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2009_097.content.pdf (Erişim Tarihi:28.01.2022).
- Estévez, A.T. (2014). The Future of Architecture: Biodigital Architecture and Genetics, *Architecture Research*, Vol. 4 No. 1B, pp. 13-20. doi: 10.5923/s.arch.201402.02.
Erişim Adresi: <http://article.sapub.org/10.5923.s.arch.201402.02.html#Ref>
- Etherington, R. (2011). Erişim adresi: <https://www.dezeen.com/2011/10/29/microbial-home-by-philips-design/> (Erişim Tarihi: 15.05.2021).
- Fairs, M. (2014). Microbes are "the factories of the future". Erişim adresi: <https://www.dezeen.com/2014/02/12/movie-biocouture-microbes-clothing-wearable-futures/> (Erişim Tarihi: 15.05.2021).
- Farrelly, A. (2012). *Yapım+Malzeme. Literatür Yayınları*, İstanbul.
- Flat House. (2019). Practice Architecture. Erişim Adresi: <https://practicearchitecture.co.uk/project/flat-house/> (Erişim Tarihi:06.04.2022)
- Flat House / Practice Architecture + Material Cultures".(13 Jan 2020). ArchDaily. Accessed 6 Apr 2022. <<https://www.archdaily.com/931730/flat-house-practice-architecture-plus-material-cultures>> ISSN 0719-8884
- Finney, A. (2021). Ohmie is a 3D-printed lamp made from orange peels. Dezeen Magazin. Erişim adresi: https://www.dezeen.com/2021/07/19/ohmie-compostable-lamp-orange-peels/?li_source=LI&li_medium=bottom (Erişim Tarihi: 09.10.2021).
- Garcia, A.C., Rognoli, V., Karana, E. (2017). Five Kingdoms of DIY Materials for Design. In *International Conference 2017 of the Design Research Society Special Interest Group on Experiential Knowledge (EKSIG)*. Karana E., Giaccardi E.,

- Nimkulrat N., Niedderer K., Camere S, (Eds), 222-234. Hollanda: TUDelft Open. Erişim Adresi: <https://eksig.org/PDF/EKSIG2017Proceedings.pdf> (Erişim Tarihi:22.05.2022).
- Garipcan, B. (2018). Biyomalzemeler Hayatımını Nasıl Değiştiriyor. Youtube. Erişim Adresi: <https://youtu.be/HK4ZTMuRYxk>.
- Golebiewski, M. (2017). Hemp-Lime Composites in Architectural Design. Kwartalnik Naukowy Uczelni Vistula, 4(54): 162-171. Erişim Adresi: <http://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.desklight-1a023548-e108-40d4-ad1e-a0b89b1fe392> (Erişim Tarihi:10.04.2022).
- Grow It Yourself Helmet. (2021). Nos. Erişim Adresi:http://nos.mx/en/proyecto/gyi_helmet_eng/ (Erişim Tarihi: 17.10.2021).
- Guild, B. (2007). Innovation inspired by nature work book. Biomimicry Guild. Erişim Adresi:https://www.researchgate.net/publication/264721549_Nature_as_Measure_The_Biomimicry_Guild (Erişim Tarihi: 19.02.2022).
- Gümüşderelioğlu, M. (2002). Yeni Ufuklara: Biyomalzemeler, TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi Eki, Ankara. Erişim Adresi: <http://www.biyolojiegitim.yyu.edu.tr/teknopdf/Biyo200222S.pdf> (Erişim Tarihi: 11.12.2021).
- Güven, Ş.Y. (2014). Biyouyumluluk ve Biyomalzemelerin Seçimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2(3),ÖS:BiyoMekanik2014, 303-311, 2014 ISSN: 1308-6693. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jesd/issue/20871/223984> (Erişim Tarihi: 06.12.2021).
- Griffiths, A. (2013). ArboSkin pavilion made from bioplastic by ITKE. Erişim Adresi: <https://www.dezeen.com/2013/11/09/arboskin-spiky-pavilion-with-facademade-from-bioplastics-by-itke/> (Erişim Tarihi: 27.05.2023).
- Hahn. (2020). Solar panels made from food waste win inaugural James Dyson Sustainability Award. Dezeen Magazin Erişim Adresi: https://www.dezeen.com/2020/11/27/aureus-carvey-ehren-maigue-james-dyson-awards-sustainability/?li_source (Erişim Tarihi: 10.10.2021).
- Hahn, J. (2021). Phillip Lim and Charlotte McCurdy adorn couture dress with algae sequins to avoid "reaching for polyester". Dezeen Erişim Adresi: <https://www.dezeen.com/2021/02/22/charlotte-mccurdy-phillip-lim-algae-sequin-dress-onexone/> (Erişim Tarihi:08.04.2023).
- Hasol, D. (2017). Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü. Yem Yayınları, İstanbul.

- Hazar Yoruç, A. B., Uğraşkan, V. (2017). Yeşil Polimerler ve Uygulamaları . Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi , 17 (1) , 318-337 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid/issue/43198/516985>
- Hill, R. C., Bowen, P. A. (1997). Sustainable Construction: Principles and A Framework For Attainment. Construction Management & Economics, 15(3), 223-239. Erişim adresi:<http://dx.doi.org/10.1080/014461997372971> (Erişim tarihi: 14.11.2021).
- Hitti, N.(22 February 2019). Shellworks turns discarded lobster shells into recyclable bioplastic objects. Dezeen Magazin Erişim Adresi: <https://www.dezeen.com/2019/02/22/shellworks-bioplastic-lobster-shell-design/> (Erişim Tarihi: 16.10.2021).
- Hy-Fi .(2014).Architizer. Erişim Adresi: <https://architizer.com/projects/hy-fi/>.
- ICD-ITKE Research Pavilion 2013-14 / ICD-ITKE University of Stuttgart" 08 Jul 2014. ArchDaily. Accessed 5 Jun 2021. <<https://www.archdaily.com/522408/icd-itke-research-pavilion-2015-icd-itke-university-of-stuttgart>> ISSN 0719-8884.
- İrkli Eryıldız, D., Başkaya, A. (2013). Saman Balyası İle Yapılanma: Kırıkkale-Hasandede’de Bir Prototipin Yapımı . Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi , 15 (1) , 87-104 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6649/89290> (Erişim Tarihi: 05.06.2022).
- İleritürk, İ. (2016). Mimarlık Eğitiminde Doğa İle İlişki Bağlamında Biyomimikri, *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Seigler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. ve Law, K.L. (2015). Pastic waste inputs from land into the ocean. Marine Pollution Bulletin. 347(6223), 768-770.
- James Taylor-Foster. "Bakterilerden Yetiştirilen Tuğlalar" 01 Şubat 2014. ArchDaily . 15 Mayıs 2021'de erişildi . <<https://www.archdaily.com/472905/bricks-grown-from-bacteria>> ISSN 0719-8884
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2003). Metallerin Çevresel Etkileri-1. İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalurji Dergisi Cilt 136 Sayfa 47-53. Erişim Adresi: https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf (Erişim Tarihi: 30.05.2021).
- Kayan, A., Küçük, A. (2020). Plastik Kirliliğin Çevresel Zararları ve Çözüm Önerileri . Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi , 22 (2) , 403-427 . Erişim Adresi:

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ahbvuibfd/issue/56396/659700> (Erişim Tarihi: 27.05.2021).

Kaymaz, S. (2017). Endüstri yapılarının sürdürülebilirliğinin Bursa'da bir endüstri yapısına leed sertifika sistemi değerlendirmesi üzerinden incelenmesi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erişim Adresi: <https://acikerisim.uludag.edu.tr/handle/11452/2609> (Erişim Tarihi: 14.11.2021).

Kayıhan, K., S. (2006). Sürdürülebilir Mimarlığın Yarı Nemli Marmara İkliminde Tasarlanacak Temel Eğitim Binalarında İrdelenmesi Ve Bir Yöntem Önerisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s: 292, İstanbul.

Kellert, S., Calabrese, E. (2015). The Practice of Biophilic Design. Erişim Adresi: www.biophilic-design.com (Erişim Tarihi: 09.01.2022).

Kenevir Yetiştiriciliği Ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik.(2016). Resmi Gazete, sayı:29842. Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/09/20160929-3.htm> (Erişim Tarihi:10.04.2022).

Keskin, T. (2010). Lightening the Way: Toward a Sustainable Energy Future, Republic of Turkey, Ministry of Environment and Urbanism.

Kilbert, C., J. (1994). Principles of sustainable construction. Proc. of the first international conference on sustainable construction, Tampa, FL, USA (1994), pp. 1-9

Krill Desing. (2021). Erişim adresi: <https://en.krilldesign.net/contatti> (Erişim Tarihi: 09.10.2021).

Krusche, P., Althaus, D., ve diğerleri. (1982). Ökologisches Bauen. Umweltbundesamt Bauverlag. Wiesbaden und Berlin.

Kokulu, N. (2017). The Effects of Building Materials on Building Biology and the Resultant Air Quality . European Journal of Sustainable Development Research , 2 (1) , 80-86 . Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejsdr/issue/27742/295170> (Erişim Tarihi:06.02.2022).

Kuhlman, T., & Farrington, J., (2010). What is sustainability?. Sustainability, 2(11), 3436-3448.

Kurtuldu, E., Erdem İşmal, Ö. (2019). Sürdürülebilir Tekstil Tasarım ve Üretiminde Yeniden Değer Kazanan Lif: Kenevir . Art-e Sanat Dergisi , 12 (24) , 694-718 . DOI: 10.21602/sduarte.624485 (Erişim Tarihi:10.04.2022).

- Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change. (1998). Erişim Adresi: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (Erişim Tarihi: 07.11.2021).
- L   , S. M. (1991). Sustainable Development: A Critical Review. *World Development*, 19(6), 607–621.
- Manohari, N., Sunil, H.G., Rani, D. and Kumar, A. (2016). Manufacturing of building blocks using Hempcrete. *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology*, vol. 2, pp. 62-73. Erişim Adresi: <http://www.ijlret.com/Papers/Vol-2-issue-7/10-B2016344.pdf> (Erişim Tarihi:10.04.2022)
- Mansour, E., Ormondroyd, G.A. (2017). Wool. In: Jones D, Brischke C (eds) *Performance of bio-based building materials*. Woodhead Publishing, pp 128–141.
- Mao, D.(2020). students turn algae into a building material for eco village concept in china. Erişim adresi:<https://www.designboom.com/architecture/algae-building-material-eco-village-concept-china-10-02-2020/> (Erişim Tarihi: 16.05.2021).
- MdRiann, J., Sassone. N. (2014). Tree-inspired dendriforms and fractal-like branching structures in architecture: a brief historical overview. *Front. Archit. Res.*, 3: 298-323.
- Meada, J. (2007). *Art Instinct: Beauty, Pleasure and Human Evolution*.
- McDonough, W., Braungart, M. (1998). *The Next Industrial Revolution*. The Atlantic, October. Erişim Adresi: <https://www.ratical.org/co-globalize/nextIndusRev.pdf> (Erişim Tarihi: 11.02.2022).
- Montgomery, S. L. (2014). *K  resel Enerjiye Y  n Veren G   ler, 21.Y  zyıl ve Sonrası*. (E. G. ş  nol,   ev.) Ankara: T  B  TAK Pop  ler Bilim Kitapları.
- Moreira, S. (2020)."Azalt, Yeniden Kullan ve Geri D  n  şt  r: Mimariye Uygulanan     R Kuralı" [Reduzir, reutilizar e reciclar: o princ  pio dos 3 R's aplicado    arquitetura]. *ArchDaily*. (  ev. Duduch, Tarsila). Erişim Adresi: <https://www.archdaily.com/945040/reduce-reuse-and-recycle-the-Three-rs-rule-applied-to-architecture> (Erişim Tarihi: 31.05.2023).
- Morris, A. (2017). Dutch designers convert algae into bioplastic for 3D printing. Erişim adresi: <https://www.dezeen.com/2017/12/04/dutch-designers-eric-klarenbeek-maartje-dros-convert-algae-biopolymer-3d-printing-good-design-bad-world/> (Erişim Tarihi: 16.05.2021).
- Mushroom Mycelium Mask. (2020). *Desingboom*. Erişim adresi:<https://www.designboom.com/design/kuo-duo-mushroom-mycelium-masks-11-17-2020/> (Erişim Tarihi: 17.10.2021).

- Müftüoğlu, O. (2017). Sürdürülebilir Amaçlı İnşaat Projelerinin Temel Katılımcılarının Sürdürülebilirlik ile İlgili Görev ve Sorumlulukları. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95 s., İstanbul.
- Mycelium Chair. (2013). Mycelium Chair by Eric Klarenbeek is 3D-printed with living fungus. Erişim Adresi: <https://www.dezeen.com/2013/10/20/mycelium-chair-by-eric-klarenbeek-is-3d-printed-with-living-fungus/> (Erişim Tarihi:27.05.2023).
- Mycelium Mask.(2020). Kuo Duo. Erişim adresi: <https://kuo-duo.com/Works-Mycelium-Mask> (Erişim Tarihi: 17.10.2021).
- Myco-architecture off planet: growing surface structures at destination. (2018). Erişim adresi: https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/2018_Phase_I_Phase_II/Myco-architecture_off_planet/ (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Myers, W., Antonelli, P. (2012). BioDesign: Doğa Bilimi Yaratıcılığı. 1. baskı Thames & Hudson, Londra: Modern Sanat Müzesi (MoMA); 2012. 288 s. Erişim Adresi: <https://www.amazon.com/Bio-Design-Nature-Science-Creativity/dp/0500516278> (Erişim Tarihi: 15.05.2021).
- Neira, J. (2021). Made from mycelium, the grow your own helmet by NOS never stops growing. Designboom. . Erişim Adresi: <https://www.designboom.com/design/nos-grow-your-own-mycelium-helmet-01-21-2021/> (Erişim Tarihi: 17.10.2021).
- Netravali, A.N., Chabba, S. (2003). Composites Get Greener, Materials Today, P. 22-29.
- Nicholson, L. A. (2004). Integrating Sustainable Building Design and Construction Principles into Engineering Technology and Construction Management Curricula. age, 9, 1.
- Ohmie. (2021). Erişim Adresi: <https://www.youtube.com/watch?v=x6iQBJDDsHE&t=95s> (Erişim Tarihi: 09.10.2021).
- Ottan. (2022). Ottan Studio, İstanbul. Erişim Adresi: <https://tr.ottanstudio.com/materials> (Erişim Tarihi: 10.04.2022).
- Oxman, N. (2010). Material-based Design Computation. Ph.D. thesis, MIT.
- Oxman, N. (2014). Material Ecology. MIT Media Lab, 1-7.
- Oxman,N.(2015). https://www.ted.com/talks/neri_oxman_design_at_the_intersection_of_technology_and_biology/transcript?language=tr;#t-14225 (Erişim Tarihi: 10.05.2021).

- Oxman, N. (2016). Age of entanglement. *Journal of Design and Science*, 1-11. Erişim Adresi: <https://doi.org/10.21428/7e0583ad> (Erişim Tarihi: 15.12.2021).
- Oxman, N. (19 Kasım 2021). Neri Oxman, "yetişkin ve yapılı evreler arasında radikal bir yeniden dzenleme" ağrısı yapıyor. *Dezeen*. Erişim Adresi: <https://www.dezeen.com/2021/11/19/neri-oxman-dezeen-15-manifesto-radical-realignment-grown-built-environments/> (Erişim Tarihi: 12.12.2021).
- Oxman, N. (19 November 2021a). Neri Oxman's Synthetic Apiary II shows how beehive construction "is a responsive and dynamic process". *Dezeen*. Erişim Adresi: <https://www.dezeen.com/2021/11/19/neri-oxman-synthetic-apiary-two-honey-bees/> (Erişim Tarihi: 19.12.2021).
- Oxman. (2023). Erişim Adresi: <https://oxman.com/> (Erişim Tarihi:07.05.2023).
- Oxman, N., Laucks, J., Kayser, M., David, C., Uribe, G., Duro-Royo, J. (2013). Biological Computation for Digital Design and Fabrication. *eCAADe 31*, Massachusetts Institute of Technology, Media Lab, Mediated Matter, USA; 1-10. Erişim Adresi: <https://www.media.mit.edu/publications/biological-computation-for-digital-design-fabrication/> (Erişim Tarihi:19.01.2022).
- Özdamar, E. G., Ateş, M. (2018). Rethinking sustainability: A research on starch based bioplastic. *J Sustain. Construct. Mater. Technol*, 3(3): 249-260. Erişim adresi:<https://dergipark.org.tr/pub/jscmt/issue/40148/418571>.
- Özer, T., Yücetürk, C., Yılmaz, E. (2018). Alglerin Önemi. Erişim adresi: <http://algler.biyokimyalab.org/importance-of-algae/> (Erişim Tarihi: 16.05.2021).
- Rabbat, C. et al. (2022). Sustainability of biomass-based insulation materials in buildings: Current status in France, end-of-life projections and energy recovery potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156. Erişim Adresi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111962> (Erişim Tarihi: 03.04.2022).
- Palabıyık, H., Altunbaş, D. (2004). *Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi, evre Sorunlarına ağdas Yaklaşımlar*. Editörler: Ugur Yıldırım–Mehmet C. Marin, Beta Basım Yayım, İstanbul.
- Paul, B. D. (2008). A history of the concept of sustainable development: Literature review. *The Annals of the University of Oradea*, 17(2), 577-579.
- Perker, S.(2010). Nanoteknoloji Ve Yapı Malzemesi Alanına Etkileri. *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 1A0114, 5(4): 639-648. Erişim Adresi:<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/186296> (Erişim tarihi:22.05.2020).
- Ratner, B., D., Hoffman A., S., Schoen, F., J., Lemons, J. (1996). *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine*, Academic Press. Erişim Adresi:

https://www.fsb.unizg.hr/kbioerg/Biomaterijali/Biomaterials_Science.pdf (Erişim Tarihi:12.12.2021).

Resmi Gazete. (1983). Çevre Kanunu. 11.08.1983 tarih ve 18132 sayı, s. 2. Erişim Adresi:<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2872&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 28.11.2021).

Roodman, D. M., Lenssen N. (1995). A building revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction. Worldwatch Institute, Washington, 67 pp.

Rothschild, L., Maurer, C., Paulino L. I., Senesky, D., Wipat, A., Head, J. (2019). Myco-architecture off planet: growing surface structures at destination NIAC 2018 Phase I Final Report. Erişim adresi: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20190002580> (Erişim Tarihi: 10.05.2021).

Sandak, A., Sandak, J., Brzezicki, M., Kutnar, A. (2019). Biomaterials for Building Skins. In: Bio-based Building Skin. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes. Springer, Singapore. Erişim Adresi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-3747-5_2 (Erişim Tarihi: 27.02.2021).

San Francisco Museum of Modern Art. (2022). NATURE X HUMANITY. San Francisco, CA. Erişim Adresi: <https://www.sfmoma.org/press-release/sfmoma-announces-exclusive-exhibition-nature-x-humanity-oxman-architects-opening-in-february-2022/> (Erişim Tarihi: 26.02.2021).

Sayar, Z., Gültekin, A.B., Dikmen, Ç.B. (2009). Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Ahşap ve PVC Doğramaların Değerlendirilmesi, 5. Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu (İATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük, 2067-2072.

Seifan, M., Samani, A.K., Berenjian, A. (2016). Bioconcrete: Next generation of self-healing concrete. Appl. Microbiol. Biotechnol.100,2591–2602. DOI:10.1007/s00253-016-7316-z.

Sen Village Community Center / VTN Architects. (18 Oct 2015). ArchDaily. Accessed 5 Jun 2022. Erişim Adresi: <<https://www.archdaily.com/775317/sen-village-community-center-vo-trong-nghia-architects>> ISSN 0719-8884 (Erişim Tarihi:03.05.2022).

Sennett, R. (2008). The Craftsman, Yale University Press.

Sertkaya, S.N., Tokuç, A. (2020). Yaşayan Yapılar: Miselyum Ve Mimarlık. Geleneksel Ve Çağdaş Mimari Yapılar Üzerine Akademik Çalışmalar, İKSAD, Ankara. Erişim adresi: <https://iksadayinevi.com/wp-content/uploads/2020/06/GELENEKSEL-ve-%C3%87A%C4%9EDA%C5%9E-M%C4%B0MAR%C4%B0-YAPILAR-%C3%9CZER%C4%B0NE-AKADEM%C4%B0K-%C3%87ALI%C5%9EMALAR.pdf>.

Sev, A. (2009). Sürdürülebilir Mimarlık. Yem Yayınları, İstanbul.

- Shellworks. (2021). Erişim Adresi: <https://www.theshellworks.com/> (Erişim Tarihi: 16.10.2021).
- Sırkıntı, H.(2012). Sürdürülebilirlik Kapsamında Yeşil Yapım Uygulamaları ve LEED Sertifika Sistemine Öneriler. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 107 s., İstanbul.
- SKD. (2017). Sürdürülebilirlik Yolculuğumuz, *100 Maddede Sürdürülebilirlik Rehberi* içinde.
- Stan Smith Mylo. (2021). Introducing the Stan Smith Mylo by Adidas. Erişim Adresi: <https://mylo-unleather.com/stories/introducing-the-adidas-stan-smith-mylo/> (Erişim Tarihi:27.05.2023).
- şen, H., Kaya, A., Alpaslan, B. (2018). Sürdürülebilirlik Üzerine Tarihsel ve Güncel Bir Perspektif. *Ekonomik Yaklaşım* 2018, 29(107): 1-47, doi: 10.5455/ey.39101 .
- TDK. (2023). <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim Tarihi:28.05.2023)
- The Circular Pavilion / Encore Heureux Architects. (21 Dec 2015). ArchDaily. Accessed 5 Jun 2022.Erişim Adresi: <<https://www.archdaily.com/778972/the-circular-pavilion-encore-heureux-architects>> ISSN 0719-8884 (Erişim Tarihi:04.05.2022).
- The James Dyson Award. (2020). Aureus: Aurora Renewable Energy & Uv Sequestration. Erişim Adresi: <https://www.jamesdysonaward.org/2020/project/aureus-aurora-renewable-energy-uv-sequestration/> (Erişim Tarihi: 10.10.2021).
- Theworldcounts. (2021). <https://www.theworldcounts.com/challenges/planet-earth/waste/plastic-bags-used-per-year/story> (Erişim tarihi: 29.05.2021).
- Tokuç, A., Köktürk, G., Savaşır, K. (2019). Yapı Teknolojisi Ve Malzeme. Mimarlık Dergisi, 408. Erişim adresi:<http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=422&RecID=4770> (Erişim Tarihi: 16.05.2021).
- Triagomy. (2022). Biohm Eriim Adresi: <https://www.biohm.co.uk/constructionsystems> (Erişim Tarihi: 10.04.2022).
- Tuğlu, H.U. (2005). Ekolojik Açıdan Sürdürülebilir Yapılar Ve Malzeme. *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
- Tufan, M. Z., Özel, C. (2018). Sürdürülebilirlik Kavramı Ve Yapı Malzemeleri İçin Sürdürülebilirlik Kriterleri. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 2 (1), 6-13 . Erişim Adresi:<https://dergipark.org.tr/tr/pub/usmtid/issue/37042/425283> (Erişim Tarihi: 23.11.2021).

TÜİK. (2018). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Belediye-Atik-Istatistikleri-2018-30666> (Erişim tarihi: 28.11.2021).

Türkdoğan, Ö. (2020). Döngüsellliği Zeytinden Öğrenmek. Magma Dergisi. URL: https://www.magmadergisi.com/surdurulebilir-haberleri/donguselligi-zeytinden-ogrenmek?fbclid=IwAR0_e54q0SU6bbpAUDMTYWyCt9wLynHR5uJE4gIKCMReL2iMs8.U2ljrOmI0 URL: <https://pomace.nl/>.

Ulaş, E. (2019). Mucize Bitki Kenevir: Gerçek Köye Dönüş Projesi, İstanbul: Hiper Yayınları.

UNEP, United Nations Environment Programme.(2003). Sustainable building and construction: Facts and figures. Industry and Environment (2003):(p. 5).

United Nations 17 Sustainable Development Goals. <https://sdgs.un.org/goals>

United Nations Conference on Environment & Development. (3 to 14 June 1992). Rio de Janerio, Brazil Erişim Adresi: <https://www.un.org/en/events/pastevents/pdfs/Agenda21.pdf> (Erişim Tarihi: 07.11.2021).

Utkuğ, G. (2011). Sürdürülebilir Bir Geleceğe Doğru Mimarlık ve Yüksek Performanslı Yeşil Bina Örnekleri. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. (ss. 1517–1538).

WCED. (1987). <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/wced> (Erişim Tarihi:16.06.2021)

Williams, D.F. (1999). Williams dictionary of biomaterials, Liverpool University Press. ErişimAdresi:[https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=Hv45B7P5N3gC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Williams,+D.F.+\(1999\).+Williams+dictionary+of+biomaterials,+Liverpool+University+Press.&ots=hPqWYqo3Xp&sig=kFS4ZZZ4us0wNCUobGNoUMxbMrE&redir_esc=y#v=onepage&q=Williams%2C%20D.F.%20\(1999\).%20Williams%20dictionary%20of%20biomaterials%2C%20Liverpool%20University%20Press.&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=Hv45B7P5N3gC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Williams,+D.F.+(1999).+Williams+dictionary+of+biomaterials,+Liverpool+University+Press.&ots=hPqWYqo3Xp&sig=kFS4ZZZ4us0wNCUobGNoUMxbMrE&redir_esc=y#v=onepage&q=Williams%2C%20D.F.%20(1999).%20Williams%20dictionary%20of%20biomaterials%2C%20Liverpool%20University%20Press.&f=false) (Erişim Adresi: 10.12.2021).

WWF. (2018). Akdeniz’e en çok plastik Türkiye’den.<https://www.wwf.org.tr/?7800/wwf-akdeniz-plastik-raporunu-yayimladi-akdenize-en-cokplastik-turkiyeden>. (Erişim tarihi: 31.05.2021).

Wiersum, K. F. (1995). 200 Years of Sustainability in Forestry: Lessons from History. *Environmental Management*, 19(3), 321-329.

Vincent Julian F.V, Bogatyreva Olga A, Bogatyrev Nikolaj R, Bowyer Adrian, Pahl Anja-Karina. (2006). Biomimetics: its practice and theory. *Journal of The Royal Society Interface*, 3(9): 471–482. doi:10.1098/rsif.2006.0127 (Erişim Tarihi: 10.02.2022).

- Yadav, M., Agarwal, M. (2021). Biobased building materials for sustainable future: An overview. *Materials Today: Proceedings*, 43(5): 2895-2902 Erişim Adresi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.165> (Erişim Tarihi:12.12.2021).
- Yale. (2022). Biomaterials Supporting The Transition To A Circular Built Environment In The Global South. Erişim Adresi: <https://cdn.filepicker.io/api/file/9gIw15XeSyi7BmJd0l4T?&fit=max> (Erişim Tarihi:26.04.2023).
- Yapı Biyolojisi. (2022). Yapı Biyolojisinin Tarihçesi. Yapı Biyoloji Enstitüsü Erişim Adresi: <https://www.yapibiyolojisi.org/enstitu/> (Erişim Tarihi: 20.02.2022).
- Yıldız, A. C., Sezer, F. ř. (2015). Yapı Malzemelerinin İnsan Sağlığına Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmaların İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. *Artium*, 3(1): 65-78. Erişim adresi:<http://artium.hku.edu.tr/en/download/article-file/25546> (Erişim Tarihi: 31.10.2021).
- Yıldızhan, ř., Çalık, A., Özcanlı, M., Serin, H. (2018). Bio-composite materials: a short review of recent trends, mechanical and chemical properties, and applications . *European Mechanical Science* , 2 (3) , 83-91 . DOI: 10.26701/ems.369005 (Erişim Tarihi:21.05.2022).
- Yılmaz, S., Uzun, A. (2019). Keten Tarımı. Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Yayın No: 2019 - 04, Samsun Erişim Adresi: https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ktae/Belgeler/keten_tarimi_kitabi.pdf (Erişim Tarihi: 03.04.2022).
- Yudelson, J. (2007). *The Green Building Revolution*. Island Press, Washington, 245 s.
- Zari, M.P. (2007). Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability. The SB07 NZ sustainable building conference. 2007:1-10. Erişim Adresi: https://www.academia.edu/9509268/Biomimetic_approaches_to_architectural_design_for_increased_sustainability (Erişim Tarihi: 11.02.2022).
- URL 1 Sürdürülebilirlik, <https://www.re-thinkingthefuture.com/2020/10/16/a1866-10-architects-leading-in-sustainable-architectural-trends/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 2 Deniz Salyası, <https://listelist.com/deniz-salyasi-nedir/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 3 Denizde Plastik, <https://www.wwf.org.tr/?7800/wwf-akdeniz-plastik-raporunu-yayimladi-akdenize-en-cok-plastik-turkiyeden> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 4 Ambalaj Atığı, <https://www.serdar.com.tr/tr/ambalaj-atiklarinin-toplanmasi-ve-ayristirilmesi> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)

- URL 5 Atık Plastik, <https://borusanturuncu.com/plastiksiz-temmuz-hareketi-her-birimiz-cozumun-parcasiyiz/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 6 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, <https://www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home/sustainable-development-goals.html> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 7 Endüstri Devrimi, <https://tr.pinterest.com/pin/440226932297594412/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 8 Louvre, https://www.wikiwand.com/en/Louvre_Colonnade (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 9 Endüstri Dönemi, <https://bonestructure.ca/en/articles/technology-articles/a-brief-history-of-construction-materials/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 10 Çatalhöyük, https://www.konyakultur.gov.tr/images/uploads/files/Catalhoyuk_Brosuru.pdf (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 11 Stonehenge, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Woodhenge_at_North_Newnton_-_geograph.org.uk_-_83122.jpg (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 12 Piramit, <https://www.wondriumdaily.com/great-pyramid-at-giza/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 13 Colosseum, <https://education.nationalgeographic.org/resource/colosseum/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 14 Pantheon, <https://marmaralife.com/2015/08/24/pantheon-dan-ayasofyaya-kubbelerin-oykusu/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 15 The Crystal Palace, <https://www.archdaily.com/397949/ad-classic-the-crystal-palace-joseph-paxton> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 16 Institut du Monde Arabe, <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 17 Jubilee Kilisesi, <https://archello.com/project/jubilee-church> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 18 Guggenheim Müzesi, <https://www.archdaily.com/422470/ad-classics-the-guggenheim-museum-bilbao-frank-gehry> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 19 Eden Projesi, <https://www.dezeen.com/2019/06/24/nicholas-grimshaw-high-tech-highlights/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)

- URL 20 Serpertine Kuzey Galerisi, https://www.zaha-hadid.com/interior_design/serpentine-sackler-gallery-2/ (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 21 Hy-Fi, <https://www.dezeen.com/2014/07/01/tower-of-grown-bio-bricks-by-the-living-opens-at-moma-ps1-gallery/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 22 Döngüsel Ekonomi, <https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/deko.pdf> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 23 La Sagrada Familia, <http://mimdap.org/2019/06/surekli-tasarym-la-sagrada-familia-ruhsat-aldy/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 24 Biyomimikri, <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/science-behind-natures-patterns-180959033/> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 25 Doğadan İlham, <https://www.alegoridergi.com/dogadan-ilham-alan-malzemeler-ve-biyomimikri-ile-yeni-nesil-bilimin-kilidini-acmak/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 26 Eden, <https://www.gardensillustrated.com/gardens/gardens-to-visit/25-gardens-visit-public-transport/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 27 30 St Mary Axe, <https://www.archdaily.com/928285/30-st-mary-axe-tower-foster-plus-partners> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 28 Haydar Aliyev Kültür Merkezi, <https://www.mimarihafiza.com/post/mimaride-geometri-form-str%C3%BCkt%C3%BCr-i-li%C5%9Fkisi> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 29 Biyomimikri Örnekleri, <https://biomimicry.net/work-examples/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 30 İpek Böceği, <https://oytuipek.com/ipek-bocegi/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 31 Koza, <https://ekog.org/2020/09/12/evcil-bir-omurgasiz> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 32 Örümcek Ağı, <https://tekstilbilgi.net/orumcek-ipegi-nedir.html> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 33 İmplant, <https://www.metaluzmani.com/biyomalzeme-vucutta-kullanilan-yapay-malzemeler/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 34 Lens, <https://bioinzhener.wordpress.com/2014/11/24/biyomalzeme/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)

- URL 35 Bakteri, <https://kimyaca.com/biyouyumlu-polimerik-malzemeler/> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 36 Hidrojel, <https://www.lifegate.com/biomaterials-design-future> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 37 Stent, https://www.sabriseyis.com/tr/tekno_dosyalar/16_11_19_72464_20738c39817ea219c0230482069570df.pdf (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 38 Biyomalzeme, <https://www.dezeen.com/2021/12/09/dezeen-guide-biomaterials-architecture-design-interiors/> (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 39 Bilim, https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1890&context=che_faculty_pubs (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 40 Ameliyat İpliği, https://en.wikipedia.org/wiki/Simple_interrupted_stitch (Erişim Tarihi: 26.05.2023)
- URL 41 Doku, <http://nanortopedi.com/2020/05/27/doku-muhendisligi-kikirdak-dokuda-kullanilan-biyomalzemeler/> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 42 Biyomalzemeler, <https://oxman.com/projects/water-based-digital-fabrication> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 43 Saman, https://tr.wikipedia.org/wiki/Saman_balyas%C4%B1 (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 44 Hempcrete, <https://www.hempitecture.com/hempcrete> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 45 Kamış, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:033_Reed_Houses_Uros_Islands_of_Reeds_Lake_Titicaca_Peru_3086_%2814995394498%29.jpg (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 46 Kamış Kullanımı, <https://tr.pinterest.com/pin/652036852272203477/> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 47 Hücre, <https://www.hucreler.gen.tr/yapay-hucre.html> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 48 Alg, <https://www.tech-worm.com/alg-nedir-alglerin-cesitleri-ozellikleri-nelerdir/> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 49 Miselyum, https://www.yapikatalogu.com/blog/uretilen-degil-yetisen-malzeme-miselyum_250 (Erişim Tarihi: 29.05.2023)

- URL 50 Bakteri,
https://www.google.com/search?q=Bacillus+colony&tbm=isch&hl=tr&tbs=ring:CUrsVHLV8ZiqYU45NtKe7QYX8AEAwAIAygIA0AIA&sa=X&ved=2ahUKEwjw1InMnJv_AhXQwioKHet9D1oQuIIBegQIABAq&biw=891&bih=738
(Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 51 Alg, <https://p-biblioteka.ru/main/1849-kraevedcheskij-chas-more-skazok-i-zagadok-more-chnoe-xranit.html> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 52 K k, <https://www.icmimarlikdergisi.com/2019/01/14/mantar-miselyumundan-tasarlanan-surdurulebilir-aydinlatmalar/> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)
- URL 53 Miselyumlar, <https://theexplodedview.com/materialbb/resilient-mycelium-flooring/> (Erişim Tarihi: 29.05.2023)

